

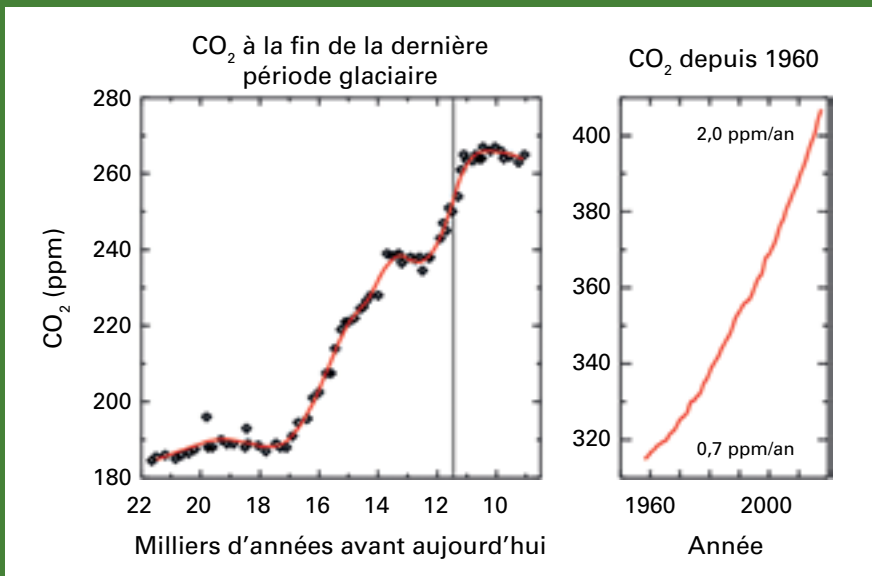


BULLETIN DE L'OMM SUR LES GAZ À EFFET DE SERRE

Bilan des gaz à effet de serre présents dans l'atmosphère, d'après les observations effectuées à l'échelle du globe en 2016.

N° 13 | 30 octobre 2017

ISSN 2078-080X



Les émissions de CO_2 provenant des activités humaines ont de nouveau atteint des niveaux record en 2016, malgré un ralentissement, voire une stagnation, d'une année à l'autre, d'après le Global Carbon Project (<http://globalcarbonbudget2016.org/>). Avec le CO_2 émis naturellement en 2015 et 2016 en raison du phénomène El Niño, ces émissions ont contribué, selon les observations du réseau de la VAG, à la hausse record de la concentration atmosphérique de CO_2 , elle-même responsable d'une nouvelle augmentation du forçage climatique. La progression constante des concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère de 1970 à aujourd'hui concorde avec l'élévation observée de la température moyenne du globe sur la même période, le record

ayant été enregistré en 2016, d'après la Déclaration de l'OMM sur l'état du climat mondial [2].

Le taux de progression de la concentration de dioxyde de carbone (CO_2) dans l'atmosphère au cours des 70 dernières années est presque 100 fois supérieur à celui de la fin de la dernière période glaciaire. D'après les observations directes et indirectes, la teneur de l'atmosphère en CO_2 n'a jamais connu de variations si brutales. Le graphique de gauche représente la concentration de CO_2 dans l'atmosphère à la fin de la dernière période glaciaire, alors que celui de droite montre celle observée récemment [1]. La fine zone grise représentée sur le graphique de gauche, qui ressemble à une ligne verticale, correspond à une période de 70 ans, soit le même nombre d'années que celui représenté sur le graphique de droite, consacré à l'époque moderne. La hausse rapide de la concentration de CO_2 et d'autres gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère peut déclencher des changements imprévisibles dans les systèmes climatiques à cause de fortes rétroactions positives pouvant aboutir à de graves perturbations écologiques et économiques. Le Programme de la Veille de l'atmosphère globale (VAG) de l'OMM enregistre les variations de la concentration des gaz à effet de serre, principaux éléments moteurs des changements climatiques au niveau de l'atmosphère, et sert de système d'alerte précoce en détectant leurs variations.

Comme l'illustre l'article à l'intérieur de ce bulletin, depuis environ 800 000 ans jusqu'au début de l'ère industrielle, la concentration de CO_2 dans l'atmosphère est restée inférieure à 280 ppm⁽¹⁾ pendant les périodes glaciaires et interglaciaires, mais elle a désormais atteint 403,3 ppm, soit la moyenne de 2016 à l'échelle du globe. Les plus récentes reconstitutions à haute résolution, effectuées à partir de carottes de glace, permettent d'observer que les variations de la teneur en CO_2 n'ont jamais été aussi rapides qu'au cours des 150 dernières années et que les variations naturelles de la concentration de CO_2 au cours des périodes glaciaires ont toujours précédé des variations parallèles de la température. Les relevés géologiques montrent que les taux actuels de CO_2 correspondent à un climat «d'équilibre» observé pour la dernière fois au Pliocène moyen (il y a 3 à 5 millions d'années), période pendant laquelle la température était de 2 à 3 °C plus élevée et qui a vu fondre les nappes glaciaires du Groenland et de l'Antarctique occidental, ainsi qu'une partie de la glace de l'est du continent. Cette fonte avait entraîné une élévation du niveau de la mer, qui était supérieur de 10 à 20 m au niveau actuel.

La croissance démographique, la pratique d'une agriculture de plus en plus intensive, une plus grande utilisation des terres, la déforestation, l'industrialisation et l'exploitation énergétique des sources de combustibles fossiles contribuent à l'accroissement des concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère depuis le début de l'ère industrielle (1750).

Plus nous attendrons pour mettre en œuvre l'Accord de Paris, plus l'engagement à prendre pour combattre le changement climatique à venir sera radical et plus les réductions d'émissions à mettre en place seront drastiques (et coûteuses) pour que le changement climatique ne dépasse pas les limites critiques.

