

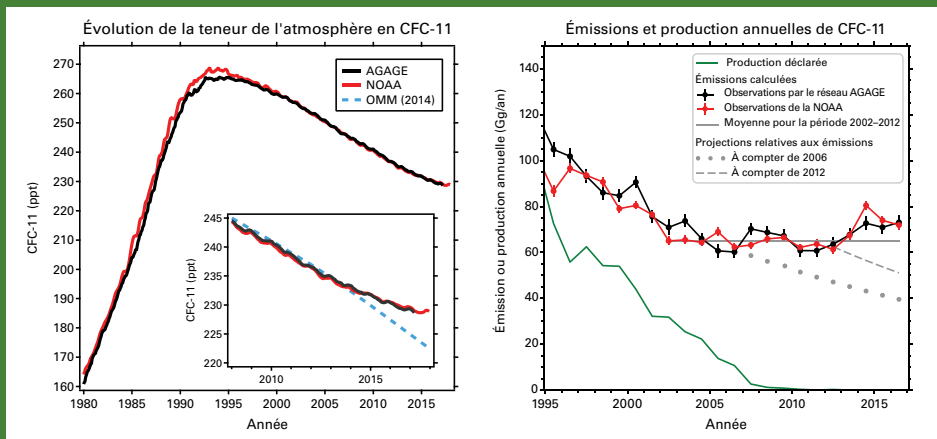


BULLETIN DE L'OMM SUR LES GAZ À EFFET DE SERRE

Bilan des gaz à effet de serre présents dans l'atmosphère
d'après les observations effectuées à l'échelle du globe en 2017

N° 14 | 22 November 2018

Accroissement inattendu des émissions mondiales de CFC-11



pour le réseau de mesure AGAGE (Advanced Global Atmospheric Gases Experiment, courbe noire) et celui de l'Administration américaine pour les océans et l'atmosphère (NOAA, courbe rouge). On voit aussi en médaillon l'évolution prévue en 2014 par l'OMM (traitillé bleu) sur la base du respect des dispositions du Protocole de Montréal [3].

On peut résolument conclure, d'après les résultats des modélisations, que cet infléchissement de la tendance est surtout lié à l'accroissement des émissions de CFC-11 plutôt qu'à

Les mesures portant sur la teneur de l'atmosphère en chlorofluorocarbure CFC-11, qui est un puissant gaz à effet de serre (GES) et une substance nocive pour l'ozone stratosphérique visée par le Protocole de Montréal relatif à des substances qui appauvrissent la couche d'ozone, révèlent que depuis 2012, le taux de décroissance de ce gaz dans l'atmosphère a diminué pour atteindre environ les deux tiers de ce qu'il était lors des dix années précédentes [1, 2]. La cause la plus probable de ce ralentissement est l'accroissement des émissions liées à la production de CFC-11 en Asie orientale. Cette découverte illustre l'importance que revêt la mesure sur le long terme de la composition de l'atmosphère, notamment dans le cadre du Programme de la Veille de l'atmosphère globale (VAG) de l'OMM, s'agissant d'étayer la réglementation des émissions et de l'inscrire dans un cadre plus strict.

Le Protocole de Montréal a été conçu pour protéger la couche d'ozone stratosphérique en restreignant la production de substances nocives pour ce gaz tels que les chlorofluorocarbures (CFC). Par voie de conséquence, la production de CFC-11 (CCl_3F , c'est-à-dire le trichlorofluorométhane) visée par le Protocole de Montréal avait été ramenée à zéro en 2010. Parallèlement, la teneur de l'atmosphère en CFC-11, qui a atteint son maximum au début des années 1990, s'est mise à diminuer au même rythme ou presque que sa production, compte tenu des émissions résiduelles de ce gaz par des produits et des équipements qui en renferment encore.

