

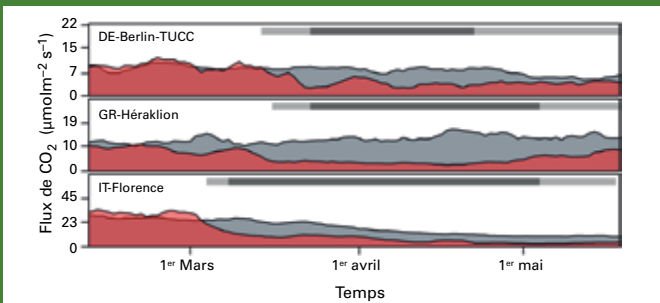


BULLETIN DE L'OMM SUR LES GAZ À EFFET DE SERRE

Bilan des gaz à effet de serre présents dans l'atmosphère, d'après les observations effectuées à l'échelle du globe en 2019

N° 16 | 23 novembre 2020

Les mesures de confinement liées à la COVID-19 ont-elles un impact significatif sur les niveaux de CO₂ de l'atmosphère?



Moyenne des émissions quotidiennes de CO₂ du 5 février au 6 mai 2020 (zone rouge) et moyenne des années précédentes pendant la même période (zone grise) pour trois villes européennes. Les segments horizontaux gris foncé représentent les périodes de confinement officiel, tandis que les segments gris clair indiquent les périodes de confinement partiel ou de restrictions générales (par exemple, fermeture des écoles, réduction des contacts entre personnes, restrictions en matière de mobilité). Source: [6]

La COVID-19 fait connaître à l'humanité une crise sanitaire et économique fondamentale. Les mesures de confinement qui ont été prises presque partout au début de l'année 2020 et sont à présent réinstaurées dans de nombreux endroits ont eu des répercussions sur les émissions anthropiques de multiples composants atmosphériques et ont entraîné des changements de la composition chimique de l'atmosphère. Ces changements ont été particulièrement prononcés dans les zones urbaines et sont visibles tant pour ce qui concerne les polluants classiques que pour les gaz à effet de serre. Toutefois, la réduction des émissions anthropiques due aux mesures de confinement n'aura pas d'effet perceptible sur la moyenne mondiale du dioxyde de carbone (CO₂) atmosphérique en 2020, car cette réduction sera inférieure, ou tout au plus similaire, à la variabilité naturelle du CO₂ atmosphérique d'une année sur l'autre.

La concentration atmosphérique mondiale de CO₂ représente le bilan entre les flux de CO₂ qui entrent et sortent de l'atmosphère. Le CO₂ est un gaz qui est bien mélangé par le brassage turbulent et un transport atmosphérique. Il s'accumule dans l'atmosphère sur de longues périodes et toute émission non nulle entraîne une augmentation de sa concentration atmosphérique. Au plan mondial, les émissions anthropiques de CO₂ se sont intensifiées depuis l'époque préindustrielle (avant 1750) et ont augmenté d'environ 1 % par an au cours de la dernière décennie [1]. Ainsi, ces dix dernières années, on a constaté une augmentation annuelle de la fraction molaire de CO₂ atmosphérique⁽¹⁾ comprise entre 2 et 3 ppm⁽²⁾. Cette augmentation a été enregistrée par le réseau mondial de stations d'observation en surface de la Veille de l'atmosphère globale (VAG), qui peut détecter les changements du CO₂ atmosphérique sur un an à l'échelle planétaire avec une précision de 0,1 ppm. La variabilité du taux d'accroissement dans l'atmosphère d'une année sur l'autre, soit environ 1 ppm, est presque entièrement due à la variabilité de l'absorption du CO₂ par les écosystèmes et les océans (qui, ensemble, absorbent chaque année environ la moitié

des émissions anthropiques de CO₂ [2]). L'analyse isotopique permet de faire la distinction entre le CO₂ provenant de l'exploitation de combustibles fossiles et le CO₂ provenant de sources biogéniques, comme cela a été décrit dans l'édition précédente du Bulletin sur les gaz à effet de serre.

Les responsables du Projet mondial sur le carbone (GCP) [3] ont estimé que pendant la période où le confinement a été le plus strict, début 2020, les émissions quotidiennes mondiales de CO₂ ont été inférieures de 17 % à leur niveau moyen de 2019. Comme la durée et la sévérité des mesures de confinement restent incertaines, il est très difficile d'évaluer le niveau total de réduction des émissions de CO₂ pour 2020. Toutefois, selon les premières estimations, on prévoit une réduction de 4,2 à 7,5 % par rapport à 2019. À l'échelle mondiale, une réduction des émissions de cette ampleur n'entraînera pas de diminution du niveau de CO₂ dans l'atmosphère; ce dernier ne fera qu'augmenter à un rythme légèrement réduit, ce qui devrait se traduire par une concentration annuelle de CO₂ dans l'atmosphère inférieure de 0,08 ppm à 0,23 ppm à la concentration prévue si aucune pandémie ne s'était produite. Or, une telle diminution correspond bien à la variabilité naturelle interannuelle, qui est de 1 ppm. Par conséquent, il est impossible de faire la distinction à court terme entre l'impact des mesures de confinement relatives à la COVID-19 et la variabilité naturelle. Les responsables de Carbon Brief [4] et du Système intégré d'observation du carbone (ICOS) [5] sont parvenus à une conclusion similaire.

Étant donné la forte variabilité atmosphérique naturelle du CO₂, il est nécessaire, pour déterminer les changements intervenus dans les émissions de combustibles fossiles, de disposer d'une longue série chronologique d'observations, afin de générer des statistiques fiables, et de pouvoir effectuer une modélisation complexe des données. Plusieurs approches peuvent être utilisées à cette fin. L'une d'entre elles, employée pour le Système mondial intégré d'information sur les gaz à effet de serre (IG³IS) de l'OMM, repose sur les observations et la modélisation de l'atmosphère. Une autre approche, adoptée pour l'ICOS [6], consiste à mesurer directement les émissions de CO₂ en ville. Dans une récente étude, l'ICOS rapporte avoir détecté jusqu'à 75 % de réduction des émissions de CO₂ dans les centres-villes de Bâle, Berlin, Florence, Helsinki, Héraklion, Londres et Pesaro grâce à des techniques qui permettent de mesurer directement les flux d'échanges verticaux dans un rayon de plusieurs kilomètres autour du point de mesure (voir la figure).

Ce n'est que lorsque les émissions nettes de CO₂ provenant des combustibles fossiles avoisineront zéro que l'absorption nette par les écosystèmes et les océans commencera à faire baisser les niveaux de CO₂ dans l'atmosphère. Même dans ce cas, la majeure partie du CO₂ déjà rejeté dans l'atmosphère y restera pendant plusieurs siècles et continuera ainsi à réchauffer notre climat. En outre, comme les océans stockent l'excédent de chaleur, le système climatique de la Terre a un temps de réponse de plusieurs décennies, de sorte que plus tôt nous réduisons nos émissions, moins nous risquons de dépasser le seuil de réchauffement convenu dans l'Accord de Paris.