Résumé

La toute dernière analyse des données d'observation recueillies par le réseau *in situ* du Programme de la Veille de l'atmosphère globale (VAG) de l'OMM révèle qu'à l'échelle du globe, les fractions molaires en surface⁽²⁾ du CO₂, du méthane (CH₄) et du protoxyde d'azote (N₂O) ont atteint de nouveaux pics en 2016, s'établissant respectivement à 403,3±0,1 ppm, 1 853±2 ppb⁽³⁾ et 328,9±0,1 ppb. Ces valeurs représentent respectivement 145 %, 257 % et 122 % des niveaux préindustriels (avant 1750). Le taux d'accroissement du CO₂ entre 2015 et 2016, qui a atteint 3,3 ppm, était plus élevé que le taux record enregistré entre 2012 et 2013 et que la moyenne des dix années précédentes. L'épisode El Niño de 2015/2016 a favorisé l'accélération du rythme d'accroissement de ce gaz du fait des interactions complexes entre les changements climatiques et le cycle du carbone. La teneur de l'atmosphère en CH₄ a augmenté légèrement moins rapidement entre 2015 et 2016 qu'entre 2014 et 2015, mais plus vite que sur les dix dernières années en moyenne. Le taux d'accroissement du N₂O entre 2015 et 2016 est aussi légèrement inférieur à celui observé de 2014 à 2015 et à la moyenne des dix années précédentes. Selon l'indice annuel d'accumulation des gaz à effet de serre dans l'atmosphère (AGGI) [3, 4] publié par l'Administration américaine pour les océans et l'atmosphère (NOAA), le forçage radiatif de l'atmosphère induit par les gaz à effet de serre persistants s'est accru de 40 % entre 1990 et 2016, le dioxyde de carbone étant à l'origine d'environ 80 % de cette augmentation.

Résultats des observations *in situ* du réseau de la VAG pour 2016

Le présent bulletin annuel sur les gaz à effet de serre publié par l'OMM dans le cadre du Programme de la VAG rend compte de l'évolution de la concentration atmosphérique des principaux gaz à effet de serre persistants (dioxyde de carbone, méthane et protoxyde d'azote) et présente un récapitulatif de la contribution des autres gaz. Avec les CFC-11 et CFC-12, ces trois gaz sont responsables de 96 %⁽⁴⁾ [5] environ du forçage radiatif induit par les gaz à effet de serre persistants (figure 1).

Le Programme de la VAG (<http://www.wmo.int/gaw>) permet de coordonner l'observation systématique et l'analyse des gaz à effet de serre et d'autres éléments à l'état de traces dans l'atmosphère. La figure 2 montre l'emplacement des stations qui mesurent les gaz à effet de serre depuis une décennie. Les données d'observation

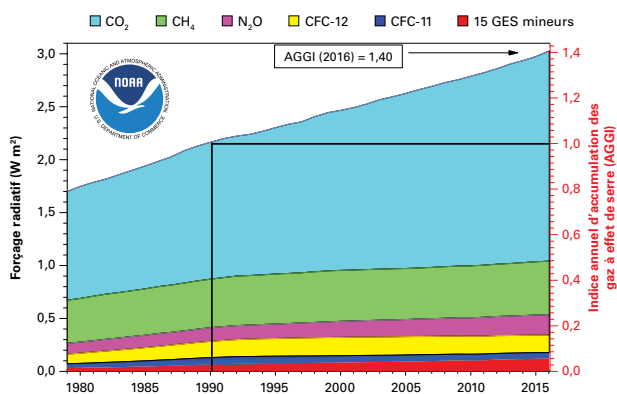


Figure 1. Forçage radiatif de l'atmosphère, par rapport à 1750, dû aux gaz à effet de serre persistants et valeur actualisée pour 2016 de l'indice annuel d'accumulation des gaz à effet de serre (AGGI) de la NOAA [3, 4].

Tableau 1. Concentrations moyennes annuelles à la surface du globe (en 2016) et évolution des principaux gaz à effet de serre d'après les données transmises par le réseau mondial d'observation des gaz à effet de serre relevant de la VAG. Les valeurs sont exprimées en fractions molaires d'air sec et les incertitudes sont pour un intervalle de confiance à 68 % [7]. La méthode de calcul de la moyenne est décrite dans le rapport N° 184 de la série consacrée à la VAG [6].

	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Concentration mondiale en 2016	403,3±0,1 ppm	1853±2 ppb	328,9±0,1 ppb
Concentration en 2016 par rapport à l'année 1750 ^a	145 %	257 %	122 %
Augmentation en valeur absolue entre 2015 et 2016	3,3 ppm	9 ppb	0,8 ppb
Augmentation en % entre 2015 et 2016	0,83 %	0,49 %	0,24 %
Augmentation annuelle moyenne en valeur absolue depuis 10 ans	2,21 ppm/an	6,8 ppb/an	0,90 ppb/an

^a En supposant une fraction molaire préindustrielle de 278 ppm pour le CO₂, de 722 ppb pour le CH₄ et de 270 ppb pour le N₂O. Nombre de stations utilisées pour les analyses: 123 pour le CO₂, 125 pour le CH₄ et 33 pour le N₂O.

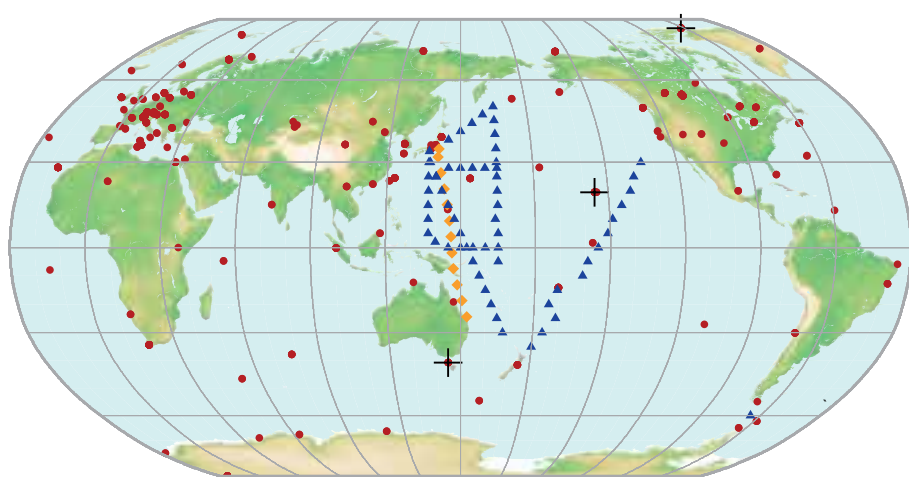


Figure 2. Réseau mondial de la VAG mesurant la concentration du CO₂ depuis dix ans (le réseau est similaire pour le CH₄).