La mesure des concentrations atmosphériques de CFC-11 par des réseaux indépendants d'envergure mondiale révèle que depuis 2012, le rythme d'élimination de ce gaz de l'atmosphère a ralenti grosso modo de 33 % par rapport au rythme observé entre 2002 et 2012 [1, 2], comme on peut le voir sur le graphique de gauche

d'autres facteurs tels que l'évolution du transport atmosphérique. Le fait que l'écart entre les concentrations mesurées dans l'hémisphère Nord et celles qui se rapportent à l'hémisphère Sud se soit creusé dernièrement vient corroborer cette conclusion. Par ailleurs, les corrélations qui existent entre les concentrations élevées de CFC-11 et celles d'autres gaz mesurés dans l'atmosphère donnent à penser que cette tendance à la hausse est causée par des émissions en provenance de l'Asie orientale [1].

Le graphique de droite représente les courbes d'émission de CFC-11 qui ont été établies sur la base de calculs numériques tirés de l'évaluation de la couche d'ozone réalisée par l'OMM en 2018 [2]: l'une repose sur les données recueillies par le réseau mondial de mesure AGAGE (en noir) et l'autre sur les données du réseau de la NOAA (en rouge). Elles sont mises en regard de l'évolution de la production de CFC-11 déclarée dans le cadre du Protocole de Montréal (en vert). On constate une stabilisation des émissions de CFC-11 aux alentours de 2005, suivie d'un accroissement de quelque 15 % après 2012. Quant aux scénarios d'émission à partir de 2006 et de 2012, établis sur la base des données atmosphériques, de la production déclarée et des rejets résiduels, ils sont représentés respectivement en pointillé et en traitillé (en gris).

On voit par conséquent l'importance que revêt la mesure des constituants atmosphériques sur le long terme, notamment sous les auspices du Programme de la VAG, s'agissant de fournir les données d'observation nécessaires dans le contexte des inventaires nationaux d'émissions et, en particulier, des accords relatifs au changement climatique anthropique, et de veiller à la reconstitution de la couche d'ozone stratosphérique.

Résumé

La toute dernière analyse des données d'observation recueillies par le réseau *in situ* du Programme de la VAG de l'OMM révèle qu'à l'échelle du globe, les fractions molaires en surface¹⁾ du dioxyde de carbone (CO₂), du méthane (CH₄) et du protoxyde d'azote (N₂O) ont atteint de nouveaux pics en 2017, s'établissant respectivement à 405,5±0,1 ppm²⁾, 1 859±2 ppb³⁾ et 329,9±0,1 ppb. Ces valeurs représentent respectivement 146 %, 257 % et 122 % des niveaux préindustriels (avant 1750). Le taux d'accroissement du CO₂ entre 2016 et 2017 était moins élevé qu'entre 2015 et 2016 et pratiquement égal à la moyenne des dix années précédentes. L'influence de l'épisode El Niño, qui a atteint une intensité maximale en 2015 et 2016 et favorisé l'accélération du rythme d'accroissement de ce gaz pendant cette période, a nettement diminué en 2017. Comme pour le CO₂, la teneur de l'atmosphère en CH₄ a augmenté plus lentement entre 2016 et 2017 qu'entre 2015 et 2016, mais à un rythme correspondant à peu près à la moyenne des dix années précédentes. Quant au taux d'accroissement du N₂O entre 2016 et 2017, il était supérieur à celui observé de 2015 à 2016 et pratiquement égal à la moyenne des dix années précédentes. Selon l'indice annuel d'accumulation des gaz à effet de serre dans l'atmosphère (AGGI) [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 41 % entre 1990 et 2017, le dioxyde de carbone étant à l'origine d'environ 82 % de cette augmentation.

