

> Certaines régions du globe soumises à ces vents d'altitude, telles Hawaï ou la Polynésie française, subissent en pratique moins de cyclones qu'elles ne le devraient si l'on se fie uniquement à la température de surface des océans.

On explique donc relativement bien la dynamique des cyclones de leur naissance à leur mort. Cependant, certains aspects restent encore mal compris et font l'objet de discussions parmi les spécialistes. Par exemple, il ne suffit pas que l'air soit chaud et humide à la surface de l'océan pour qu'un cyclone se forme. Le mécanisme qui conduit à une élévation de cet air correspond à une instabilité dite «linéaire» (ou «supercritique»), car elle croît à partir d'une perturbation, aussi petite soit-elle (c'est par exemple le cas de l'effet Larsen, un micro orienté vers un haut-parleur amplifie un son initialement inaudible qui devient un sifflement strident). En général, cette instabilité linéaire entraîne simplement la formation de cumulus, qui se transforment à terme en orages. Pour déclencher la formation d'un cyclone, il faut que certaines conditions supplémentaires

soient remplies. On parle alors d'une instabilité non linéaire (ou sous-critique), car une perturbation assez grande est nécessaire pour amorcer le phénomène, de la même façon qu'on utilise un démarreur électrique pour lancer le moteur thermique d'une voiture.

Dans le cas des cyclones, il faut une organisation particulière des vents pour entraîner le système. Ces conditions sont encore assez mal connues, même si l'on sait, par exemple, que des perturbations de la circulation atmosphérique, nommées «ondes africaines d'est», contribuent à la naissance des ouragans dans l'océan Atlantique. Ces ondes sont engendrées en Afrique du nord puis se propagent vers l'ouest en direction des Caraïbes.

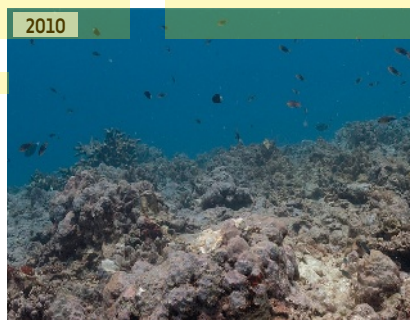
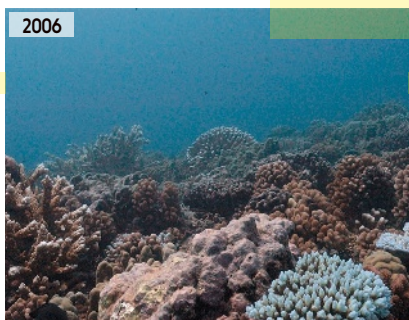
Dès les années 1960, les chercheurs ont essayé de comprendre les dessous du processus d'intensification qui permet de basculer du stade de tempête à celui du cyclone tropical. L'un des premiers mécanismes proposés, CISK, repose sur l'existence d'une convergence de vents à grande échelle vers le centre dépressionnaire. Dans les années 1980-1990, Kerry

LA RÉSILIENCE DES CORAUX

Les cyclones ne frappent pas uniquement les habitants et les infrastructures. Ils ont aussi un fort impact sur la nature. Par exemple, Yannick Chancerelle, du Centre de recherches insulaires et observatoire de l'environnement, a étudié l'impact sur les coraux du cyclone Oli, de catégorie 4, qui a frappé l'île de Moorea, en Polynésie française, en 2010. Le récif, déjà affaibli par les effets du réchauffement climatique et l'augmentation de la température des océans, a été largement détruit. Dans un paysage lunaire, plus une seule colonie corallienne n'était visible.

En passant, le cyclone a détaché de gros blocs de corail qui ont « raboté » le fond. Une technique utilise d'ailleurs ce genre de débris de coraux pour dater de façon indirecte (par datation isotopique, radiocarbone, etc.) des épisodes cycloniques du passé (on parle de paléocyclones) qui ne peuvent être documentés autrement. Dans le cadre d'un suivi systématique du récif, Yannick Chancerelle a photographié un site précis du récif par 10 mètres de profondeur, sur le tombant externe de l'île. Grâce à des conditions favorables à la croissance des coraux, ces derniers se sont reconstruits rapidement, en quelques années, après

le passage d'Oli. On parle alors de résilience : on assiste à un véritable feu d'artifice de corail. Après ces prises de vues, ce récif a malheureusement connu un épisode de blanchiment majeur en 2019, probablement lié au réchauffement. Soumis à la pression anthropique directe (pollution des côtes), au réchauffement climatique et à la colère des cyclones, ces systèmes sont particulièrement exposés. Si leur résilience leur permet de se reconstruire après des événements extrêmes de courte durée, leur capacité à survivre à des modifications durables du climat est malheureusement des plus incertaines.



Le même récif corallien a été photographié en 2006, avant le passage du cyclone Oli, en 2010, quelques jours après le passage d'Oli, et en 2015. Après avoir été détruits, les coraux se sont reconstruits en quelques années.

Emanuel, du MIT, a proposé un autre modèle en introduisant la théorie WISHE, qui repose sur un élément clé : l'action de vents forts permettant une évaporation plus importante à la surface de l'océan. Plus les vents soufflent fort, plus l'évaporation est efficace – un mécanisme qui renforce les échanges d'énergie entre l'océan et l'atmosphère.