Résumé

La toute dernière analyse des données d'observation recueillies par le réseau d'observation *in situ* du Programme de la VAG de l'OMM révèle que les fractions molaires en surface⁽¹⁾ moyennées à l'échelle du globe ont atteint de nouveaux pics en 2019, s'établissant à $410,5 \pm 0,2$ ppm⁽²⁾ pour le CO₂, $1\,877 \pm 2$ ppb⁽³⁾ pour le méthane (CH₄) et $332,0 \pm 0,1$ ppb pour le protoxyde d'azote (N₂O). Ces valeurs représentent respectivement 148 %, 260 % et 123 % des niveaux préindustriels. Le taux d'accroissement du CO₂ entre 2018 et 2019 a été plus élevé qu'entre 2017 et 2018 et supérieur à la moyenne du taux d'accroissement annuel des dix années précédentes. S'agissant du CH₄, son taux d'accroissement de 2018 à 2019 a été légèrement inférieur à celui observé entre 2017 et 2018 tout en étant supérieur à la moyenne du taux d'accroissement annuel des dix années précédentes. Quant au taux d'accroissement du N₂O entre 2018 et 2019, il a été inférieur à celui observé de 2017 à 2018 et pratiquement égal à la moyenne du taux d'accroissement annuel des dix années précédentes. Selon l'indice annuel d'accumulation des gaz à effet de serre dans l'atmosphère (AGGI) [7] 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 45 % entre 1990 et 2019, le CO₂ étant à l'origine d'environ 80 % de cette augmentation.

Résultats des observations *in situ* du réseau de la VAG pour 2019

Le présent bulletin de l'OMM sur les gaz à effet de serre, le seizième de la série, 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 d'autres gaz à effet de serre. Avec les CFC-11 et CFC-12, le CO₂, le CH₄ et le N₂O sont responsables d'environ 96 %⁽⁴⁾ [7] du forçage radiatif induit par les gaz à effet de serre persistants (figure 1).

Le Programme de la VAG (<https://community.wmo.int/activity-areas/gaw>) permet de coordonner les observations systématiques et les analyses des gaz à effet de serre et d'autres éléments à l'état de traces. La figure 2 montre l'emplacement des stations qui mesurent les gaz à effet de serre depuis une décennie. Les mesures communiquées par les pays concernés 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. Le CMDGS joue un rôle important

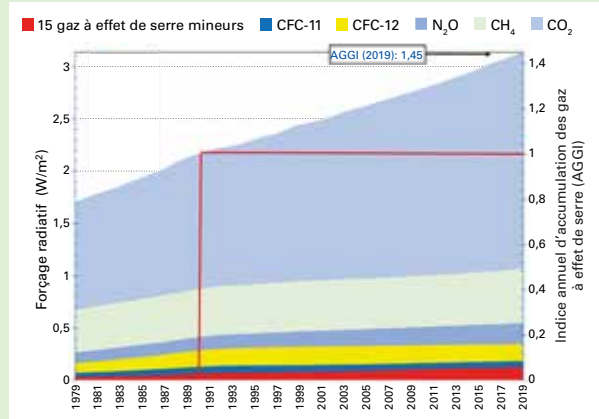


Figure 1. Forçage radiatif de l'atmosphère, par rapport à 1750, dû aux gaz à effet de serre persistants correspondant à l'actualisation 2019 de l'indice AGGI de la NOAA [7].

Table 1. Concentrations moyennes annuelles à la surface du globe (en 2019) et évolution des principaux gaz à effet de serre d'après les données transmises par le réseau d'observation *in situ* 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 % [10]. La méthode de calcul de la moyenne est décrite dans le rapport N° 184 de la série consacrée à la VAG [9].

	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Concentration moyenne mondiale en 2019	$410,5 \pm 0,2$ ppm	$1\,877 \pm 2$ ppb	$332,0 \pm 0,1$ ppb
Concentration en 2019 par rapport à l'année 1750 ^a	148 %	260 %	123 %
Augmentation en valeur absolue entre 2018 et 2019	2,6 ppm	8 ppb	0,9 ppb
Augmentation en % entre 2018 et 2019	0,64 %	0,43 %	0,27 %
Augmentation annuelle moyenne en valeur absolue depuis 10 ans	2,37 ppm/an	7,3 ppb/an	0,96 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: 133 pour le CO₂, 134 pour le CH₄ et 100 pour le N₂O.

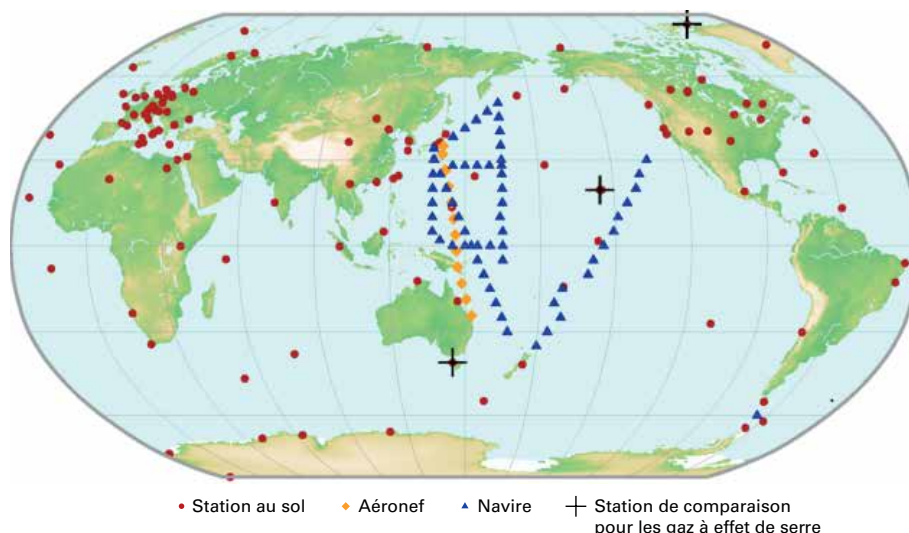
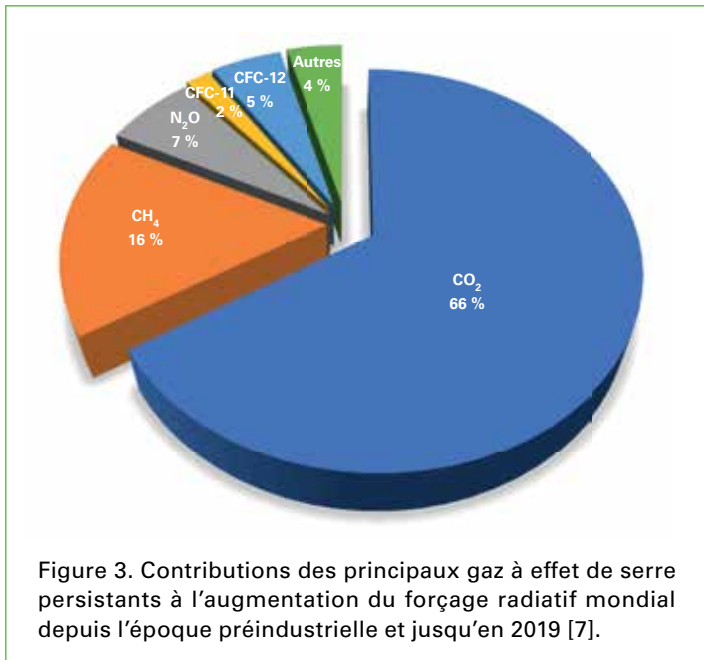