Résultats des observations *in situ* du réseau de la VAG pour 2017

Le présent bulletin de l'OMM sur les gaz à effet de serre, le quatorzième de la série, rend compte de l'évolution de la concentration atmosphérique des principaux gaz à effet de serre persistants (CO₂, CH₄ et N₂O) et présente un récapitulatif de la contribution d'autres gaz. Avec les CFC-11 et CFC-12, ces trois gaz sont responsables de 96 %⁴⁾ 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. La figure 2 montre l'emplacement des stations qui mesurent les gaz à effet de serre depuis une décennie. Les données d'observation

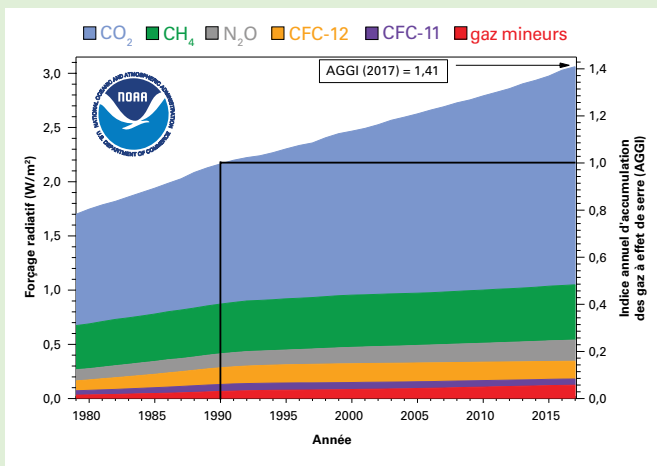


Figure 1. Forçage radiatif de l'atmosphère, par rapport à 1750, dû aux gaz à effet de serre persistants et valeur actualisée pour 2017 de l'AGGI de la NOAA [4].

Tableau 1. Concentrations moyennes annuelles à la surface du globe (en 2017) 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 % [5]. La méthode de calcul de la moyenne est décrite dans [7]. Nombre de stations utilisées pour les analyses: 129 pour le CO₂, 126 pour le CH₄ et 96 pour le N₂O.

	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Concentration mondiale en 2017	405,5±0,1 ppm	1859±2 ppb	329,9±0,1 ppb
Concentration en 2017 par rapport à l'année 1750*	146 %	257 %	122 %
Augmentation en valeur absolue entre 2016 et 2017	2,2 ppm	7 ppb	0,9 ppb
Augmentation en % entre 2016 et 2017	0,55 %	0,38 %	0,27 %
Augmentation annuelle moyenne en valeur absolue depuis 10 ans	2,24 ppm/an	6,9 ppb/an	0,93 ppb/an

* 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.

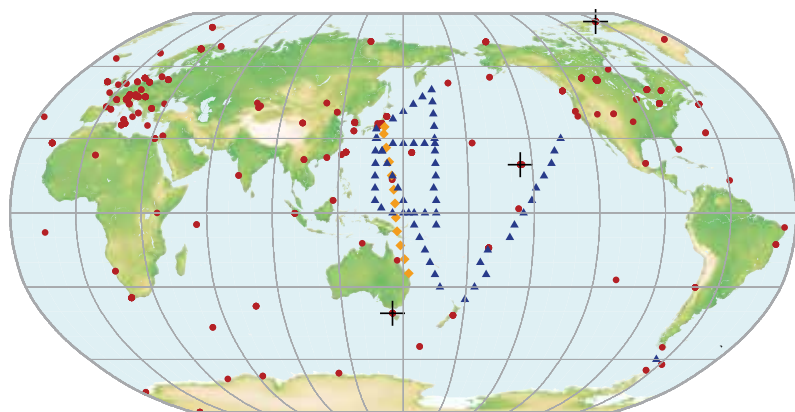
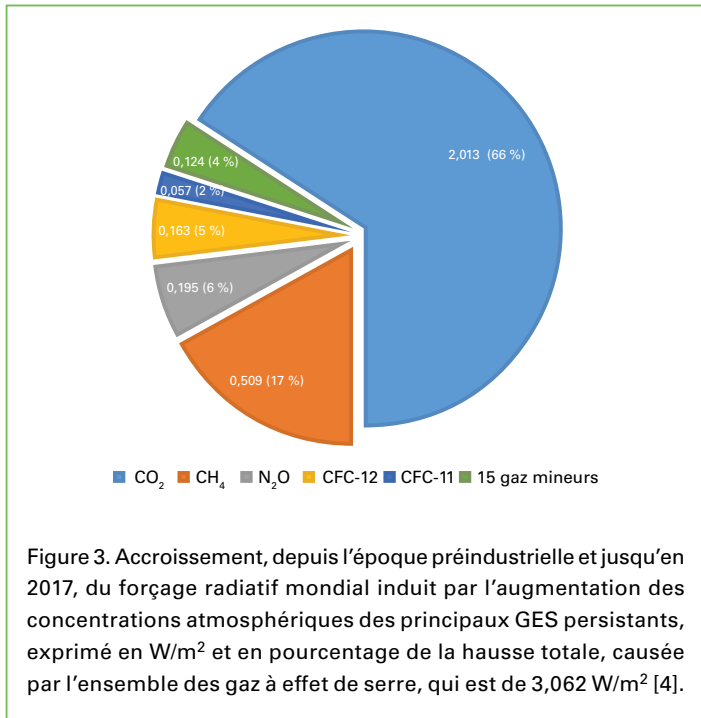


