

# Les nuages, un acteur-clé du réchauffement

Sous l'effet de la hausse des températures, les nuages changent et refroidissent moins le climat

On les contemple autant qu'on les craint, on les chasse comme on leur consacre des vers. Sujet de fascination pour le grand public, source d'inspiration inépuisable pour les artistes, les nuages sont également au centre des attentions des scientifiques. Ils constituent un enjeu-clé dans la trajectoire que va suivre le réchauffement climatique. Si les stratus, cirrus et autres cumulonimbus ont toujours été difficiles à modéliser, leur évolution à mesure que la Terre se réchauffe complique encore les prévisions.

« Dans quelles proportions les nuages vont-ils amplifier le changement climatique ? C'est l'une des principales incertitudes dans les projections climatiques », indique Sandrine Bony, directrice de recherche (CNRS) au Laboratoire de météorologie dynamique (LMD). Ces interrogations ont été relancées par des études récentes attribuant aux nuages une importante contribution dans les records de chaleur mondiaux battus quasi sans interruption depuis 2023.

Ces ensembles de gouttelettes d'eau, ou de cristaux de glace, se forment par la condensation de la vapeur d'eau contenue dans l'atmosphère lorsqu'un seuil de saturation est atteint. « Cela intervient le plus souvent lorsque l'air se refroidit en s'élevant, par exemple au-dessus de reliefs », précise Jean-Louis Dufresne, également directeur de recherche au LMD.

Les nuages, qui couvrent les deux tiers de la surface de la Terre, jouent un rôle complexe pour le climat. Ils ont tous des propriétés à la fois réchauffantes et refroidissantes, mais dans des proportions différentes selon leur type (il existe dix genres), leur altitude ou leur structure. De manière simplifiée, les nuages bas, comme les stratus et les cumulus, situés jusqu'à 2-3 kilomètres d'altitude, ont tendance à refroidir la planète. Plutôt étendus, épais et opaques, ils sont en effet très efficaces pour réfléchir le rayonnement solaire vers l'espace, jouant un effet parasol.

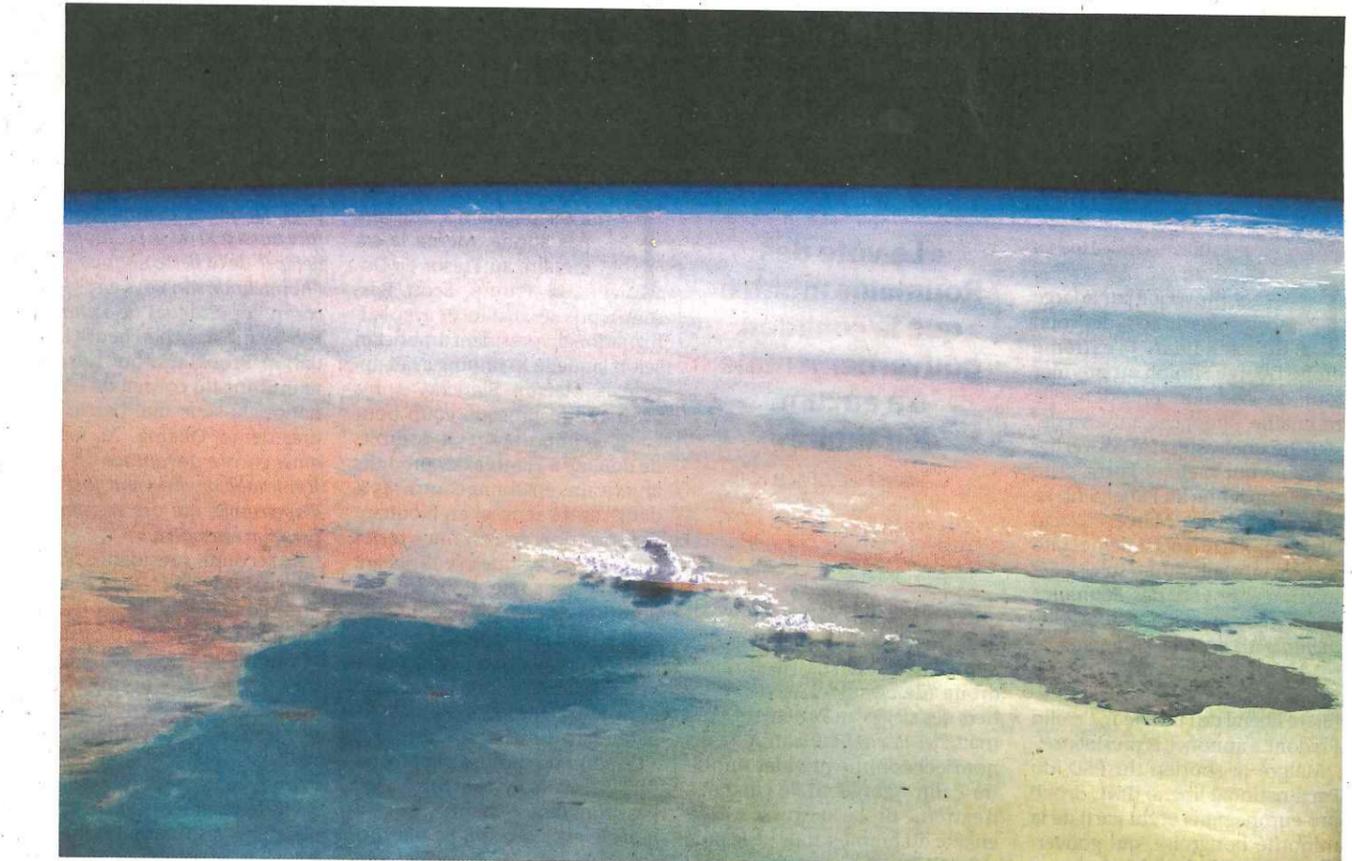
A l'inverse, les nuages hauts et froids, de type cirrus, qui culminent jusqu'à 16 kilomètres, contribuent à l'effet de serre et réchauffent la Terre, agissant comme une couverture. Ils laissent passer davantage la lumière du Soleil et empêchent une partie du rayonne-