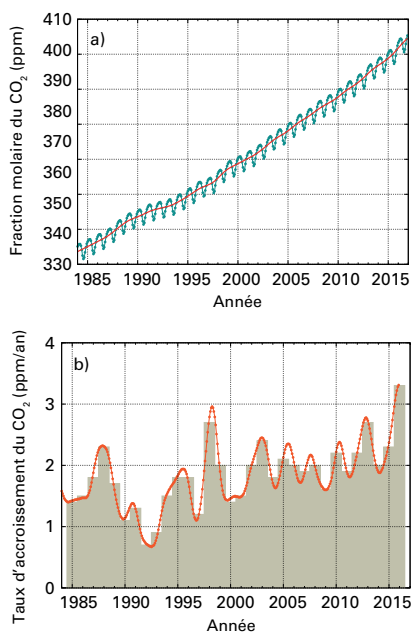


Figure 3. Évolution de la valeur moyenne à l'échelle du globe de la fraction molaire du CO₂ a) et de son taux d'accroissement b) pendant la période comprise entre 1984 et 2016. Les colonnes ombrées (en b) font apparaître les différences entre les moyennes annuelles successives. La ligne rouge en a) est la fraction molaire mensuelle moyenne désaisonnalisée; la ligne et les points bleus indiquent les moyennes mensuelles. Cette analyse repose sur les observations de 123 stations.

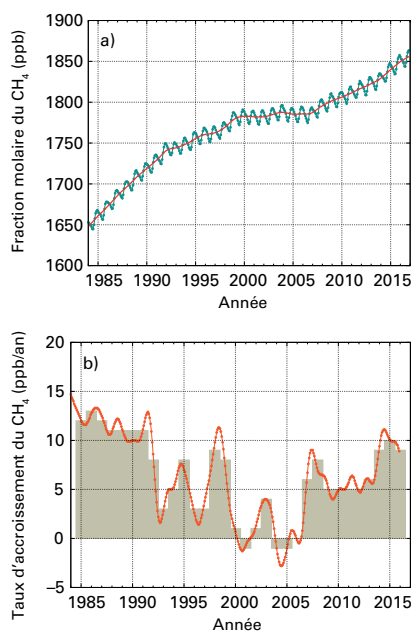


Figure 4. Évolution de la valeur moyenne à l'échelle du globe de la fraction molaire du CH₄ a) et de son taux d'accroissement b) pendant la période comprise entre 1984 et 2016. Les colonnes ombrées (en b) font apparaître les différences entre les moyennes annuelles successives. La ligne rouge en a) est la fraction molaire mensuelle moyenne désaisonnalisée; la ligne et les points bleus indiquent les moyennes mensuelles. Cette analyse repose sur les observations de 125 stations.

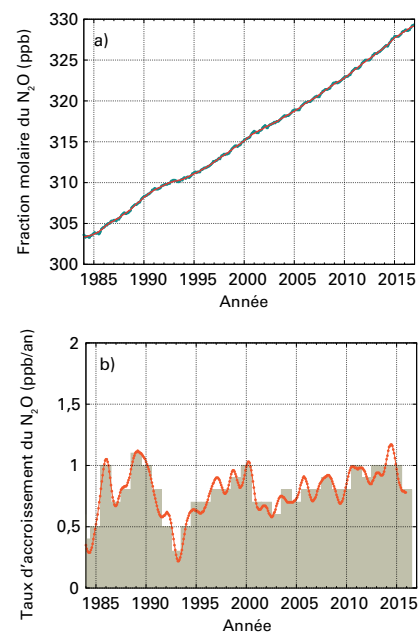


Figure 5. Évolution de la valeur moyenne à l'échelle du globe de la fraction molaire du N₂O a) et de son taux d'accroissement b) pendant la période comprise entre 1984 et 2016. Les colonnes ombrées (en b) font apparaître les différences entre les moyennes annuelles successives. La ligne rouge en a) est la fraction molaire mensuelle moyenne désaisonnalisée. Dans ce graphique, elle chevauche la ligne et les points bleus qui indiquent les moyennes mensuelles. Cette analyse repose sur les observations de 33 stations.

de l'atmosphère communiées par les pays sont archivées et distribuées par le Centre mondial de données relatives aux gaz à effet de serre (CMDGS), qui est hébergé par le Service météorologique japonais.

Les résultats du CMDGS relatifs aux concentrations moyennes et aux taux d'accroissement diffèrent légèrement, pour les années considérées [1], de ceux de la NOAA car les stations utilisées, les méthodes de calcul des moyennes et les périodes auxquelles se rapportent les chiffres ne sont pas exactement les mêmes. Le CMDGS applique la procédure décrite dans le rapport de la VAG N° 184 [6].

Le tableau 1 présente, pour 2016, les concentrations, moyennées à l'échelle du globe, des trois principaux gaz à effet de serre persistants et l'évolution de ces concentrations depuis 2015 et depuis 1750. Sont exclues de l'analyse les mesures provenant de stations mobiles (représentées par des triangles bleus et des losanges oranges sur la figure 2), à l'exception des données d'échantillonnage de la NOAA pour le Pacifique oriental.

Les trois gaz à effet de serre du tableau 1 sont étroitement liés aux activités humaines et interagissent par ailleurs fortement avec la biosphère et les océans. Pour prévoir l'évolution des concentrations atmosphériques de ces gaz, il est nécessaire de bien connaître, sur le plan quantitatif, leurs multiples sources et puits ainsi que les transformations chimiques qui se produisent dans l'atmosphère. Les observations du Programme de la VAG

livrent de précieuses informations sur les limites dans lesquelles s'inscrivent les bilans de ces gaz et des autres GES persistants. Elles servent aussi à améliorer les inventaires d'émissions et à évaluer les données satellitaires sur les GES persistants moyennés sur la colonne. Le Système mondial intégré d'information sur les gaz à effet de serre, que l'OMM s'emploie à promouvoir, donne également des renseignements sur les sources des gaz à effet de serre aux échelles nationale et infranationale.