Figure 2. Réseau mondial de la VAG mesurant le CO₂ depuis dix ans. Le réseau est similaire pour le CH₄.

• Station au sol ♦ Aéronef ▲ Navire + Station de comparaison pour les GES



centrale du présent bulletin quelques exemples de projets se rapportant à l'IG³IS.

L'indice AGGI de la NOAA [4] s'établissait à 1,41 en 2017, ce qui traduit une augmentation du forçage radiatif total⁴⁾ induit par l'ensemble des gaz à effet de serre persistants de 41 % depuis 1990 et de 1,6 % entre 2016 et 2017 (figure 1). Du fait de ce forçage radiatif (3,062 W/m²), on se retrouve en 2017 avec une fraction molaire en surface de 493 ppm en équivalent CO₂ [4]. Les contributions relatives des autres gaz au forçage radiatif total depuis l'époque préindustrielle sont indiquées dans la figure 3.

Dioxyde de carbone

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 de même que sur les 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 2017, la teneur de l'atmosphère en CO₂ s'établissait à 146 % 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 (celles-ci ont atteint 9,9±0,5 PgC⁵⁾ en 2016 [8]), au déboisement et aux autres changements d'affectation des sols (1,3±0,7 PgC en moyenne pour la période 2007–2016). Sur le total du CO₂ émis par les activités humaines entre 2007 et 2016, 44 % environ se sont accumulés dans l'atmosphère, 22 % dans les océans et 28 % dans la biosphère terrestre; le solde non attribué est de 5 % [8]. 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.

En 2017, la fraction molaire du CO₂ moyennée à l'échelle du globe s'est établie à 405,5±0,1 ppm (figure 4). L'augmentation de la moyenne annuelle – 2,2 ppm entre 2016 et 2017 – est inférieure à la hausse survenue entre 2015 et 2016 (3,2 ppm) et pratiquement égale au taux d'accroissement moyen sur les dix dernières années (2,24 ppm/an). L'accélération du rythme d'accroissement en 2015 et 2016 par comparaison avec les années précédentes et avec la hausse survenue entre 2016 et 2017 est due en partie à l'augmentation des émissions naturelles de CO₂ dans le sillage du dernier épisode El Niño, comme c'est expliqué dans la douzième édition du *Bulletin de l'OMM sur les gaz à effet de serre*.

Méthane

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.). Le CH₄ atmosphérique a atteint en 2015 257 % du niveau qu'il avait à l'époque préindustrielle (environ 722 ppb) du fait de l'accroissement des émissions anthropiques.

de l'atmosphère communiquées par les pays sont archivées et distribuées par le Centre mondial de données relatives aux gaz à effet de serre (CMDGS) de l'OMM, 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 [6], de ceux de la NOAA car les stations utilisées et les méthodes de calcul des moyennes ne sont pas les mêmes, tandis que les périodes auxquelles se rapportent les chiffres diffèrent légèrement. Le CMDGS applique la procédure décrite en détail dans [7].

