

L'évolution du CO₂ dans le climat passé réévaluée

Des analyses de glaces antarctiques permettent une lecture des gaz à effet de serre sur trois millions d'années

Depuis des décennies, les sciences du climat ont établi le rôle central des gaz à effet de serre dans l'évolution des températures de la planète. Deux études publiées dans *Nature*, mercredi 18 mars, invitent à affiner ce cadre en remontant jusqu'à trois millions d'années. A ces échelles de temps très longues, elles montrent que le dioxyde de carbone (CO₂) ne suffit pas, à lui seul, à expliquer certaines évolutions du climat, et que d'autres mécanismes du système terrestre entrent en jeu. Ces résultats, majeurs, n'enlèvent rien à la réalité du réchauffement actuel, entièrement dû à la hausse des émissions liées aux activités humaines.

Ces travaux s'appuient sur des archives de glace inédites. Elles ont été extraites de la zone d'Allan Hills, en Antarctique de l'Est, où des glaces très anciennes affleurent. Contrairement aux forages classiques, elles ne forment pas une chronique continue, mais une succession d'«instantanés» du climat passé, qui permettent de remonter au-delà des huit cent mille ans couverts jusqu'ici. Pour la première fois, les scientifiques ont reconstitué directement, à partir de bulles d'air piégées dans la glace, les concentrations de dioxyde de carbone et de méthane depuis trois millions d'années.

Rétroactions amplificatrices

Le constat est frappant : les niveaux de méthane restent stables en moyenne (autour de 500 parties par milliard, ppb). Ceux de CO₂ ne diminuent que très faiblement – d'environ 20 parties par million (ppm) en près de deux millions d'années – pour rester autour de 250 ppm. Des taux sans commune mesure avec ceux d'aujourd'hui, qui atteignent 1945 ppb pour le méthane et 429 ppm, avec une hausse d'environ 2 ppm par an, pour le CO₂. Jusqu'à présent, les scientifiques estimaient que les taux de CO₂ s'élevaient à environ 400 ppm il y a un peu moins de trois millions d'années, voyant dans cette période un analogue du réchauffement futur.



Une carotte de glace prélevée à Allan Hills (Antarctique), le 14 juin 2022. PETER NEFF/COLDEX

Sur le temps long, la planète s'est pourtant fortement refroidie. Depuis la fin du pliocène, il y a environ trois millions d'années, deux grandes transitions structurent l'histoire climatique : l'entrée dans les cycles glaciaires et interglaciaires, il y a deux millions six cent mille années, puis leur amplification, autour de – 1,2 million d'années, avec des périodes plus longues et des calottes plus étendues. Les mécanismes de ces deux grandes transitions restent un mystère, alors qu'elles ne sont pas dues à des paramètres de l'orbite de la Terre. Nombre de chercheurs supposaient alors qu'elles étaient liées à une baisse du CO₂. En réalité, soulignent les auteurs, ces moments de basculement ne s'accompagnent pas d'une chute des gaz à effet de serre.

La seconde étude éclaire ce paradoxe en se tournant vers l'océan. Grâce aux gaz rares – le xénon et le krypton – dissous dans la mer puis piégés dans la glace, elle reconstitue la température moyenne globale des océans. Résultat : un refroidissement de 2,5 °C en trois millions d'années, concentré surtout au début de la période. Fait notable, cette évolution ne suit pas exactement celle des températures de surface. « Il va nous falloir comprendre cette baisse de température sans rôle majeur du CO₂ », dit Amaëlle Landais-Israël, paléoclimatologue au Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement, qui n'a pas participé aux études. Les scientifiques suggèrent le rôle prépondérant de mécanismes entraînant des rétroactions amplificatrices : extension

des calottes glaciaires (due à l'usure des socles rocheux), modifications de la circulation océanique, évolution de la végétation ou de l'albédo terrestre. Des processus internes du système climatique encore mal compris.

« Une pièce ajoutée au puzzle »

Quelles sont les implications pour le climat futur ? Ces travaux ne risquent-ils pas de nourrir le climatocriticisme ? « Nos données ne remettent pas en cause le fait que le CO₂ et la température sont indéniablement liés et que nous réchauffons la planète à un rythme sans précédent en brûlant des combustibles fossiles [charbon, pétrole et gaz] », avertit Julia Marks-Peterson, première autrice de l'une des études, et doctorante à l'université d'Etat de l'Oregon

(Etats-Unis). Aujourd'hui, l'augmentation rapide des gaz à effet de serre domine très largement la dynamique climatique.