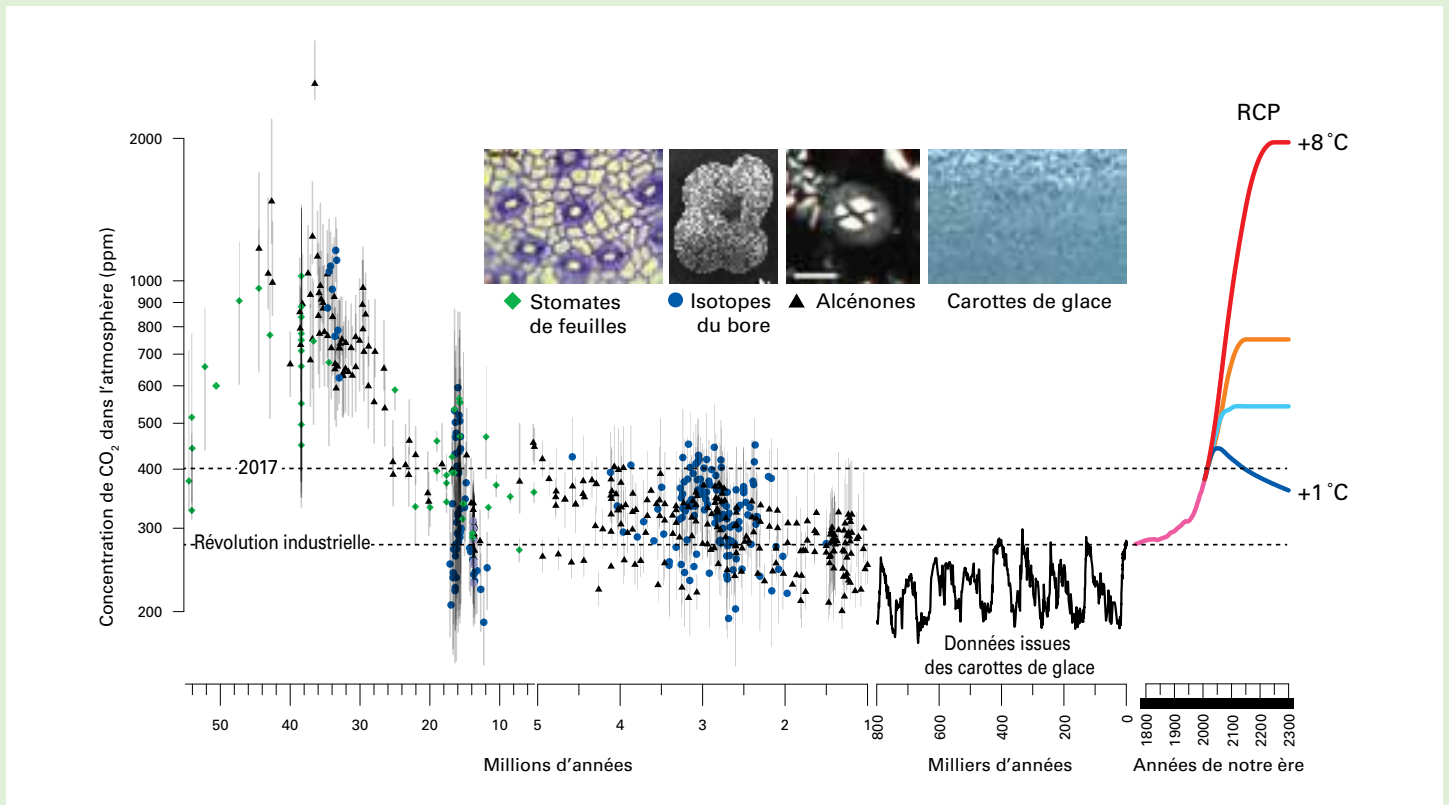
L'indice annuel d'accumulation des gaz à effet de serre (AGGI) de la NOAA [4] s'établissait à 1,40 en 2016, ce qui traduit une augmentation du forçage radiatif total induit par l'ensemble des gaz à effet de serre persistants de 40 %⁽⁴⁾ depuis 1990 et de 2,5 % entre 2015 et 2016 (figure 1). Ce forçage radiatif correspondait en 2016 à une fraction molaire de 489 ppm en équivalent CO₂ [4].

Dioxyde de carbone (CO₂)

Le dioxyde de carbone est le gaz à effet de serre d'origine humaine le plus abondant dans l'atmosphère, puisqu'il contribue pour quelque 65 %⁽⁴⁾ au forçage radiatif induit par les gaz à effet de serre persistants. Il est à l'origine de l'augmentation de ce forçage à hauteur d'environ 82 % depuis une décennie et 83 % ces cinq dernières années. La fraction molaire préindustrielle, de quelque 278 ppm, représentait une situation d'équilibre des flux entre l'atmosphère, les océans et la biosphère terrestre. En 2016, la teneur de l'atmosphère en CO₂ s'établissait à 145 % de ce qu'elle était à l'époque préindustrielle, essentiellement à cause des

DÉCOUVERTE D'ANCIENNES ATMOSPHÈRES DANS LA GLACE DE L'ANTARCTIQUE

Nancy Bertler (GNS Science et université Victoria de Wellington (Nouvelle-Zélande)),
Richard Levy (GNS Science) et Jocelyn Turnbull (GNS Science (Nouvelle-Zélande))



Les reconstitutions de la concentration de CO_2 dans l'atmosphère depuis 55 millions d'années reposent sur des données indirectes relatives notamment aux isotopes du bore (cercles bleus), aux alcénones (triangles noirs) et aux stomates de feuilles (losanges verts). Les mesures directes de l'atmosphère des 800 000 dernières années sont obtenues grâce aux carottes de glace prélevées dans l'Antarctique et à des instruments modernes (en rose). Les estimations concernant l'avenir reposent sur les profils représentatifs d'évolution de concentration RCP 8,5 (en rouge), RCP 6 (en orange), RCP 4,5 (en bleu clair) et RCP 2,6 (en bleu). Les références de toutes les données représentées sur ce graphique figurent dans la version complète du présent article, disponible en ligne à l'adresse suivante: (<http://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/ghg/ghg-bulletin13.html>).

