



Il est difficile de déterminer l'influence climatique des nuages, en raison notamment de leur diversité et des multiples échelles mises en jeu.

© Michael Turek, Gallery Stock

Je déteste les nuages. Non pas parce qu'ils apportent parfois la pluie, mais parce qu'ils donnent du fil à retordre, à nous autres climatologues. Les nuages sont de toutes formes et de toutes tailles: cirrus élevés et vaporeux, cumulus joufflus, stratocumulus en couches grises et basses qui assombrissent le jour... Cette grande diversité fait qu'il est difficile de prédire comment les nuages, sur toute la planète, vont réagir aux changements de l'atmosphère terrestre.

Les climatologues comme moi savent, grâce à une multitude de données, que la Terre se réchauffera au cours de ce siècle et au-delà. Mais nous avons du mal à cerner avec précision l'amplitude de ce réchauffement: peut-être un degré de plus? Ou deux degrés, voire trois ou quatre? La réponse dépend en grande partie des nuages. Le changement climatique modifie la répartition des nuages, ce qui pourrait ralentir ou accélérer le réchauffement global. La connaissance du résultat serait extrêmement utile pour guider les actions entreprises aujourd'hui et celles de demain.

De grandes équipes de spécialistes ont développé plus d'une vingtaine de modèles complexes du climat, testés avec un grand nombre de données climatiques. Tous ces modèles montrent que la Terre se réchauffe en réaction aux émissions actuelles de gaz à effet de serre. Mais pendant des années, ces différents modèles étaient obstinément en désaccord pour ce qui concerne les nuages. La situation est en train de changer: les simulations des effets exercés par les nuages commencent à converger. Des données satellitaires et d'autres observations commencent à révéler comment les changements relatifs aux nuages modifient le climat planétaire. Ces nouveaux aperçus accroissent nos inquiétudes, comme nous allons le voir.

RÉTROACTIONS POSITIVES OU NÉGATIVES

Imaginons la Terre juste avant la Révolution industrielle. Partout, on a abattu des forêts pour les remplacer par des pâturages et des villes. Cependant, la concentration du dioxyde de carbone (CO_2) dans l'atmosphère est restée stable à environ 280 parties par million (ppm). ➤

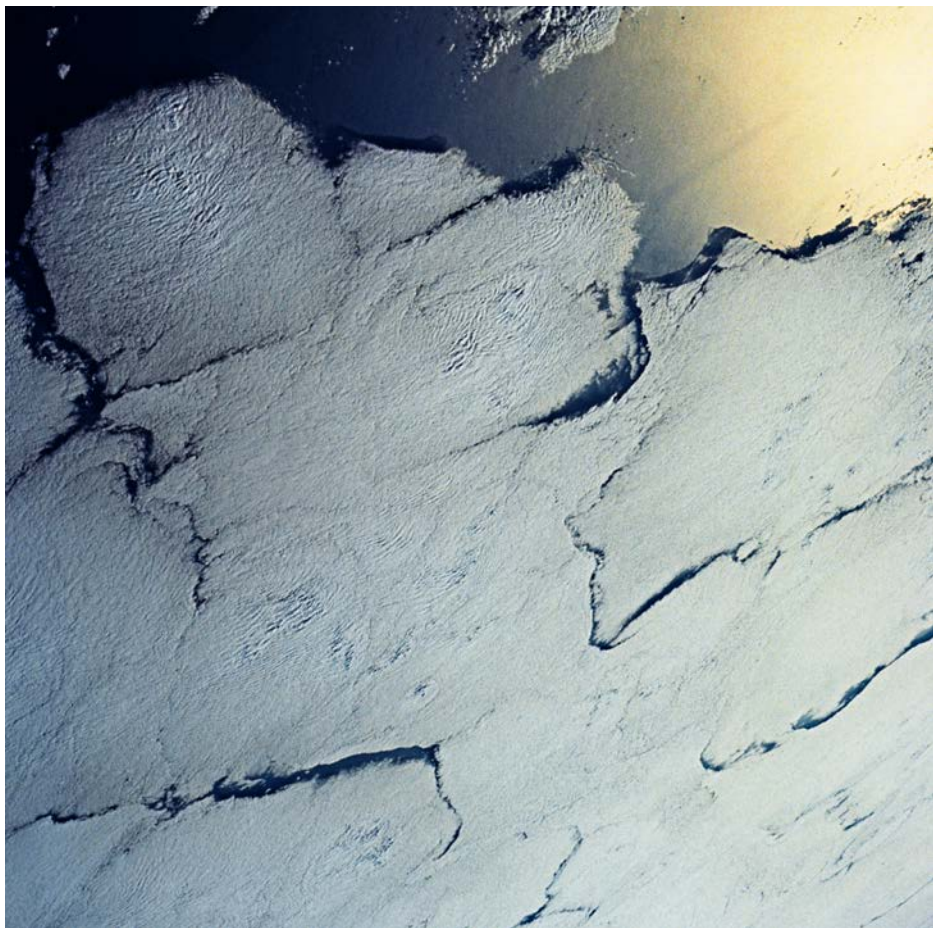
➤ Puis vient le moteur à combustion interne. Avançons rapidement jusqu'à la fin des années 1900: la concentration en CO_2 a grimpé en flèche. En 2017, elle a dépassé 400 ppm. Ce choc a des répercussions planétaires. La troposphère, qui contient l'air que nous respirons, se réchauffe. La circulation atmosphérique de l'air et de la vapeur d'eau commence à changer. Compte tenu des tendances actuelles, la concentration atmosphérique en CO_2 doublera vers 2050, par rapport aux valeurs préindustrielles. Le réchauffement s'accroîtra. Enfin, après plusieurs centaines d'années, la planète atteindra un nouvel équilibre à une température plus élevée.