Figure 2. Réseau mondial de la VAG mesurant le dioxyde de carbone depuis dix ans. Le réseau est similaire pour le méthane.



pour la gestion des données au sein du Programme de la VAG. Il célèbre cette année ses trente ans d'existence.

Les résultats du CMDGS relatifs aux concentrations moyennes et aux taux d'accroissement diffèrent légèrement, pour les années considérées, de ceux de la NOAA [8] 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 en détail dans le rapport N° 184 de la série consacrée à la VAG [9].

Le tableau 1 présente les concentrations en 2019, moyennées à l'échelle du globe, des trois principaux gaz à effet de serre persistants et l'évolution de ces concentrations depuis 2018 et depuis 1750. Sont exclues de l'analyse les mesures provenant de stations mobiles (représentées par des triangles bleus et des losanges orange 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 de la VAG livrent de précieuses informations sur les limites dans lesquelles s'inscrivent les bilans de ces gaz et des autres gaz à effet de serre persistants. Elles servent aussi à améliorer les estimations d'émissions et à évaluer les données satellitaires sur les gaz à effet de serre persistants moyennés sur la colonne. IG₃IS fournit des informations supplémentaires sur les sources et les puits de gaz à effet de serre au niveau national et infranational (<https://ig3is.wmo.int>).

L'indice AGGI de la NOAA mesure l'augmentation du forçage radiatif total causé par l'ensemble des gaz à effet de serre persistants depuis 1990 [7]. Il s'établissait à 1,45 en 2019, ce qui traduit une augmentation du forçage radiatif total⁽⁴⁾ de 45 % depuis 1990 et de 1,8 % entre 2018 et 2019 (figure 1). Du fait de ce forçage radiatif (3,14 W/m²), on se retrouve en 2019 avec une fraction molaire en surface de 500 ppm en équivalent CO₂ [7]. La figure 3 présente les contributions relatives des principaux gaz à effet de serre persistants à l'augmentation du forçage radiatif mondial depuis l'époque préindustrielle et jusqu'en 2019.

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 66 %⁽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 de 82 %⁽⁴⁾ environ depuis une décennie et également de 82 % environ ces cinq dernières années. La fraction molaire préindustrielle, de 278 ppm, représentait une situation d'équilibre des flux entre l'atmosphère, les océans et la biosphère terrestre. En 2019, la fraction molaire moyenne de CO₂ à l'échelle du globe s'est établie à 410,5±0,2 ppm (figure 4). L'augmentation de la moyenne annuelle – 2,6 ppm entre 2018 et 2019 – est supérieure à la hausse survenue entre 2017 et 2018, et au taux d'accroissement annuel moyen sur les dix dernières années (environ 2,37 ppm/an).

En 2019, la teneur de l'atmosphère en CO₂ s'établissait à 148 % de ce qu'elle était à l'époque préindustrielle, essentiellement à cause des émissions liées à l'exploitation des combustibles fossiles et à la production de ciment (il était prévu que les émissions liées à l'exploitation des combustibles fossiles atteignent 36,7 ± 2 GtCO₂⁽⁵⁾ en 2019 [1]), au déboisement et aux autres changements d'affectation des sols (5,5 GtCO₂/an en moyenne pour la période 2009-2018). Sur le total du CO₂ émis par les activités humaines entre 2009 et 2018, 44 % environ s'est accumulé dans l'atmosphère, 23 % dans

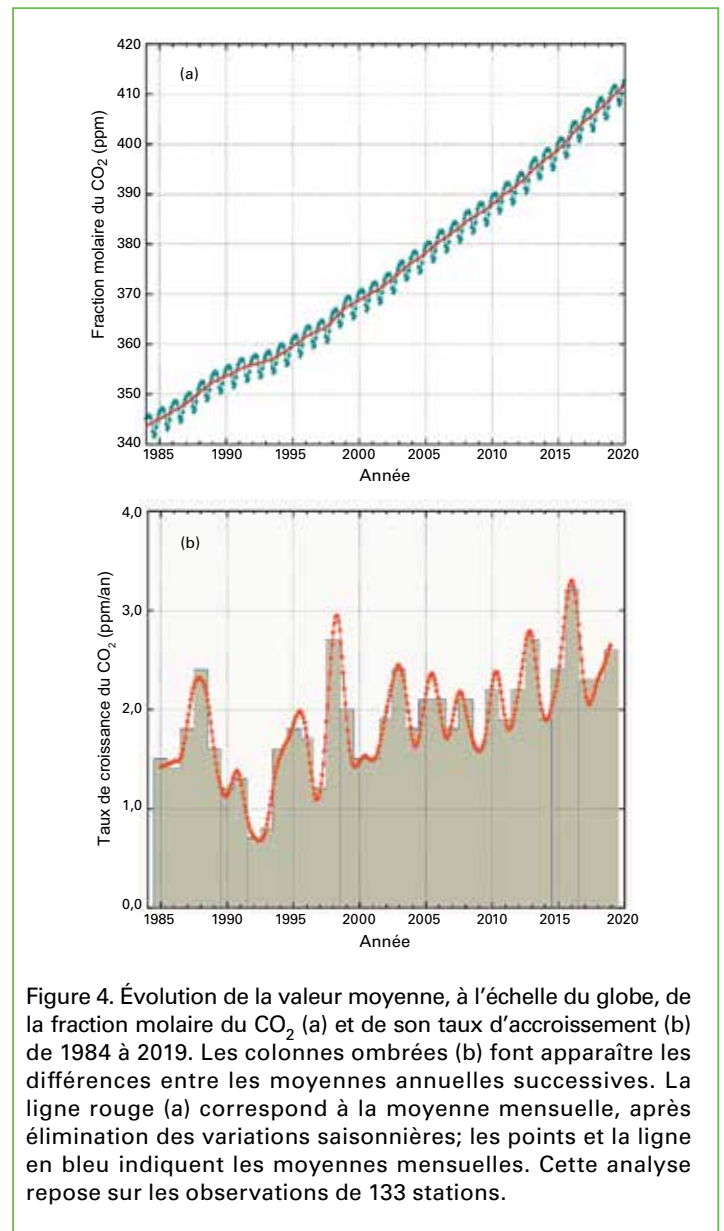


Figure 4. Évolution de la valeur moyenne, à l'échelle du globe, de la fraction molaire du CO₂ (a) et de son taux d'accroissement (b) de 1984 à 2019. Les colonnes ombrées (b) font apparaître les différences entre les moyennes annuelles successives. La ligne rouge (a) correspond à la moyenne mensuelle, après élimination des variations saisonnières; les points et la ligne en bleu indiquent les moyennes mensuelles. Cette analyse repose sur les observations de 133 stations.