Ces trente dernières années, des techniques ont été mises au point pour «faire parler» les minuscules bulles d'air piégées dans les carottes de glace de l'Antarctique, afin qu'elles révèlent les informations complexes qu'elles contiennent sur les concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère, en particulier de dioxyde de carbone (CO_2), de méthane (CH_4) et de protoxyde d'azote (N_2O). Contrairement à la plupart des reconstitutions paléoclimatologiques, ces données sur les gaz à effet de serre sont le résultat non pas d'observations indirectes, mais bien de l'analyse d'atmosphères du passé effectuée grâce aux microscopiques poches d'air très ancien qui sont piégées dans la nappe glaciaire à mesure que la neige s'accumule par-dessus et se solidifie, se transformant en glace. Le premier carottage a été mis au point par le scientifique français Claude Lorius au Dôme C et à la station Vostok dans les années 1970, en pleine guerre froide, en collaboration avec des scientifiques soviétiques et américains. Depuis lors, un grand nombre d'autres carottes ont été analysées, dont celles issues du plus long carottage pour l'heure, réalisé au Dôme C dans le

cadre d'EPICA (projet européen de prélèvement de glace dans l'Antarctique), qui donnent des indications sur les 740 000 dernières années. Ces carottes de glace prouvent que la concentration de CO_2 dans l'atmosphère a fluctué entre 180 ppm et 280 ppm au cours des huit dernières oscillations entre périodes glaciaires (glaciations) et interglaciaires (périodes chaudes, comme actuellement), ce qui démontre que la concentration de CO_2 de notre époque – environ 400 ppm – est supérieure à la variabilité naturelle observée sur des centaines de milliers d'années.

Ces dix dernières années, de nouvelles carottes de glace haute résolution ont été utilisées pour analyser la vitesse de l'évolution de la concentration de CO_2 dans le passé. Ces carottes proviennent de l'intérieur de l'Antarctique occidentale (projet *West Antarctic Ice Sheet Divide*) et du littoral de l'Antarctique, où la neige s'accumule rapidement ce qui permet d'obtenir des carottes à résolution temporelle fine (sites du Dôme Law, du Dôme Talos et de l'île Roosevelt, notamment). Elles servent à établir des comparaisons

Segment d'une carotte de glace extraite dans le sud-est du Groenland par l'équipe de Lora Koenig, glaciologue du Centre de vols spatiaux Goddard de la NASA à Greenbelt (États-Unis d'Amérique).



directes avec les relevés de Mauna Loa et avec les fractions molaires moyennées à l'échelle du globe. Des carottes de glace horizontales, prélevées à des endroits où de la très vieille glace se trouve près de la surface (Dôme Taylor et Allan Hills, par exemple), sont également utilisées pour remonter dans le temps et échantillonner des volumes de glace importants afin d'effectuer des mesures complémentaires, notamment des isotopes stables dans le CO_2 , qui permettent de déterminer les sources et les puits de gaz à effet de serre responsables des variations de la concentration de CO_2 .

Rythme et mécanismes des variations de la concentration de CO_2 dans le passé

Il y a 23 000 ans, les concentrations atmosphériques de CO_2 et la température ont commencé à augmenter, mettant fin à la dernière période glaciaire. La quantité de CO_2 dans l'atmosphère a alors augmenté de 80 ppm, passant de 180 ppm il y a 23 000 ans à 260 ppm il y a 9 000 ans. Des mesures et des techniques d'analyse extrêmement perfectionnées ont montré que l'accroissement du CO_2 a eu lieu plusieurs siècles **avant** les variations de température qui lui sont associées. Les relevés effectués sur les carottes de glace de l'Antarctique occidental indiquent trois types de variabilité du CO_2 sur cette période:

- De *lentes augmentations de la concentration de CO_2* . La concentration de CO_2 a progressé lentement, à un rythme d'environ 10 ppm tous les 1 000 ans entre il y a 18 000 ans et 13 000 ans. On estime que cette lente évolution s'explique par la libération accrue et l'absorption réduite du carbone emmagasiné dans les profondeurs marines, en raison d'une modification de la température et de la salinité des océans, ainsi que d'une diminution des glaces de mer et de l'activité biologique dans l'océan austral.
- Des *augmentations brutales de la concentration de CO_2* . Des augmentations rapides de la concentration de CO_2 , de l'ordre de 10 à 15 ppm sur 100 à 200 ans, ont été observées à trois périodes: il y a 16 000 ans, il y a 15 000 ans et il y a 12 000 ans. Ces trois périodes de rapide progression sont responsables de près de la moitié de la hausse totale de la concentration de CO_2 pendant la déglaciation et sont liées à des changements de configuration soudains de la circulation océanique, ainsi qu'à des «tiraillements incessants» entre les courants profonds de l'Atlantique Nord et de l'océan Austral, qui ont provoqué

une libération rapide de carbone dans l'atmosphère. À titre comparatif, la concentration de CO_2 a augmenté de 120 ppm ces 150 dernières années sous l'effet de la combustion des combustibles fossiles.

- Des *paliers stables de la concentration de CO_2* . Curieusement, chaque épisode de progression rapide a été suivi par une phase de stabilité des concentrations de CO_2 qui a duré de 1 000 à 1 500 ans. L'explication de ce phénomène fait toujours l'objet de débats, mais parmi les causes plausibles figurent de nouvelles modifications de la circulation océanique sous l'effet de la fonte des nappes glaciaires, la lente évolution des caractéristiques de croissance des végétaux terrestres et les échanges entre l'océan et l'atmosphère après l'augmentation rapide de la concentration de CO_2 .