Le tableau 1 présente, pour 2017, les concentrations atmosphériques, moyennées à l'échelle du globe, des trois principaux gaz à effet de serre persistants et l'évolution de ces concentrations depuis 2016 et depuis 1750. Sont exclues de l'analyse les mesures provenant de stations mobiles (triangles bleus et losanges orange dans la figure 2), à l'exception des données d'échantillonnage de la NOAA en provenance du Pacifique Est.

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 GES persistants. Elles contribuent aussi à l'établissement des inventaires d'émissions et servent 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 (IG³IS), que l'OMM s'emploie à promouvoir, donne également des renseignements sur les sources de gaz à effet de serre à l'échelle nationale et infranationale. On trouvera dans l'article qui fait l'objet de la double page

COLLECTE ET ANALYSE DE DONNÉES ATMOSPHÉRIQUES AU SERVICE DE LA RÉDUCTION DES ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE

EXEMPLES DE PROJETS DE LA VAG SE RAPPORTANT À L'IG³IS

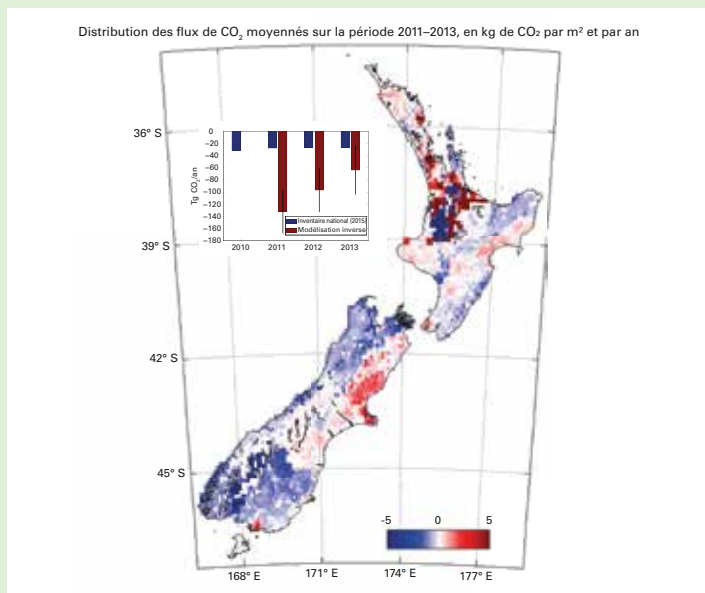


Figure 8. Répartition géographique des flux terre-atmosphère de CO₂ moyennés sur la période 2011–2013 [10]. Les régions signalées en bleu et en rouge correspondent respectivement à une absorption nette et à des rejets nets de carbone. Quant aux flux océaniques de CO₂, leur densité est trop faible pour qu'ils puissent être représentés ici. Les émissions liées aux combustibles fossiles sont incluses ici et atteignent 20 kg de CO₂ par m² et par an dans quelques mailles de la grille (région d'Auckland). L'échelle des couleurs a été adaptée de façon à mettre l'accent sur les flux naturels. En médaillon: moyennes annuelles obtenues par modélisation inverse [12] et comparées aux valeurs de l'inventaire national des gaz à effet de serre.