Surveiller localement les émissions de méthane pour soutenir les objectifs de l'Accord de Paris en matière de climat

Sander Houweling

Comme cela est indiqué dans le présent bulletin, en 2019, le CH₄ a globalement augmenté de 8 ppb par an. Ainsi se poursuit la tendance observée lors de la dernière décennie, à savoir une augmentation du méthane de 5 à 10 ppb par an. Dans leur évaluation la plus récente, les responsables du GCP [11] ont estimé que les émissions mondiales de méthane avaient atteint 576 Tg CH₄/an pour la période 2008-2017, soit une moyenne annuelle supérieure de 29 Tg/an à l'estimation de la décennie précédente. Ces chiffres ont été obtenus à partir d'une comparaison par modélisation inverse fondée sur des mesures de surface de la VAG et des mesures du satellite japonais d'observation des gaz à effet de serre GOSAT. Il ressort des inversions basées sur ces données que ce sont les tropiques et l'Asie du Sud-Est qui contribuent le plus à cette augmentation. Toutefois, il est difficile de fournir des détails fiables pour tout l'ensemble d'inversion sur l'importance relative des changements intervenus dans les sources anthropiques et naturelles. En effet, l'évaluation du GPC ne limite pas davantage le large éventail de scénarios et d'explications possibles qui ont été proposés dans des études antérieures sur la nouvelle augmentation du CH₄ depuis 2007 (voir, par exemple, [15]-[18]).

La tendance observée en matière de $\delta^{13}\text{C}-\text{CH}_4$, qui n'a pas été intégrée dans l'évaluation du GPC, s'explique par une augmentation combinée des émissions microbiennes et fossiles [18]. Cette tendance met en évidence le scénario probable selon lequel l'augmentation du méthane est en grande partie due à la demande croissante d'énergie et de nourriture. Elle concorde largement avec l'inventaire des émissions EDGARv5 [19], selon lequel les sources anthropiques ont été responsables d'une augmentation de 30 Tg CH₄/an au cours de la période 2008-2015, ce qui est plus que suffisant pour expliquer la hausse observée.

La figure 5 montre l'augmentation du méthane, et l'accélération de cette augmentation depuis 2014, par rapport aux profils représentatifs d'évolution de concentration (RCP), également connus sous le nom de scénarios climatiques, qui figurent dans le cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC). Le méthane suit une trajectoire qui se situe entre le scénario RCP 6 et le scénario RCP 8,5, soit les scénarios de réchauffement les

plus pessimistes. Plusieurs études ont mis en évidence les avantages climatiques à court terme et la rentabilité de la réduction des émissions de méthane [20] [21]. Cependant, la figure 5 montre que les efforts déployés au plan international pour atteindre les objectifs de l'Accord de Paris n'ont pas été axés jusqu'à présent sur la réduction des émissions de méthane.

La figure 6 montre une fuite de gaz naturel dans l'ouest du Turkménistan qui a été détectée pour la première fois par le satellite de GHGSat en 2019 et confirmée plus tard par le satellite Sentinel-5P TROPOMI [22]. Un panache de la colonne totale de méthane était visible et changeait de direction d'un passage satellitaire à un autre d'une manière qui correspondait à la direction des vents locaux. Même s'il est difficile de mesurer le méthane depuis l'espace avec une précision suffisante, il ne faisait guère de doute que ces signaux étaient réels. Les émissions correspondantes ont été estimées à 142 ± 34 ktCH₄/an, ce qui représente une fuite importante (environ 6 m³ de méthane par seconde), qui est néanmoins passée inaperçue pendant plusieurs années. D'après les données TROPOMI recueillies jusqu'à présent, il y a plusieurs fuites de gaz naturel de ce type dans le monde (voir, par exemple, [23], [24]). Des satellites dotés de capteurs plus sensibles (par exemple, le satellite MethaneSAT) devraient être lancés dans les années à venir, le satellite Iris de GHGSat ayant déjà été lancé en septembre 2020. Les capteurs de ces satellites pourraient permettre de détecter davantage de fuites avec une plus grande précision.

D'importants développements méthodologiques sont encore nécessaires pour améliorer les estimations d'émissions dérivées de satellites, qui requièrent des mesures précises au sol. Toutefois, avec les capacités actuelles, il est déjà possible d'apporter une nouvelle contribution importante à la surveillance régionale des émissions. Il s'agit d'un exemple notable de développement qui répond directement à l'un des objectifs de l'IG³IS: réduire les émissions de méthane dans le secteur du pétrole et du gaz. L'IG³IS est la plate-forme idéale pour réunir les scientifiques du monde entier et les utilisateurs finaux afin de garantir que les nouvelles capacités régionales en matière de surveillance des émissions serviront à soutenir l'action climatique qu'il est nécessaire d'engager de toute urgence pour faire de l'Accord de Paris un succès.