Enfin, grâce à des simulations numériques tridimensionnelles, Michael Montgomery, de la Naval postgraduate school, en Californie, et Roger Smith, de l'université de Munich, ont mis en évidence l'importance de structures atmosphériques tridimensionnelles que l'on appelle des « tours de convection ». Elles joueraient un rôle essentiel dans l'intensification du cyclone global en renforçant les vents de sa structure. Le mécanisme d'intensification est encore très débattu au sein de la communauté scientifique. Il faut surtout retenir que ce sont les vents préexistants qui déterminent l'évolution, ou non, vers un cyclone tropical.

LE CALME AU MILIEU DE LA TEMPÊTE

La formation de l'œil du cyclone est un autre aspect qui fait toujours l'objet de recherches. La région centrale du cyclone, de forme conique, constitue sa caractéristique la plus étonnante : souvent visible depuis l'espace, contenant peu ou pas de nuages, cette zone jouit d'un calme absolu au milieu de la tempête (voir les images page 64). Cela est d'autant plus surprenant que lorsqu'on se rapproche de cette région, les vents se font de plus en plus intenses. On atteint alors le « mur », où les vents dépassent parfois 300 kilomètres par heure et où les pluies sont les plus intenses. Mais dès que le mur est franchi, on entre dans l'œil du cyclone, dont le rayon est d'environ 50 kilomètres. Le ciel devient bleu, la pluie et les vents cessent. En 2010, lors du passage du cyclone Oli, de catégorie 4, les habitants de la petite île française de Tubuai, dans l'océan Pacifique sud, ont vécu ce moment de répit dans l'œil du cyclone. Mais le calme n'est que de courte durée. En quelques heures, on se retrouve de l'autre côté de l'œil où l'on franchit à nouveau le mur. Les vents sont immédiatement très violents et soufflent dans le sens opposé !

Les mécanismes responsables de la formation de l'œil et du mur qui l'enveloppe restent mal compris et très controversés. L'une des explications le plus souvent avancées repose sur la libération de chaleur latente. L'air humide monte dans le mur avant d'arriver au centre du cyclone ; il libère sa chaleur et renforce ainsi le mur. Devenu froid et sec, l'air redescend alors le long de l'axe ; on parle de subsidence. Par conséquent, sans humidité présente, l'œil est souvent dépourvu de nuages. Mais ce mécanisme avancé dans les années 1980 est avant tout une

description phénoménologique de ce qui se passe et suppose déjà l'existence du mur. Il n'explique donc pas la formation de l'œil. Par ailleurs, plusieurs simulations numériques ont montré que l'œil se forme même en l'absence de condensation et de libération de chaleur latente.

En 2018, nous avons proposé un mécanisme reposant sur l'extraction de tourbillons de la couche limite atmosphérique. L'air qui converge vers la zone de dépression est doté de deux mou-

Le XXI^e siècle a déjà connu 14 ouragans de catégorie 5

NOMS DE CYCLONES

Les marins donnaient autrefois des prénoms surtout féminins aux cyclones. Depuis les années 1970 et le mouvement féministe aux États-Unis, un ouragan sur deux porte un prénom masculin. Le centre américain des cyclones, à Miami, établit six listes de noms suivant les lettres de l'alphabet pour six années consécutives et réutilisées par la suite. Lorsqu'un ouragan est particulièrement dévastateur, son nom est remplacé dans la liste (« Harvey » a été remplacé, après 2017, par « Harold »). Seules deux lettres manquent à la liste : Q et U, par manque d'imagination. Il n'y a donc pas à craindre de cyclones Quentin ou Ursula ! En 2020, pour la deuxième fois après 2005, la liste a été épuisée. On utilise alors l'alphabet grec pour nommer les cyclones.

vements propres : il tourne autour du centre de la dépression à cause de la force de Coriolis (on parle de « vorticité axiale ») et il spirale sur lui-même dans un plan perpendiculaire à ce premier mouvement (on parle de « vorticité azimutale »). Lorsque cet air quitte la surface de l'océan pour s'élever en altitude, il conserve ces deux vorticités. La vorticité azimutale conduit le vent à s'écarter de l'axe alors qu'il monte. On obtient ainsi la forme conique de l'œil. Et, simultanément, cette vorticité entraîne l'air sec d'altitude vers le sol au centre du cyclone, comme observé. Le modèle s'appuie sur un système simplifié afin de bien comprendre les phénomènes en jeu. Des simulations numériques plus réalistes sont en cours pour confirmer ce scénario.

Malgré ces inconnues, les spécialistes tentent déjà de comprendre comment les cyclones évoluent dans un contexte de changement climatique. Ce dernier se traduit en particulier par une hausse des températures océaniques et une élévation du niveau des océans (due à la fonte des calottes antarctique et groenlandaise, mais aussi à la dilatation thermique de l'eau des océans). Par exemple, Ben Santer, du laboratoire américain Lawrence-Livermore, et ses collègues ont montré en 2006 que dans les régions tropicales de l'Atlantique et du Pacifique, la température de surface de l'océan avait augmenté d'entre 0,3 et 0,6  C au cours du xx^e siècle. L'accumulation de chaleur dans le système implique que les océans transfèrent davantage d'énergie à l'atmosphère. Or une hausse de 1  C de la température de l'atmosphère permet une augmentation de 8% d'humidité dans l'air. C'est autant d'énergie supplémentaire disponible pour les cyclones. ➤