La réaction de la planète, en termes de température, au doublement de la concentration en CO_2 est appelée sensibilité du climat à l'équilibre, ou ECS (de l'anglais *equilibrium climate sensitivity*). Tous les modèles climatiques indiquent que l'ECS est supérieure à zéro: nous devrions nous attendre à un réchauffement. Mais l'ampleur du réchauffement qu'ils prédisent va d'environ 2°C à $4,5^\circ\text{C}$, – des valeurs qui s'échelonnent entre le significatif et le catastrophique.

Si les modèles ne concordent pas sur ce chiffre, c'est en grande partie parce qu'ils sont en désaccord sur l'effet des nuages. En le cernant mieux, on pourra faire une prévision plus précise. Mais l'étude de l'influence des nuages est difficile pour deux raisons. D'abord, l'impact du réchauffement sur les nuages dépend de leur nature. Ensuite, les changements ainsi induits dans la couverture nuageuse agissent en retour sur le réchauffement, et ce de diverses façons.

Cette interaction à double sens est une «rétroaction». Certaines rétroactions climatiques sont bien connues. La glace de mer, par exemple, est d'un blanc brillant et réfléchit donc la plus grande partie du rayonnement solaire incident vers l'espace; mais quand elle fond, elle devient plus sombre et ne réfléchit plus autant le rayonnement. L'air se réchauffe alors davantage, ce qui fait fondre plus de glace réfléchissante et expose plus d'eau sombre, qui réfléchit encore moins de rayonnement solaire, et ainsi de suite: un cycle de rétroaction s'établit et accélère le réchauffement global. Nous comprenons bien cette rétroaction dite positive, et la plupart des modèles sont à peu près d'accord sur son rôle dans le changement climatique.

Comprendre les rétroactions liées aux nuages est plus difficile. Les climatologues ont classé grossièrement les nuages en les regroupant par caractères distinctifs. Deux propriétés fondamentales sont leur altitude et leur opacité. Les nuages bas peuvent être relativement transparents, comme certaines bouffées de vapeur présentes lors d'une journée ensoleillée, ou opaques, comme les épaisses couches



Les nuages (ici au-dessus de l'océan Pacifique) couvrent en permanence plus de 70 % de la surface du globe.

de brume côtière. Les nuages élevés, eux aussi, vont de petits filets, à travers lesquels passe presque tout le rayonnement solaire, jusqu'aux «enclumes» qui obscurcissent le ciel au cours d'un orage.

Cette taxonomie est utile, car elle met en lumière les principales façons dont les nuages réchauffent ou refroidissent la planète. Certains nuages renforcent l'effet de serre. Ils piègent une partie de la chaleur émanant de la Terre; sans eux, la planète serait plus froide. Les nuages contenus dans les couches supérieures froides de l'atmosphère sont particulièrement efficaces à cet égard.

D'autres nuages ont l'effet opposé: ils empêchent la lumière du Soleil d'atteindre la surface de la Terre et maintiennent la planète au frais. C'est en particulier le cas des nuages bas et épais. Dans le climat actuel, cette influence est plus forte que l'effet de serre dû aux nuages. De fait, le refroidissement net dû aujourd'hui aux nuages est considérable: il est environ cinq fois plus important que le réchauffement dû au doublement de la concentration en CO_2 .

Cela signifie que même de légers changements dans la couverture nuageuse peuvent avoir de gros impacts. Ajoutez plus de nuages élevés et transparents qui laissent passer la