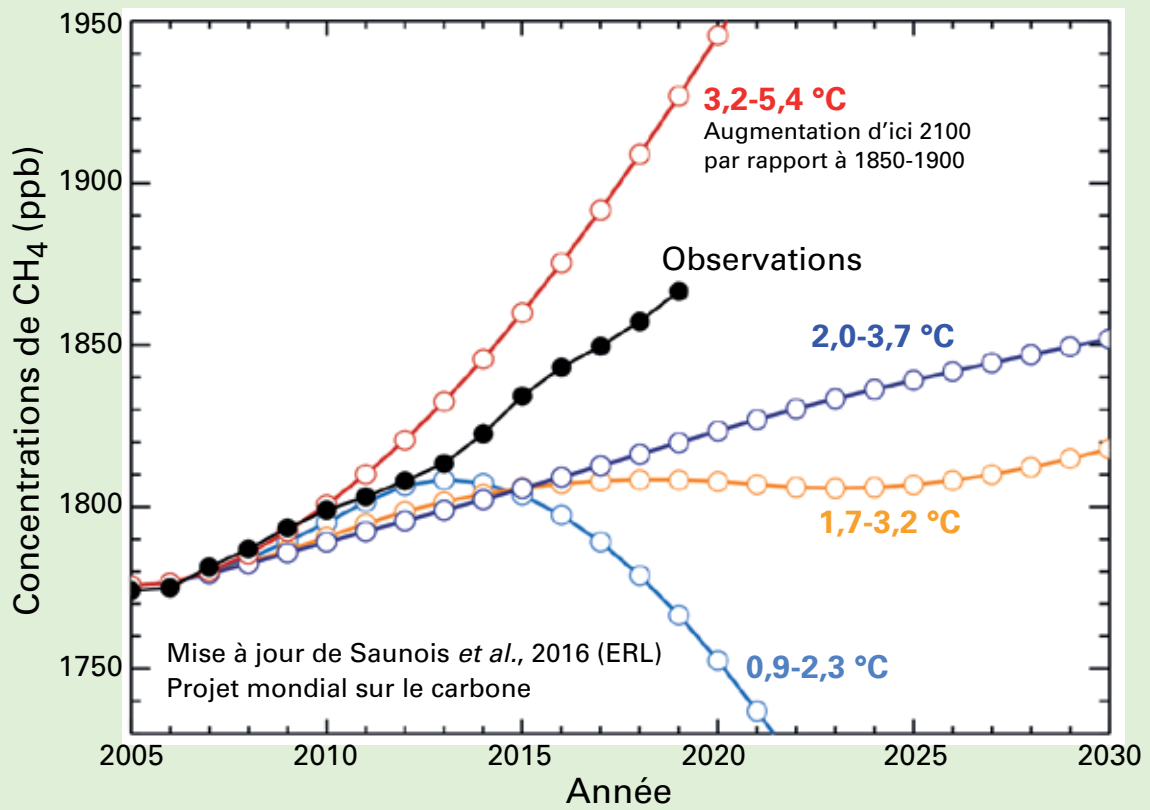


Figure 5. Augmentation mondiale du CH₄ par rapport aux scénarios du cinquième Rapport d'évaluation du GIEC [11]

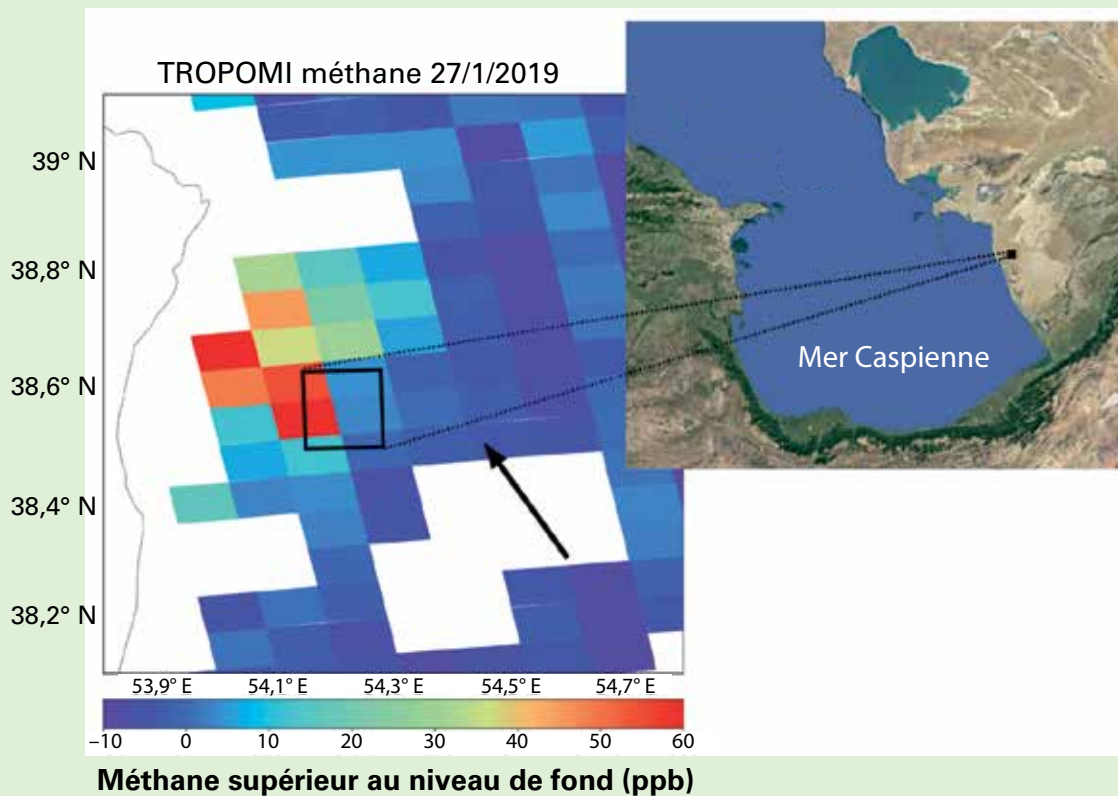


Figure 6. Émissions de méthane dues à la production de pétrole et de gaz dans l'ouest du Turkménistan observées via TROPOMI [22].

les océans et 29 % dans la biosphère terrestre; le solde non attribué est de 4 % [2]. La fraction du CO₂ 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.

Méthane (CH₄)

Le méthane contribue pour quelque 16 %⁽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 environ 60 % d'origine humaine (élevage de ruminants, riziculture, exploitation de combustibles fossiles, décharges, combustion de biomasse, etc.) [11]. Moyennée à l'échelle du globe, la teneur de l'atmosphère en CH₄, calculée à partir d'observations *in situ*, a atteint un nouveau pic en 2019 – 1 877±2 ppb – soit une augmentation de 8 ppb par rapport à l'année précédente (figure 7). Cette hausse est inférieure à l'augmentation de 9 ppb enregistrée pour la période 2017-2018, mais toujours légèrement supérieure au taux d'accroissement annuel moyen des dix dernières années. Après avoir atteint quelque 12 ppb par an à la fin des années 80, le taux d'accroissement annuel moyen du CH₄ a diminué pour se stabiliser à une valeur proche de zéro entre 1999 et 2006. Depuis 2007, le CH₄ atmosphérique a augmenté et atteint 260 % du niveau qu'il avait à l'époque préindustrielle (environ 722 ppb) du fait de l'accroissement des émissions anthropiques.