Définir les engagements pour l'avenir en fonction des exemples du passé

Grâce aux relevés géologiques qui donnent des indications sur des périodes antérieures à celles couvertes par les carottes de glace, il est possible de voir comment le système Terre a réagi la dernière fois que les concentrations de CO_2 dans l'atmosphère étaient semblables à celles enregistrées actuellement et à celles prévues pour les prochaines décennies. Les informations transmises par les alcénones, les isotopes du bore et les fossiles de stomates de feuilles conservés dans les couches de roche et de sédiments permettent d'estimer les concentrations passées de CO_2 sur plusieurs millions d'années. Ces données aident à évaluer qu'elle a été la sensibilité des milieux naturels terrestres à des concentrations de CO_2 supérieures aux niveaux préindustriels et contribuent ainsi à mettre à l'épreuve les modèles utilisés pour l'étude du climat, des nappes glaciaires et du système Terre, et à les affiner. Parmi les périodes à étudier figure le Pliocène moyen, il y a 3 à 5 millions d'années, car c'est pendant cette période que la concentration atmosphérique de CO_2 a atteint 400 ppm pour la dernière fois. La température moyenne à la surface du globe était de 2 °C à 3 °C supérieure à la température actuelle, ce qui a provoqué la fonte des nappes glaciaires du Groenland et de l'Antarctique occidental, ainsi que d'une partie de la glace de l'est du continent. Cette fonte a entraîné l'élévation du niveau de la mer, qui était supérieur de 10 à 20 m au niveau actuel. Au Miocène moyen, il y a 15 à 17 millions d'années, la concentration de CO_2 dans l'atmosphère a atteint entre 400 ppm et 650 ppm et la température moyenne à la surface du globe était de 3 °C à 4 °C supérieure à celle d'aujourd'hui. Lors des intervalles les plus chauds, les nappes glaciaires de l'Antarctique oriental ont reculé vers l'intérieur du continent, provoquant une hausse du niveau de la mer de 40 m. Il y a plus de 34 millions d'années, la concentration de CO_2 dans l'atmosphère dépassait généralement 1 000 ppm. Les températures étaient si élevées qu'elles ne permettaient pas aux nappes glaciaires de se développer dans l'Antarctique.

En nous permettant de mieux comprendre le passé, ces précieuses informations fournissent des exemples utiles pour évaluer les réactions de l'environnement et des écosystèmes à de fortes concentrations de CO_2 . Ce faisant, elles mettent en avant des contraintes de modèle d'une valeur inestimable pour les projections concernant l'impact des scénarios relatifs aux futures émissions de gaz à effet de serre.

Les références du présent article figurent dans sa version complète, disponible en ligne à l'adresse suivante: <http://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/ghg/ghg-bulletin13.html>.

émissions liées à l'exploitation des combustibles fossiles et à la production de ciment (celles-ci ont atteint $9,9 \pm 0,5$ PgC⁽⁵⁾ en 2015 [8]), au déboisement et aux autres changements d'affectation des sols ($1,0 \pm 0,5$ PgC en moyenne pour la période 2006–2015). Sur le total du CO₂ émis par les activités humaines entre 2006 et 2015, 44 % environ se sont accumulés dans l'atmosphère, 26 % dans les océans et 30 % dans la biosphère terrestre [8]. La fraction du CO₂ transportée par l'air, c'est-à-dire la part résultant de l'exploitation des combustibles fossiles qui demeure dans l'atmosphère, change d'une année à l'autre étant donné la forte variabilité naturelle des puits de CO₂, sans tendance générale affirmée.

En 2016, la fraction molaire du CO₂ moyennée à l'échelle du globe s'est établie à $403,3 \pm 0,1$ ppm (figure 3). L'augmentation record de la moyenne annuelle – 3,3 ppm entre 2015 et 2016 – est supérieure à la hausse record précédente survenue entre 2012 et 2013, et dépasse de 50 % le taux d'accroissement moyen sur les dix dernières années (environ 2,2 ppm/an). Cette accélération du rythme d'accroissement en 2015 et 2016 par rapport aux années précédentes est due en partie à l'augmentation des émissions naturelles de CO₂ dans le sillage du dernier épisode El Niño, comme cela a été expliqué dans l'édition précédente (N° 12) du *Bulletin sur les gaz à effet de serre*.

Méthane (CH₄)

Le méthane contribue pour quelque 17 %⁽⁴⁾ au forçage radiatif induit par les gaz à effet de serre persistants. Environ 40 % des rejets de méthane dans l'atmosphère sont d'origine naturelle (zones humides, termites, etc.) et 60 % d'origine humaine (élevage de ruminants, riziculture, exploitation de combustibles fossiles, décharges, combustion de biomasse, etc.). En 2016, le CH₄ atmosphérique a atteint 257 % du niveau qu'il avait à l'époque préindustrielle (environ 722 ppb) du fait de l'accroissement des émissions anthropiques. Moyennée à l'échelle du globe, la teneur en CH₄, calculée à partir d'observations *in situ*, a atteint