1. Les relevés atmosphériques mettent en évidence un grand puits de carbone forestier en Nouvelle-Zélande

Par Sara Mikaloff-Fletcher (National Institute of Water and Atmospheric Research Ltd, Nouvelle-Zélande) et Jocelyn Turnbull (GNS Science, Nouvelle-Zélande)

L'absorption nette de CO₂ découlant de l'utilisation des terres, des changements d'affectation des sols et de l'exploitation forestière contrebalance environ 30 % des émissions de gaz à effet de serre par la Nouvelle-Zélande [10]. Ces puits de carbone terrestres ont joué par le passé un rôle clef dans la réalisation, par la Nouvelle-Zélande, des objectifs de réduction des émissions de GES fixés par la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC), et ils devraient constituer l'un des principaux volets de la politique engagée par ce pays pour continuer de réduire ses émissions à l'avenir. L'inventaire national de la Nouvelle-Zélande utilise, pour l'estimation de l'absorption du carbone forestier, les mesures faites par un réseau national de sites d'étude qui portent sur le diamètre et la hauteur des arbres, associées à des équations allométriques qui permettent de déduire la masse de carbone de ces mesures. Prescrite dans les Lignes directrices du GIEC pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre, cette approche est marquée par une forte incertitude.

Les données d'observation du CO₂ atmosphérique et les résultats des simulations par modélisation inverse [12] (figure 8) laissent supposer que l'importance du puits de carbone forestier de la Nouvelle-Zélande pourrait largement dépasser les estimations de l'inventaire national [10] et celles qui résultent de la modélisation des processus terrestres [12]. Qui plus est, les observations atmosphériques mettent en évidence une forte variabilité interannuelle qui n'est pas détectée par la méthodologie sur laquelle se fonde l'inventaire national. L'étude en question combine les observations *in situ* du CO₂ atmosphérique effectuées par un réseau de stations et les résultats d'un modèle atmosphérique haute résolution. La configuration spatiale du puits donne à penser qu'une large part du carbone manquant est absorbée dans le Fiordland, région très arrosée où prédominent les forêts indigènes. L'équipe de scientifiques de la Nouvelle-Zélande vient de lancer un nouveau programme de recherche pour approfondir l'étude des processus à l'origine de ce puits. Grâce à une collaboration étroite avec ceux qui s'occupent de comptabiliser le carbone, de gérer les terres et d'élaborer les politiques, ce programme financé sur des fonds nationaux aidera l'IG³IS à rassembler scientifiques et décideurs autour de la question de la surveillance des GES et de l'estimation des émissions.

2. L'observation des gaz à effet de serre atmosphériques au service de l'inventaire national du Royaume-Uni

Par Alistair Manning (Met Office du Royaume-Uni)

Pour présenter ses émissions relatives aux gaz à effet de serre, qui sont estimées selon le protocole du GIEC (approche dite « ascendante ») [11] et déclarées chaque année au titre de la CCNUCC, le Royaume-Uni utilise une méthode complètement indépendante (dite « descendante ») [13], qui combine observations atmosphériques et modélisation et dont les résultats sont incorporés eux aussi chaque année dans l'inventaire national présenté au titre de la CCNUCC. Tout écart significatif constaté entre les résultats obtenus selon les deux approches permet au



Figure 9. Réseau de stations d'observation, financé par le Royaume-Uni, pour l'estimation des émissions liées au changement climatique

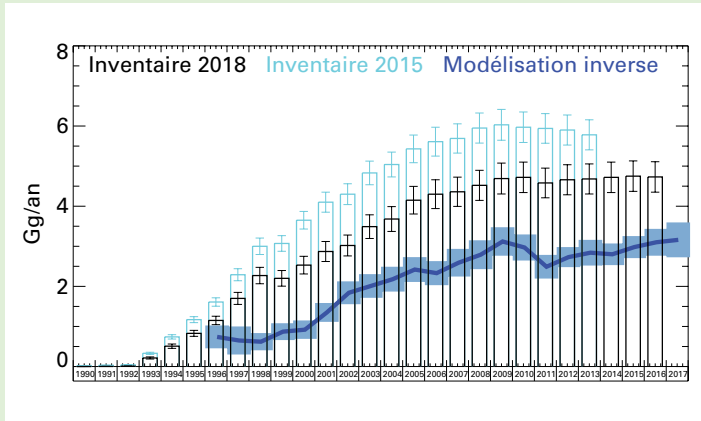


Figure 10. Estimation des émissions de HFC-134a par le Royaume-Uni. Inventaires d'émissions pour deux années de déclaration comparés aux estimations faites selon l'approche «descendante» (technique de modélisation inverse des émissions).

ministère britannique des affaires, de l'énergie et des stratégies industrielles d'identifier les points à approfondir.