Au regard de ces nouvelles données, les concentrations en gaz à effet de serre actuelles semblent être record depuis trois millions d'années. « Nous montrons que nous n'avons pas encore trouvé de niveaux de dioxyde de carbone aussi élevés qu'aujourd'hui dans les archives des carottes de glace », précise Julia Marks-Peterson.

Ces travaux pourraient par ailleurs suggérer une sensibilité plus forte qu'estimée jusqu'ici du climat à l'évolution du CO₂, indique la climatologue. Autrement dit, même de légères variations des niveaux de gaz à effet de serre pourraient entraîner des changements climatiques majeurs.

Ces travaux pourraient suggérer une sensibilité plus forte qu'estimée jusqu'ici du climat à l'évolution du CO₂

Comprendre les rétroactions climatiques du passé permettra de mieux anticiper celles à venir, susceptibles d'accélérer encore le réchauffement notamment si des points de bascule sont franchis. « On est en train de déstabiliser les calottes de glace, ce qui va avoir des répercussions sur le climat mondial et l'océan pendant très longtemps », rappelle Amaëlle Landais-Israël. Ces nouveaux travaux vont aussi éclairer les chercheurs sur le cycle du carbone et comment le CO₂ est stocké, ajoute-t-elle.

« Ces données exceptionnelles ajoutent une pièce au puzzle », félicite de son côté la paléoclimatologue Valérie Masson-Delmotte. L'assemblage général devrait encore mieux prendre forme dans les prochaines années. Les scientifiques de l'université de l'Oregon ont récemment découvert de la glace vieille de six millions d'années, en cours d'analyse.

En parallèle, le projet européen Beyond Epica a permis, début 2025, d'extraire des carottes jusqu'à 2800 mètres de profondeur. Ces échantillons, en cours d'analyse, permettront aux scientifiques de reconstituer l'histoire du climat et de l'atmosphère de la Terre depuis 1,2 million d'années, au minimum. A la différence des glaces d'Allan Hills, les archives récoltées sont continues. « Cela permettra de mieux comprendre l'évolution couplée des températures et des gaz à effet de serre à une échelle plus fine, notamment lors des périodes chaudes », avance Valérie Masson-Delmotte. Et de mieux calibrer les modèles de climat. ■

AUDREY GARRIC

Les femmes toujours pénalisées pour l'accès à l'eau dans le monde

Dans 70 % des foyers non desservis, la collecte de l'eau repose principalement sur les femmes de 15 ans et plus, alerte l'Unesco

L'objectif des Nations unies de garantir l'accès universel à l'eau potable et à l'assainissement, d'ici à 2030, est encore loin d'être atteint. Un peu plus de dix ans après l'adoption de cette priorité internationale, aux côtés de 16 autres grands engagements en matière de développement durable, environ 1,8 milliard de personnes n'ont pas accès au précieux liquide à leur domicile.

L'approvisionnement pèse en premier lieu sur les femmes. Dans 70 % des foyers non desservis, ce sont les femmes de 15 ans et plus qui sont les principales responsables de la collecte de l'eau. Le rapport mondial des Nations unies sur la mise en valeur des ressources en eau, publié jeudi 19 mars, met en évidence les efforts immenses que doivent encore consacrer les États à ces enjeux pour réduire les inégalités de genre en matière d'accès à l'eau.

Le texte, coordonné par les experts du Programme mondial sur l'évaluation des ressources en eau de l'Organisation des Nations unies pour l'éducation, la science et la culture (Unesco), puise sur des travaux et études de ces dernières années pour

mettre en évidence l'étendue des disparités liées au genre dans l'accès aux services les plus basiques. A l'échelle de la planète, les femmes consacrent trois fois plus de temps que les hommes à la collecte d'eau, soit 250 millions d'heures par jour.

Education fragilisée

Cette charge touche aussi les jeunes filles : selon les estimations disponibles, 7 % de celles qui ont moins de 15 ans vont ainsi s'approvisionner à l'extérieur de chez elles, contre 4 % pour les garçons du même âge.