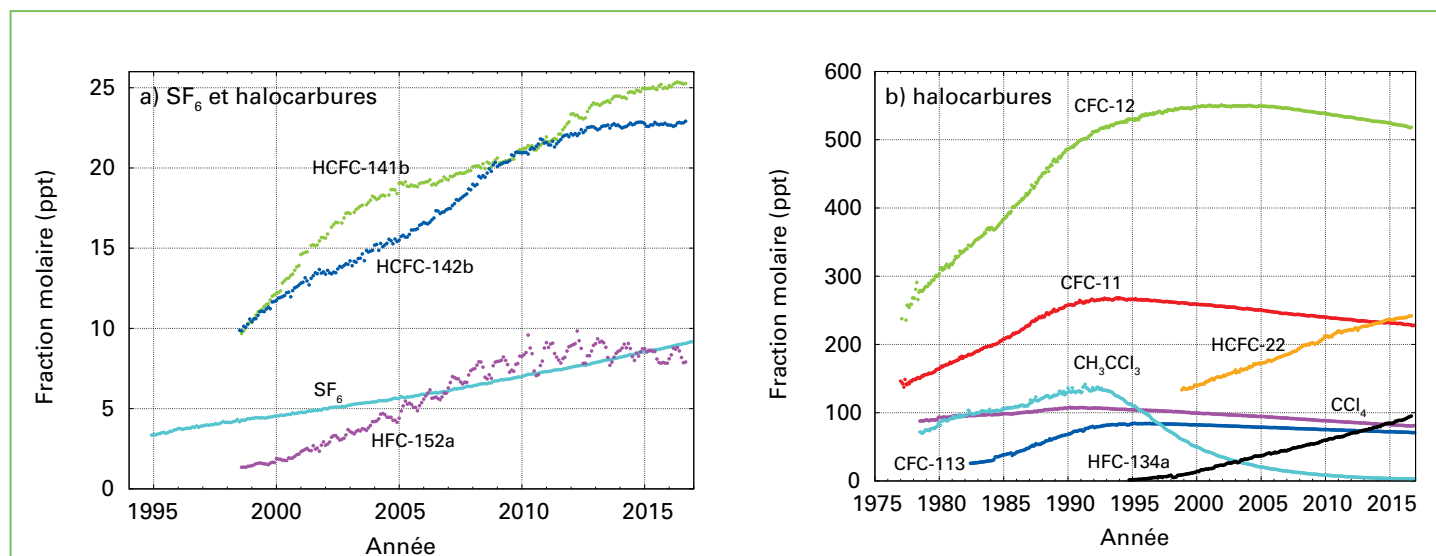
un nouveau pic en 2016 – $1\,853 \pm 2$ ppb – soit une augmentation de 9 ppb par rapport à l'année précédente (figure 4). Après avoir atteint quelque 13 ppb par an au début des années 1980, le taux d'accroissement annuel moyen du CH₄ atmosphérique a diminué pour se stabiliser à une valeur proche de zéro entre 1999 et 2006. Depuis 2007, la teneur de l'atmosphère en méthane est à nouveau en augmentation. Les mesures du CH₄ effectuées dans le cadre de la VAG donnent à penser que cette évolution est probablement due à une hausse des émissions de méthane provenant des terres humides des régions tropicales ainsi que de sources anthropiques aux latitudes moyennes de l'hémisphère Nord.

Protoxyde d'azote (N₂O)

Le protoxyde d'azote contribue pour quelque 6 %⁽⁴⁾ au forçage radiatif induit pas les gaz à effet de serre persistants, ce qui le place au troisième rang des agents en cause. Les émissions de N₂O dans l'atmosphère proviennent à la fois de sources naturelles (environ 60 %) et de sources anthropiques (environ 40 %), notamment des océans, des sols, de la combustion de biomasse, des engrais et de divers processus industriels. La fraction molaire du N₂O moyennée à l'échelle du globe a atteint $328,9 \pm 0,1$ ppb en 2016, soit 0,8 ppb de plus que l'année précédente (figure 5) et 122 % du niveau qu'elle avait à l'époque préindustrielle (270 ppb). Le taux d'accroissement annuel entre 2015 et 2016 est légèrement inférieur à la moyenne calculée sur les dix dernières années (0,9 ppb/an). La cause en est probablement un plus grand recours aux engrais dans le contexte de l'agriculture, à quoi s'ajoute l'accroissement des émissions de N₂O par les sols en raison des dépôts d'azote liés à la pollution de l'air.

Autres gaz à effet de serre

L'hexafluorure de soufre (SF₆) est un puissant gaz à effet de serre persistant. Produit par l'industrie chimique, il est utilisé surtout comme isolant dans les systèmes de distribution électrique. Sa



fraction molaire est environ le double aujourd'hui de ce qu'elle était au milieu des années 90 (figure 6 a)). Les chlorofluorocarbures (CFC) destructeurs d'ozone stratosphérique et les gaz halogénés mineurs contribuent pour quelque 11 %⁽⁴⁾ au forçage radiatif induit par les gaz à effet de serre persistants. Si les CFC et la plupart des halons sont en diminution, certains hydrochlorofluorocarbures (HCFC) et hydrofluorocarbures (HFC), eux aussi de puissants gaz à effet de serre, augmentent à un rythme assez rapide, même s'ils sont encore peu abondants (leur concentration se mesure en ppt⁽⁶⁾).

Le présent bulletin traite principalement des gaz à effet de serre persistants. L'ozone troposphérique, qui a une durée de vie relativement courte, provoque un forçage radiatif comparable à celui qu'induisent les halocarbures. Beaucoup d'autres polluants, tels que le monoxyde de carbone, les oxydes d'azote et les composés organiques volatils, bien qu'ils ne soient pas assimilés à des gaz à effet de serre, ont une légère influence – directe ou indirecte – sur le forçage radiatif. Les aérosols (particules en suspension) sont eux aussi des substances éphémères qui ont une incidence sur le bilan radiatif. Tous les gaz mentionnés ici ainsi que les aérosols font l'objet d'une surveillance dans le cadre du programme d'observation de la VAG, avec le soutien des Membres de l'OMM et des réseaux participants.

Remerciements et sites Internet

Cinquante et un Membres de l'OMM ont transmis des données sur le CO₂ et d'autres gaz à effet de serre au CMDGS. Environ 46 % des relevés communiqués au CMDGS proviennent de stations qui font partie du réseau coopératif mondial d'échantillonnage d'air relevant du laboratoire de recherche sur le système terrestre (ESRL) de la NOAA. Pour les autres réseaux et stations, voir le rapport N° 229 de la série consacrée à la VAG. Les données d'observation du réseau AGAGE (Advanced Global Atmospheric Gases Experiment) ont également été utilisées. Enfin, les stations d'observation de la VAG qui ont fourni des données utilisées pour établir le présent bulletin, qui apparaissent dans la figure 2, sont incluses dans la liste des stations participantes figurant sur le site Web du CMDGS (<http://ds.data.jma.go.jp/gmd/wdscgg/>). Elles sont par ailleurs décrites dans le système d'information sur les stations de la VAG (GAW SIS) (<http://gawsis.meteoswiss.ch>) administré par MétéoSuisse (Suisse).

Références

- [1] National Oceanic and Atmospheric Administration Earth System Research Laboratory, 2016: Trends in atmospheric carbon dioxide, <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>.
- [2] Organisation météorologique mondiale, 2016: *Déclaration de l'OMM sur l'état du climat mondial*, https://library.wmo.int/opac/doc_num.php?explnum_id=3500.
- [3] Butler, J.H. et S.A. Montzka, 2016: The NOAA annual greenhouse gas index (AGGI), <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/aggi/aggi.html>.
- [4] National Oceanic and Atmospheric Administration Earth System Research Laboratory, 2016: NOAA's annual greenhouse gas index, <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/aggi/>.
- [5] Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2014: *Changements climatiques 2014: Rapport de synthèse*.