Les mesures du CH₄ effectuées dans le cadre de la VAG donnent à penser que cette récente augmentation 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 7 %⁽⁴⁾ au forçage radiatif induit par les gaz à effet de serre persistants, ce qui le place au troisième rang des agents en cause. Ses émissions dans l'atmosphère sont d'origine naturelle (environ 60 %) et humaine (environ 40 %), puisqu'elles proviennent notamment des océans, des sols, de la combustion de biomasse, des engrais et de divers processus industriels. Moyennée à l'échelle du globe, la fraction molaire du N₂O a atteint 332,0±0,1 ppb en 2019, soit 0,9 ppb de plus que l'année précédente (figure 8) et 123 % du niveau qu'elle avait à l'époque préindustrielle (270 ppb). La hausse enregistrée entre 2018 et 2019 a été inférieure à celle survenue entre 2017 et 2018 et pratiquement égale à la moyenne annuelle calculée sur les dix dernières années (0,96 ppb/an). Les émissions mondiales de N₂O d'origine humaine, qui sont dominées par les apports d'azote aux terres cultivées, ont augmenté de 30 % au cours des quatre dernières décennies pour atteindre 7,3 (fourchette : 4,2-11,4) téragrammes d'azote par an. La croissance de la teneur de l'atmosphère en N₂O est principalement due à cette augmentation [12].

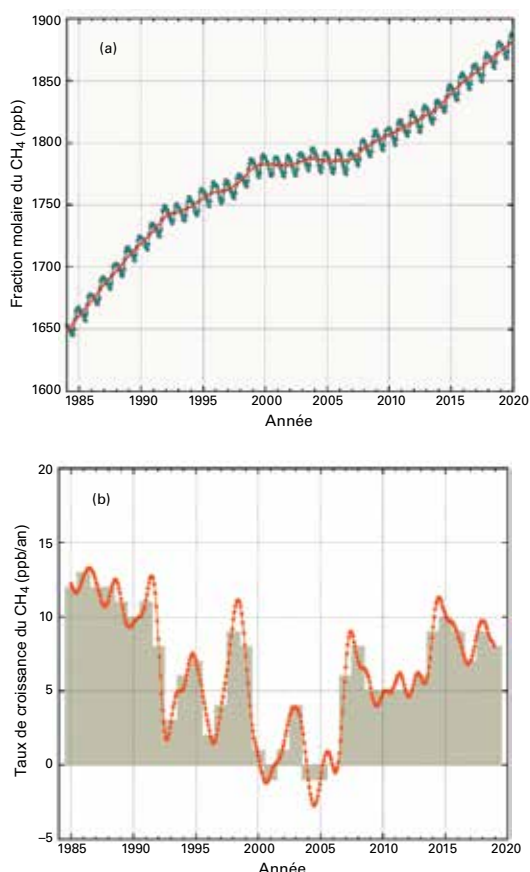


Figure 7. Évolution de la valeur moyenne, à l'échelle du globe, de la fraction molaire du CH₄ (a) et de son taux d'accroissement (b) de 1984 à 2019. Les colonnes ombrées (b) font apparaître les différences entre les moyennes annuelles successives. La ligne rouge (a) correspond à la moyenne mensuelle, après élimination des variations saisonnières; les points et la ligne en bleu indiquent les moyennes mensuelles. Cette analyse repose sur les observations de 134 stations.

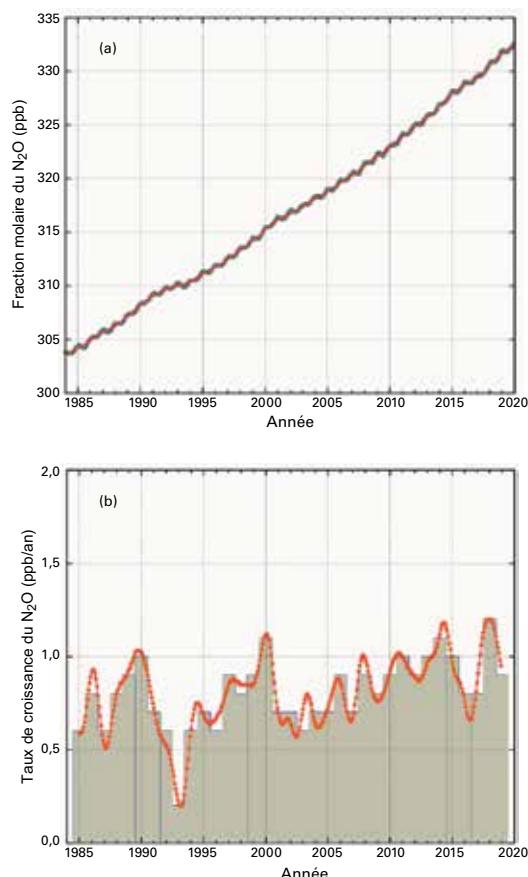


Figure 8. Évolution de la valeur moyenne, à l'échelle du globe, de la fraction molaire de N₂O (a) et de son taux d'accroissement (b) de 1984 à 2019. Les colonnes ombrées (b) font apparaître les différences entre les moyennes annuelles successives. La ligne rouge (a) correspond à la moyenne mensuelle, après élimination des variations saisonnières; sur ce graphique, la ligne rouge chevauche les points et la ligne en bleu qui représentent les moyennes mensuelles. Cette analyse repose sur les observations de 100 stations.

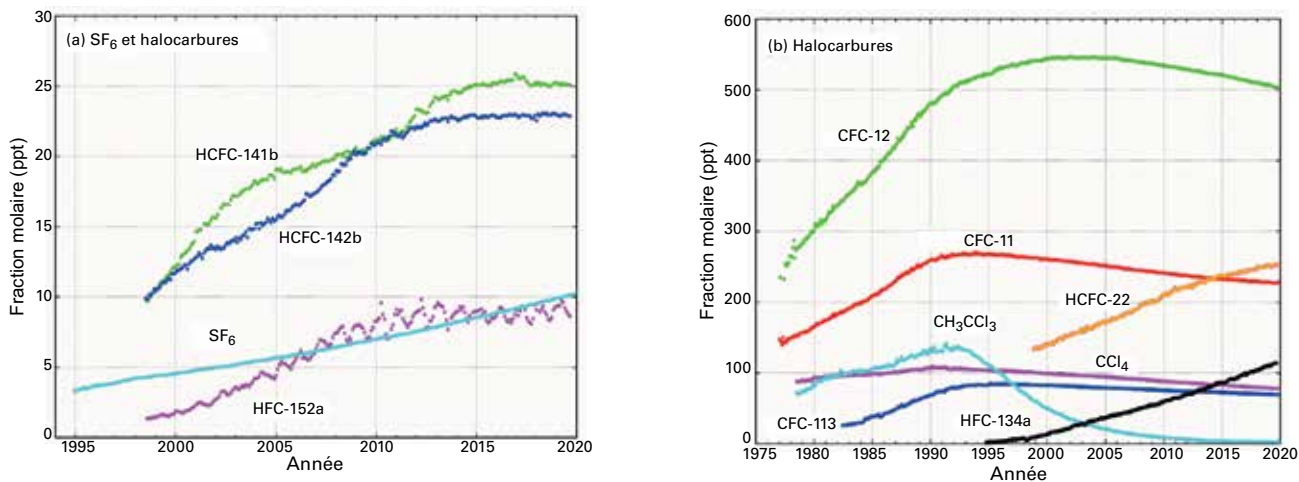


Figure 9. Évolution de la fraction molaire mensuelle moyenne de l'hexafluorure de soufre (SF_6) et des principaux halocarbures: (a) SF_6 et halocarbures aux faibles fractions molaires; (b) halocarbures aux fractions molaires plus élevées. Nombre de stations utilisées pour les analyses de chaque gaz: SF_6 (87), CFC-11 (23), CFC-12 (25), CFC-113 (22), CCl_4 (21), CH_3CCl_3 (25), HCFC-141b (10), HCFC-142b (15), HCFC-22 (14), HFC-134a (11), HFC-152a (10).