En 2012, le ministère en question a investi dans un réseau de stations d'observation (figure 9) pour l'estimation des émissions liées au changement climatique [14], qui consistent essentiellement en des mâts de télécommunication de grande hauteur équipés de systèmes perfectionnés de mesure du CO₂, du CH₄, du N₂O, des HFCs, des perfluorocarbures, du SF₆ et du trifluorure d'azote (NF₃) permettant d'obtenir des données de qualité très précises.

On voit dans la figure 10 comment l'approche dite «descendante» est mise en regard avec l'estimation faite selon la méthode «ascendante». L'estimation ascendante des émissions de HFC-134a faite en 2015 par le pays est représentée par des barres bleu ciel, avec une marge d'incertitude estimée à 8 %. L'estimation descendante donne systématiquement, depuis le début des relevés, en 1994, et jusqu'à 2013, dernière année prise en compte par l'inventaire, des valeurs inférieures de 50 % environ à celles de l'estimation ascendante. Ce résultat ainsi que le travail entrepris par la suite [15] ont incité le ministère à approfondir la question, et un expert du secteur industriel a révisé partiellement l'inventaire d'émissions de HFC-134a du Royaume-Uni.

Les résultats de l'estimation ascendante révisée sont représentés dans la figure 10 par des barres noires: on constate qu'ils se sont nettement rapprochés des résultats de l'estimation

descendante. L'écart résiduel est imputé à l'hypothèse utilisée en ce qui concerne la fréquence de remplacement du liquide réfrigérant des climatiseurs.

3. Émissions de méthane de l'industrie pétrolière et gazière dans la province canadienne de l'Alberta: collecte de données atmosphériques utiles aux décideurs

Par Daniel Zavala-Araiza (Environmental Defense Fund, États-Unis d'Amérique)

Au Canada, l'industrie pétrolière et gazière est responsable d'environ la moitié des émissions totales de CH₄, d'après l'inventaire national [16]. Le gouvernement fédéral a promulgué récemment une réglementation à l'appui de l'objectif qui consiste à réduire de 40 à 45 % par rapport aux niveaux de 2012, d'ici à 2025, les émissions de CH₄ en provenance de l'industrie pétrolière et gazière [17].

Pour fixer des objectifs et mettre en œuvre des politiques réalistes en matière de réduction des émissions, il est nécessaire de connaître les niveaux de référence actuels de même que les caractéristiques des principales sources d'émission. Aussi une campagne multi-échelles a-t-elle été menée à l'automne 2016 [18–20] dans les régions gazières et pétrolifères de l'Alberta, et les données recueillies ont servi à estimer les émissions (du point de vue du bilan massique). On a alors comparé ces estimations «descendantes» avec les inventaires spatialement explicites et classés par région et les émissions déclarées par le secteur industriel. En outre, des mesures mobiles au sol (au vent des émissions et à l'échelle du site avec utilisation d'un double traceur et d'un modèle de dispersion gaussienne) ont permis de décrire la répartition des émissions et les principales sources d'émission (figure 11a).

Dans la région de Lloydminster, en Alberta, la principale source d'émission est liée aux rejets directs de méthane dans l'atmosphère à partir de la colonne de production. Les données d'observation de l'atmosphère laissent supposer que les émissions sont trois à cinq fois plus conséquentes que les chiffres consignés dans les inventaires, ce qui revêt une signification particulière dans le contexte de la réglementation proposée et des politiques de réduction des émissions au Canada. Si l'on extrapole avec prudence ces résultats aux autres sites de ce type que compte l'Alberta, il est probable que les émissions réelles de méthane par les industries d'extraction de gaz et de pétrole soient 25 à 50 % plus élevées (figure 11b).