Le trajet induit une charge physique et un déplacement exposé aux violences sexuelles. C'est, aussi, du temps en moins pour « des activités éducatives, de loisir ou génératrices de revenus », précise Laura Veronica Imburgia, spécialiste du programme eau et genre à l'Unesco. L'éducation est par ailleurs fragilisée par « l'absence de toilettes et d'eau pour l'hygiène menstruelle [qui] conduit souvent les filles à rentrer chez elles », note le rapport.

Les inégalités dépassent le champ de l'eau potable et de l'assainissement. Elles concernent, par exemple, le secteur agricole. « L'accès à la terre et l'accès aux

ressources en eau sont étroitement liés », souligne le document de l'Unesco, qui mentionne l'exemple de l'Afrique subsaharienne. Certaines règles de la législation foncière, officielle ou coutumière, à caractère discriminatoire à l'encontre des femmes empêchent celles-ci d'obtenir des droits à l'irrigation, ce qui contribue à une moindre productivité de leurs exploitations agricoles.

Ces enjeux sont d'autant plus cruciaux que l'eau douce disponible se raréfie, en lien avec le changement climatique, mais aussi avec la surexploitation des nappes et des rivières. Les associations humanitaires plaident pour que la question du genre soit au cœur des prochaines conférences des Nations unies sur l'eau, pré-

Le trajet pour aller chercher l'eau induit une charge physique et il expose aux violences sexuelles

vue pour la fin de 2026 et en 2028. « L'accroissement des pressions sur les ressources est susceptible d'entraîner des discriminations supplémentaires, notamment pour les femmes, qui doivent déjà parcourir des distances importantes pour s'approvisionner, ce qui empêche, entre autres, sur leur travail », insiste Sandra Métayer, coordinatrice de la Coalition Eau, un collectif regroupant des organisations non gouvernementales françaises.

Peu présentes dans les décisions

La question de l'égalité des genres dans les instances chargées de la gestion et de la stratégie hydrique est cruciale : « Par exemple, le fait d'avoir des femmes qui sont impliquées dans la conception des dispositifs d'assainissement permet de mieux prendre en compte leurs besoins », comme des lavabos pour leur hygiène menstruelle, assure M^{me} Métayer.

« Les systèmes d'approvisionnement en eau sont plus efficaces, plus inclusifs et plus durables s'ils bénéficient d'une participation pleine et véritable des femmes », appuie Khaled El-Enany, le directeur général de l'Unesco, en préambule du rapport. Certes, le pourcentage de femmes à la tête

de ministères de l'environnement a largement augmenté – il atteignait 28 % début 2024, contre 12 % en 2015 –, mais « les femmes restent systématiquement sous-représentées dans la gouvernance, le financement, les services publics et les prises de décision relatives à l'eau », relève l'Unesco.

Selon les données disponibles en Amérique centrale, qui datent de 2016, 27 % des 1120 personnes participant à la gouvernance de l'eau de cette région étaient des femmes. Cette moindre représentation se retrouve aussi du côté des services d'eau et d'assainissement : en 2019, moins d'un

travailler sur cinq était une femme dans 28 pays à faible revenu et à revenu intermédiaire, d'après une étude de la Banque mondiale, parmi un échantillon de 64 compagnies.

Pour réduire les inégalités de genre, les auteurs du rapport recommandent notamment de mettre fin aux « obstacles juridiques, institutionnels et financiers qui empêchent les femmes de bénéficier de l'égalité des droits dans l'accès à l'eau, à la terre et aux services ». D'autres leviers sont aussi suggérés, comme une meilleure formation des femmes. ■

LÉA SANCHEZ

Collection « Que sais-je ? » - Nouvelle édition ! 10 €

Jacques VERNIER

L'ENVIRONNEMENT

- « D'évidentes qualités de pédagogue » (L'Express)
- « Un ouvrage salvateur, ultra pratique » (Libération)
- « Complet, impartial et bien écrit » (Sciences et vie)
- « L'eau, l'air, le bruit, les déchets, la nature, les moyens de produire propre sont analysés en termes simples, concrets, chiffrés » (La Croix)