Autres gaz à effet de serre

Les chlorofluorocarbures (CFC) destructeurs d'ozone stratosphérique, qui sont réglementés par le Protocole de Montréal, et les gaz halogénés mineurs contribuent à hauteur d'environ 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⁾). Bien que sa concentration soit tout aussi faible, l'hexafluorure de soufre (SF_6) est un gaz à effet de serre extrêmement puissant. Produit par l'industrie chimique, il est utilisé surtout comme isolant dans les systèmes de distribution électrique. Sa fraction molaire représente plus du double aujourd'hui de ce qu'elle était au milieu des années 90 (figure 9 (a)).

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 [13]. 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 des substances éphémères qui ont une incidence sur le bilan radiatif. Tous les gaz mentionnés dans le présent bulletin 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-cinq Membres de l'OMM ont transmis des données sur le CO_2 et d'autres gaz à effet de serre au CMDGS. Environ 40 % des relevés communiqués au CMDGS proviennent de stations qui font partie du réseau coopératif 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° 255 de la série consacrée à la VAG [14]. Les données d'observation du réseau AGAGE (Advanced Global Atmospheric Gases Experiment) ont également été utilisées. Les stations d'observation de la VAG qui ont fourni des données utilisées pour établir le présent

bulletin apparaissent dans la figure 2 et dans la liste des stations participantes figurant sur le site Web du CMDGS (<https://gaw.kishou.go.jp/>). Elles sont par ailleurs décrites dans le système d'information sur les stations de la VAG (GAWSIS) (<https://gawsis.meteoswiss.ch>) administré par MétéoSuisse (Suisse).

Références

- [1] Organisation météorologique mondiale (OMM)/Programme des Nations Unies pour l'environnement/Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat/Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture/Commission océanographique intergouvernementale/Projet mondial sur le carbone, 2020: *United in Science 2020: A multi-organization high-level compilation of the latest climate science information*, https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=21761#.X3w_uEBuJjs.
- [2] Friedlingstein, P. *et al.*, 2019: Global Carbon Budget 2019. *Earth System Science Data*, 11, 1783-1838, <https://doi.org/10.5194/essd-11-1783-2019>.
- [3] Le Quéré, C. *et al.*, 2020: Temporary reduction in daily global CO_2 emissions during the COVID-19 forced confinement. *Nature Climate Change*, <https://doi.org/10.1038/s41558-020-0797-x>.
- [4] Evans, S., 2020: Daily global CO_2 emissions' cut to 2006 levels' during height of coronavirus crisis. Carbon Brief, <https://www.carbonbrief.org/daily-global-co2-emissions-cut-to-2006-levels-during-height-of-coronavirus-crisis>.
- [5] Kutsch W. *et al.*, 2020: Finding a hair in the swimming pool: The signal of changed fossil emissions in the atmosphere. Integrated Carbon Observation System, <https://www.icos-cp.eu/event/917>.
- [6] ICOS, 2020: ICOS study shows clear reduction in urban CO_2 emissions as a result of Covid-19 lockdown, <https://www.icos-cp.eu/event/933>.
- [7] Butler, J.H. et S.A. Montzka, 2020: The NOAA Annual Greenhouse Gas Index (AGGI), National Oceanic and Atmospheric Administration, Earth System Research Laboratories, Global Monitoring Laboratory, <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/aggi/aggi.html>.
- [8] National Oceanic and Atmospheric Administration, Earth System Research Laboratories, Global Monitoring Laboratory, 2020: Trends in atmospheric carbon dioxide, <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>.
- [9] Tsutsumi, Y., K. Mori, T. Hirahara, M. Ikegami et T.J. Conway, 2009: Technical Report of Global Analysis Method for Major Greenhouse Gases by the World Data Center for Greenhouse

- Gases (WMO/TD-No. 1473), Rapport N° 184 de la série consacrée à la VAG, OMM, Genève, https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=12631.
- [10] Conway, T.J. *et al.*, 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, <https://doi.org/10.1029/94JD01951>.
- [11] Saunois, M., A. Stavert, B. Poulter *et al.*, 2020: The Global Methane Budget 2000–2017. *Earth System Science Data*, 12, 1561–1623, <https://doi.org/10.5194/essd-12-1561-2020>.
- [12] Tian, H., R. Xu, J.G. Canadell *et al.*, 2020: A comprehensive quantification of global nitrous oxide sources and sinks. *Nature*, 586, 248–256, <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2780-0>.
- [13] OMM, 2018: *Bulletin de l'OMM sur les gaz réactifs, Faits saillants du Programme de l'atmosphère globale*, N° 2, https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=5245.
- [14] OMM, 2020: *20th WMO/IAEA Meeting on Carbon Dioxide, Other Greenhouse Gases and Related Measurement Techniques (GGMT-2019)*, Rapport N° 255 de la série consacrée à la VAG, Genève, https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10353.
- [15] Rigby, M., S.A. Montzka, R.G. Prinn *et al.*, 2017: Role of atmospheric oxidation in recent methane growth. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(21), 5373–5377, <https://doi.org/10.1073/pnas.1616426114>.
- [16] Hausmann, P., R. Sussmann, and D. Smale, 2016: Contribution of oil and natural gas production to renewed increase in atmospheric methane (2007–2014): top–down estimate from ethane and methane column observations, *Atmospheric Chemistry and Physics*, 16, 3227–3244, <https://doi.org/10.5194/acp-16-3227-2016>.
- [17] Schaefer, H., S.E.M. Fletcher, C. Veidt *et al.*, 2016: A 21st century shift from fossil-fuel to biogenic methane emissions indicated by 13CH₄, *Science*, 352, 80–84, <https://doi.org/10.1126/science.aad2705>.
- [18] Worden, J. R., A.A. Bloom, S. Pandey *et al.*, 2017: Reduced biomass burning emissions reconcile conflicting estimates of the post-2006 atmospheric methane budget. *Nature Communications*, 8(1), 2227. <https://doi.org/10.1038/s41467-017-02246-0>.
- [19] Crippa, M., G. Oreggioni, D. Guizzardi *et al.*, 2019: *Fossil CO₂ and GHG emissions of all world countries: 2019 Report*, Luxembourg, Publications Office of the European Union, <https://doi.org/10.2760/687800>.
- [20] Höglund-Isaksson, L., 2012: Global anthropogenic methane emissions 2005–2030: technical mitigation potentials and costs. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 12(19), 9079–9096, <https://doi.org/10.5194/acp-12-9079-2012>.
- [21] Shindell, D.T., J.S. Fuglestad, and W.J. Collins, 2017: The social cost of methane: theory and applications. *Faraday Discussions*, 200, 429–451, <https://doi.org/10.1039/c7fd00009j>.
- [22] Varon, D.J., J. McKeever, D. Jervis *et al.*, 2019: Satellite Discovery of Anomalously Large Methane Point Sources From Oil/Gas Production. *Geophysical Research Letters*, 2019GL083798, <https://doi.org/10.1029/2019GL083798>.
- [23] Pandey, S., R. Gautam, S. Houweling *et al.*, 2019: Satellite observations reveal extreme methane leakage from a natural gas well blowout. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 1–6, <https://doi.org/10.1073/pnas.1908712116>.
- [24] Schneising, O., M. Buchwitz, M. Reuter *et al.*, 2020: Remote sensing of methane leakage from natural gas and petroleum systems revisited. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 1–23, <https://doi.org/10.5194/acp-2020-274>.