Contribution des Groupes de travail I, II et III au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (sous la direction de l'équipe de rédaction principale, R.K. Pachauri et L.A. Meyer). GIEC, Genève, Suisse.

[6] Organisation météorologique mondiale, 2009: *Technical Report of Global Analysis Method for Major Greenhouse Gases by the World Data Center for Greenhouse Gases* (Y. Tsutsumi, K. Mori, T. Hirahara, M. Ikegami et T.J. Conway). Rapport N° 184 de la série consacrée à la VAG (WMO/TD-No. 1473), Genève, Suisse, https://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/documents/TD_1473_GAW184_web.pdf.

[7] Conway, T.J., P.P. Tans, L.S. Waterman, K.W. Thoning, D.R. Kitzis, K.A. Masarie et N. Zhang, 1994: Evidence for interannual variability of the carbon cycle from the National Oceanic and Atmospheric Administration/Climate Monitoring and Diagnostics Laboratory Global Air Sampling Network. *Journal of Geophysical Research*, 99:22831–22855.

[8] Le Quéré, C., *et al.*, 2016: Global carbon budget 2016. *Earth System Science Data* 8:605–649, doi:10.5194/essd-8-605-2016.

Contacts

Organisation météorologique mondiale

Division de la recherche sur l'environnement atmosphérique,
Département de la recherche, Genève
Courriel: gaw@wmo.int
Site Web: <http://www.wmo.int/gaw>

Centre mondial de données relatives aux gaz à effet de serre

Service météorologique japonais, Tokyo
Courriel: wdcgg@met.kishou.go.jp
Site Web: <http://ds.data.jma.go.jp/gmd/wdscgg/>

⁽¹⁾ ppm = nombre de molécules du gaz considéré par million (10⁶) de molécules d'air sec.

⁽²⁾ L'expression «fraction molaire» est employée de préférence à «concentration» lorsqu'on parle des gaz ou des fluides qui composent l'air. En chimie atmosphérique, elle sert à exprimer la concentration comme étant le nombre de moles d'un composé par mole d'air sec.

⁽³⁾ ppb = nombre de molécules du gaz considéré par milliard (10⁹) de molécules d'air sec.

⁽⁴⁾ Ce pourcentage correspond à la contribution relative du gaz mentionné à l'accroissement du forçage radiatif mondial dû à l'ensemble des gaz à effet de serre persistants depuis 1750.

⁽⁵⁾ 1 PgC = 1 pétagramme (10¹⁵ grammes) de carbone.

⁽⁶⁾ ppt = nombre de molécules du gaz considéré par billion (10¹²) de molécules d'air sec.

Quelques observatoires des gaz à effet de serre



La station de Cape Point (34°21'S, 18°29'E) se trouve dans une réserve naturelle à l'extrémité sud de la péninsule du Cap (Afrique du Sud), à environ 60 km au sud de la ville du Cap. Perchée au sommet d'une falaise, à 230 m au-dessus du niveau de la mer, elle fait face à l'océan sur trois côtés. Elle est exposée principalement à de l'air marin bien mélangé provenant de l'Atlantique Sud, en raison de la direction des vents dominants – sud-est à sud-sud-ouest. Il arrive que des masses d'air continental atteignent le site de prélèvement, ce qui donne alors l'occasion d'étudier le contraste entre différents régimes de circulation atmosphérique. La péninsule du Cap jouit d'un climat de type méditerranéen, qui se caractérise par des étés généralement secs et venteux et des hivers froids et humides.

La station, qui a entamé sa quarantième année d'existence, se concentre essentiellement sur l'observation continue des gaz à effet de serre persistants, à savoir le dioxyde de carbone, le méthane et le protoxyde d'azote, et des gaz à l'état de traces tels que le monoxyde de carbone, l'ozone troposphérique, le mercure élémentaire gazeux, les halocarbures et les aérosols. Elle fait partie depuis 1995 des stations mondiales de la Veille de l'atmosphère globale de l'OMM et participe régulièrement aux audits conduits par le Laboratoire fédéral (suisse) d'essai des matériaux et de recherche (EMPA) ainsi qu'aux comparaisons organisées par l'OMM. La station abrite également une panoplie complète d'instruments de mesure des paramètres météorologiques et du rayonnement solaire.

Implanté à la base Summit dans l'Arctique, l'observatoire groenlandais de l'environnement (GEOSummit) est une station de prélèvement qui fonctionne toute l'année et dont le financement est assuré par la *National Science Foundation*. Il se trouve à proximité du point culminant de l'inlandsis du Groenland (72,58° N, 38,48° W, 3 202 m au-dessus du niveau de la mer), où il offre des possibilités exceptionnelles pour l'étude des processus atmosphériques. Un programme de mesures de référence a été instauré en 2003 pour l'observation, tout au long de l'année, des principales variables caractéristiques du site. Les chercheurs disposent actuellement des mesures de référence suivantes: météorologie de la station, cumul de neige mesuré à l'aide de 100 balises alignées sur une distance de 12 km, relevés hebdomadaires de la chimie de la neige en



surface, relevés mensuels de la chimie et de la stratigraphie d'une coupe dans la neige, et radionucléides échantillonnés par filtrage. Un impacteur en cascade à huit étages transmet également des informations en continu sur les aérosols. En outre, des instruments de la Division de la surveillance mondiale de la NOAA sont présents sur le site pour fournir en continu des observations sur l'ozone et le carbone noir. De plus, les gaz à effet de serre font l'objet de prélèvements hebdomadaires dans des flacons. À partir des mêmes échantillons, l'Institut de recherche arctique et alpine (INSTAAR) de l'Université du Colorado analyse les composés organiques volatils (COV) depuis 2006. Une deuxième série d'échantillons est prélevée dans des flacons en acier inoxydable toutes les deux semaines pour fournir des données sur les halocarbures. Depuis 2008, l'INSTAAR mesure également sur le site la concentration de méthane (toutes les heures) et de composés organiques volatils (toutes les quatre heures) au moyen d'un instrument télécommandé de chromatographie en phase gazeuse.