**A mesure que la Terre se réchauffe, la modélisation des stratus, cirrus et cumulonimbus se complique**

ment infrarouge – la chaleur réfléchi par la Terre – de s'échapper vers l'espace. « En moyenne, l'ensemble des nuages refroidissent la Terre, explique Sandrine Bony. Cela provient essentiellement des nuages bas, pour lesquels l'effet parasol n'est pas compensé par l'effet de serre nuageux », c'est-à-dire qu'ils refroidissent davantage qu'ils ne réchauffent.

Mais cet équilibre est mis à mal par le changement climatique. Sous l'effet de la hausse des températures, leur capacité à refroidir le climat diminue. De sorte que les nuages amplifient le réchauffement en raison de boucles de rétroactions, indiquait le dernier rapport du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) avec un « haut degré de confiance ». L'ampleur de ce réchauffement est toutefois incertaine. « Selon les modèles, l'influence des nuages va de faible à un effet presque aussi fort que la vapeur d'eau gazeuse, la rétroaction amplificatrice la plus forte et la plus certaine sur le climat », détaille Richard Allan, professeur à l'université de Reading (Royaume-Uni).

Plusieurs impacts se combinent. D'abord, les nuages hauts s'élèvent en altitude, dans la mesure où la quantité de vapeur d'eau augmente dans l'atmosphère. Cet effet, surtout observé pour les cumulonimbus, pourrait augmenter l'effet réchauffant, même s'il n'y a pas de consensus scientifique sur la question. Ces nuages géants en forme d'enclume ont aussi tendance à rétrécir dans un climat plus chaud, mais « cela agit à la fois sur le rayonnement solaire et l'infrarouge, de sorte que l'effet net est nul », précise Sandrine Bony. Les chercheurs ne savent pas, en revanche, si le dérèglement climatique va augmenter ou réduire le pouvoir réfléchissant des cumulonimbus. La plus grande inquiétude provient tou-



La péninsule Arabique photographiée depuis la Station spatiale internationale, le 19 septembre 2024. WILFREDO GARCIA LOPEZ/JACOBS-JETS II NASA-JSC

tefois de la couverture des nuages inférieurs, en déclin (en dehors des pôles). Selon une étude publiée en mars dans *Environmental Research Letters*, les stratocumulus au-dessus des océans – les nuages les plus répandus sur Terre – sont moins étendus et plus sombres, de sorte qu'ils réfléchissent moins les rayons du Soleil, alimentant la hausse des températures dans un cercle vicieux. « L'augmentation de la température à la surface de la mer provoque l'amin-

cissement ou la dislocation des stratocumulus. Elle entraîne un afflux plus important d'air sec provenant de l'atmosphère aride située au-dessus », explique Richard Allan, premier auteur de l'étude. Cette évolution aurait contribué au réchauffement de la planète au cours de la dernière décennie et à une chaleur record en 2023.