Contacts

Organisation météorologique mondiale
 Division de la recherche sur l'environnement atmosphérique
 Département des sciences et de l'innovation, Genève
 Courriel: gaw@wmo.int

Centre mondial de données relatives aux gaz à effet de serre
 Service météorologique japonais, Tokyo
 Courriel: wdcgg@met.kishou.go.jp
 Site Web: <https://gaw.kishou.go.jp/>

Notes:

- (1) 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.
- (2) ppm = nombre de molécules du gaz considéré par million (10⁶) de molécules 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 GtCO₂ = 1 milliard (10⁹) de tonnes de dioxyde de carbone
- (6) ppt = nombre de molécules du gaz considéré par billion (10¹²) de molécules d'air

Quelques observatoires des gaz à effet de serre

De nombreuses stations de la VAG ont été établies dans des endroits très reculés du monde entier. Les mesures de confinement liées à la COVID-19 et les restrictions correspondantes en matière de voyage et de transport ont donc créé des problèmes d'ordre logistique. Les défis auxquels sont confrontées deux stations installées sur des îles éloignées de l'océan Pacifique et de l'océan Austral sont présentés ci-dessous.

Samoa américaines



Photo: ESRL de la NOAA

L'observatoire atmosphérique de référence des Samoa américaines, le SMO, qui relève de la NOAA, est situé au milieu du Pacifique Sud, à peu près à mi-chemin entre Hawaï et la Nouvelle-Zélande. Son environnement se caractérise par de la chaleur et de l'humidité tout au long de l'année, des montagnes vertes et luxuriantes et la forte empreinte de la culture samoane. L'observatoire se situe à la pointe nord-est de l'île de Tutuila, au cap Matatula.

Lorsque la pandémie de COVID-19 s'est déclarée au printemps 2020, les Samoa américaines ont instauré des restrictions strictes en matière de voyages, y compris, pendant un certain temps, la suspension complète des vols de fret, pour tenter d'éviter que les établissements de santé de l'île ne soient submergés. Les restrictions de transport de marchandises et de personnel ont empêché le SMO d'être réapprovisionné en gaz d'étalonnage indispensables, en flacons et autres articles essentiels. Il a été nécessaire de reporter une mise à jour prévue du système d'analyse *in situ* du CO₂. Des plans d'urgence ont été élaborés pour fermer la station et évacuer le personnel au cas où le pire scénario pandémique se produirait sur l'île. En outre, les restrictions de voyage ont menacé de retarder la rotation annuelle du chef de station, qui comprend généralement un chevauchement de deux à trois semaines entre le chef sortant et le chef entrant afin de former ce dernier en présentiel de manière approfondie. Finalement, le nouveau chef de station a pu se rendre sur l'île via un vol d'aide humanitaire du Département de la défense des États-Unis (DOD), et le personnel a pu être complètement renouvelé avant le départ du chef de station sortant via un autre vol du DOD. Les restrictions de voyage n'ont pas été levées, mais, heureusement, la situation aux Samoa américaines n'est pas encore devenue un scénario catastrophe, et le SMO a continué ses mesures et prélèvements essentiels tout au long de la pandémie.

Emplacement

Pays: Samoa américaines
Latitude: 14,2474° S Longitude: 170,5644° O
Altitude: 42,00 mètres au-dessus du niveau de la mer
Fuseau horaire: Heure locale = UTC - 11



Photo: P. Roberts



Île Macquarie



Photo: Barry Becker

L'île Macquarie est une île subantarctique située dans l'océan Austral, à peu près à mi-chemin entre l'Australie et l'Antarctique. «Macca», comme on l'appelle communément, est un site classé au patrimoine mondial, géré par le Service des parcs et de la faune de Tasmanie. À l'extrémité nord de l'île, la Division antarctique australienne (AAD) exploite une station de recherche qui, depuis trente ans, soutient une variété de programmes de recherche scientifique et de surveillance à long terme allant de la préservation de populations importantes d'oiseaux de mer et de phoques aux mesures de la composition de l'atmosphère pour l'Organisation de la recherche scientifique et industrielle du Commonwealth (CSIRO). Outre l'AAD, le Bureau météorologique australien (BoM), l'Organisation australienne des sciences et technologies nucléaires (ANSTO), l'Université de Heidelberg (Allemagne) et GNS Science (Nouvelle-Zélande), sont des partenaires clés du programme de surveillance à long terme de la composition de l'atmosphère coordonné par la CSIRO.

Pour garantir que le personnel très isolé qui passe l'hiver à Macca est protégé contre le virus de COVID-19, des protocoles de quarantaine stricts ont été mis en place et un seul changement annuel de personnel aura lieu cette année, lors de l'été (austral). De plus, cette année, le personnel du BoM a été formé de façon virtuelle aux techniques d'échantillonnage atmosphérique en flacon du CO₂, du CH₄, du N₂O, du CO, du H₂, du δ¹³C-CO₂ et du Δ¹⁴C-CO₂ et de recueil des mesures *in situ* du CO₂, du CH₄ et du ²²²Rn. Par ailleurs, aucun scientifique ne se rendra sur l'île dans un avenir proche pour entreprendre une maintenance de routine. Néanmoins, grâce au dévouement du personnel d'hivernage, l'échantillonnage et les mesures *in situ* se poursuivront tout au long de l'année 2021 sur cet important site de l'hémisphère Sud.

Emplacement

Pays: Australie
Latitude: 54,4985° S
Longitude: 158,9385° E
Altitude: 16,00 mètres au-dessus du niveau de la mer
Fuseau horaire: Heure locale = UTC + 10
Time zone: Local time = UTC + 10



Photo: Vicki Heinrich