D'autres travaux, publiés dans *Science* en décembre 2024, concluaient également à une diminution de la couverture des nuages situés en dessous de 2 000 mè-

tres, comme les stratus, aux tropiques et moyennes latitudes, particulièrement manifeste au-dessus de l'Atlantique. Selon les chercheurs, cette évolution, ainsi que la réduction de la banquise, expliquerait la forte baisse de l'albédo planétaire – c'est-à-dire le pourcentage de rayonnement solaire réfléchi dans l'espace – en 2023 et la hausse de la température observée depuis lors.

## « Comme un puzzle géant »

Les causes du déclin de la couverture nuageuse font débat au sein de la communauté scientifique : est-ce seulement dû au réchauffement climatique ? Ou la variabilité naturelle du climat joue-t-elle un rôle ? La baisse des aérosols, grâce à la lutte contre la pollution de l'air dans les villes et la réduction du soufre dans le carburant maritime, pourrait également être en cause. Ces particules en suspension, en plus de réfléchir directement une partie des rayons du Soleil, permettent aux

gouttelettes de se former facilement dans les nuages et d'être de petite taille, ce qui constitue un miroir efficace. A l'inverse, moins d'aérosols signifient des nuages moins réfléchissants. « Il y a pas mal de voyants rouges qui s'allument, mais il est trop tôt pour trancher entre ces différentes hypothèses », avance Jean-Louis Dufresne.

Les scientifiques s'intéressent aussi de plus en plus aux effets du changement climatique sur l'organisation des nuages dans l'espace. « S'ils devenaient plus concentrés que dispersés, cela pourrait réduire quelque peu le réchauffement, mais rendre les précipitations extrêmes plus intenses encore », prévient Sandrine Bony.

Si les incertitudes sont si grandes, c'est parce que les observations des nuages – par satellites, avions, ballons ou dans les stations au sol – restent difficiles. Les modèles de climat, malgré leurs améliorations, ne présentent également pas encore de résolution assez fine pour correctement les

représenter. De nouveaux outils pourraient réduire ces limitations. En 2024, l'Agence spatiale européenne a lancé, en collaboration avec son homologue japonais, le satellite EarthCARE pour mesurer la structure interne des nuages, notamment à l'aide de radars et de lidars (télé-détection par laser).

« La science des nuages est comme un puzzle géant, compare Sandrine Bony. On s'y attaque morceau par morceau. » Un puzzle crucial pour le réchauffement, mais aussi les autres dimensions du changement climatique, alors que la compréhension des nuages influence directement celle des précipitations, des pluies intenses et des cyclones. « Même si cette équation a énormément de variables, cela ne change rien au constat du réchauffement climatique et à son origine anthropique, rappelle Sébastien Laflourens, professeur à l'École nationale de la météorologie. Il y a urgence à réduire les émissions de gaz à effet de serre. » ■

AUDREY GARRIC

## Pesticides : l'alerte de 1 200 médecins et scientifiques

Dans une lettre ouverte, des experts appellent à protéger la santé et l'environnement, alors que le Parlement doit se pencher sur le sujet

Réintroduire des produits « tueurs d'abeilles » interdits, placer le « gendarme » des pesticides sous la houlette des filières agricoles, maintenir l'évaluation des molécules sous la coupe de leurs fabricants, écarter la littérature scientifique de l'analyse des risques... Dans une lettre ouverte, rendue publique lundi 5 mai, plus de 1 200 médecins et scientifiques alertent les ministres de l'agriculture, de la santé et de l'environnement sur les failles du système d'homologation de ces produits, qui font de la population des « cobayes », écrivent-ils.

Parmi eux, des centaines de médecins, mais aussi de nombreux membres des communautés scientifiques impliquées (toxicologie, écotoxicologie, agronomie, etc.) issus des universités et des organismes de recherche publics (Centre national de la recherche scientifique, CNRS ; Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement, Inrae ; Institut de recherche pour le développement ; Cen-

tre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement).

Les signataires demandent le renforcement de l'expertise réglementaire et s'opposent aux dispositions de la proposition de loi du sénateur de la Haute-Loire Laurent Duplomb (Les Républicains), qui doit être examinée par les députés avant la fin du mois de mai. « Cette proposition de loi contient de nombreuses mesures qui vont renforcer la dépendance des agriculteurs aux pesticides chimiques de synthèse, sans pour autant répondre à leur demande de rémunération juste, dénoncent les signataires. Or, cette dépendance pose déjà d'énormes problèmes de santé humaine et de dégradation de l'environnement. »

### Expertise « remise en cause »

Portée par plusieurs organisations de médecins (Médecins du monde, Alerte des médecins sur les pesticides), la lettre met en avant les données déjà acquises sur les effets sanitaires et environnementaux de ces intrants. « La

liste des pathologies en lien avec l'exposition professionnelle aux pesticides ne cesse de s'allonger, tout comme celle des pathologies impactant la population générale, en particulier par la contamination lors de fenêtres de vulnérabilité comme la grossesse, ajoutent les signataires. Deux expertises collectives, celle de l'Inserm [Institut national de la santé et de la recherche médicale], en 2021, et celle de l'Inrae, en 2022, ont permis d'établir des faits scientifiques incontestables, écrivent les signataires. La contamination par les pesticides [faune et flore] qui y vit est généralisée et tous les niveaux d'organisation biologique sont impactés. »

Les signataires rappellent que l'évaluation des risques de ces substances demeure « dépendante des données fournies par les industriels » ; que les tests réglementaires « n'explorent pas tous les risques potentiels » comme, par exemple, les propriétés de perturbation endocrinienne ; que la littérature scientifique « est

**« Agriculteurs, riverains, citoyens ne veulent plus servir de cobayes », écrivent les spécialistes**

trop souvent marginalisée » dans les procédures d'homologation.

Enfin, ils rappellent que les risques liés à l'exposition chronique des produits réellement utilisés sur les parcelles et les effets potentiels des mélanges (« effet cocktail ») ne sont pas évalués avant autorisation de mise sur le marché. « Agriculteurs, riverains, citoyens ne veulent plus servir de cobayes à l'évaluation de l'effet cocktail de toutes ces substances disséminées dans l'environnement, et que l'on retrouve dans l'eau du robinet, les eaux minérales, et nos aliments », plaignent-ils.

Ceux-ci s'en prennent aussi à la proposition de loi Duplomb, qui prévoit notamment la création d'un « conseil d'orientation pour la protection des cultures », composé de représentants des filières agricoles et de l'industrie des pesticides, qui superviserait l'agenda de travail de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses). Cela reviendrait, selon les 1 200 chercheurs et médecins signataires, « à une remise en cause de la place de l'expertise à travers un affaiblissement du rôle de l'Anses ». Auditionné à l'Assemblée nationale le 25 mars, le directeur général de l'Anses, Benoît Vallet, avait déclaré qu'une telle mise sous tutelle de l'agence reviendrait à une forme de rupture de contrat. « Pour moi, il n'y aurait plus la possibilité de rester directeur général de l'agence », avait-il précisé.

« La loi Duplomb sacrifie la santé et en premier lieu celle des agriculteurs au profit de l'industrie agrochimique, et constitue une grave remise en cause de l'indépendance

de la science, comme on le voit aux Etats-Unis », estime Marc Billaud, chercheur au CNRS, signataire du courrier aux ministres et coauteur d'un article dénonçant les manœuvres d'occultation des liens entre pesticides et cancers du sang, dans la prochaine édition de la *Revue de biologie médicale*.

Autre point de crispation : le retour de trois néonicotinoïdes ou apparentés, interdits au terme de plus d'un millier d'études publiées dans la littérature scientifique, expliquent les signataires, pour les risques qu'ils font peser sur les abeilles et insectes pollinisateurs. Ces dernières semaines, des rassemblements d'apiculteurs protestant contre un tel retour se sont tenus en France. La ministre de la transition écologique, Agnès Pannier-Runacher, s'est prononcée contre la mesure. Le gouvernement a une position réservée. Contactés, les autres ministres destinataires du courrier n'étaient pas, mardi matin, en mesure de réagir. ■

STÉPHANE FOUICART