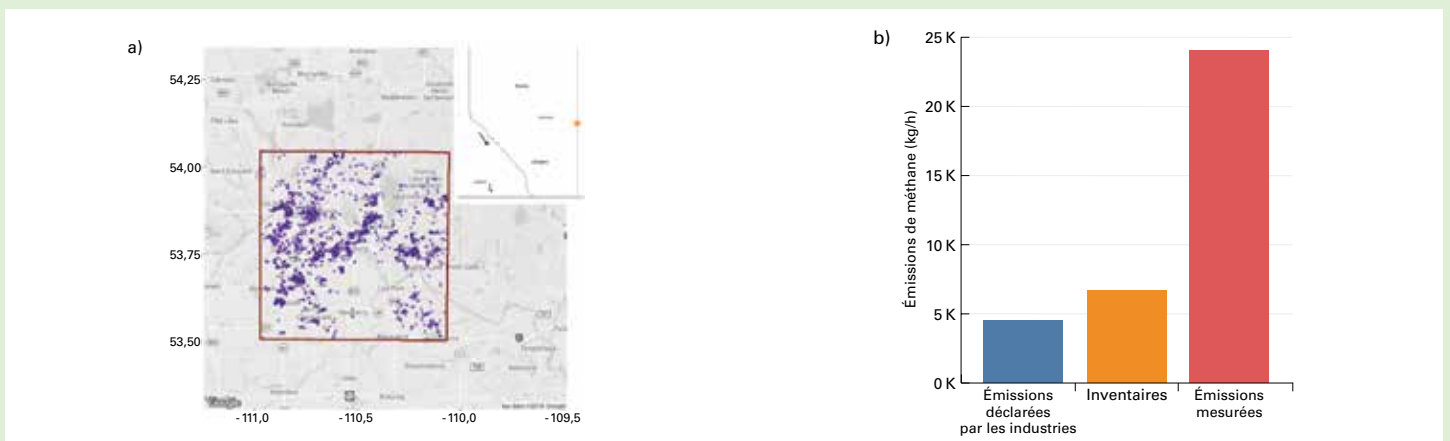


Figure 11. a) La région située dans l'encadré, qui est proche de Lloydminster (Alberta), est celle où l'aéronef a fait des relevés. Les points violets représentent des puits de pétrole en exploitation. b) Comparaison entre les émissions mesurées de CH₄ et les estimations «ascendantes» basées sur les inventaires et les émissions déclarées par les industries.

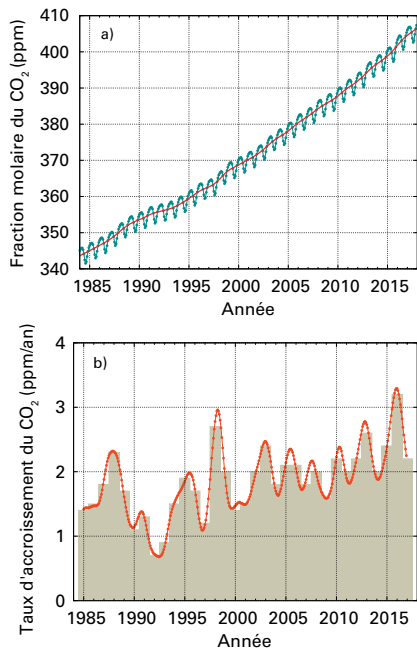


Figure 4. Évolution de la valeur moyenne à l'échelle du globe de la fraction molaire du CO_2 a) et de son taux d'accroissement b) pendant la période comprise entre 1984 et 2017. Les colonnes ombrées (en b) font apparaître les différences entre les moyennes annuelles successives. La ligne rouge en a) est la fraction molaire mensuelle moyenne désaisonnalisée; la ligne et les points bleus indiquent les moyennes mensuelles. Cette analyse repose sur les observations de 129 stations.

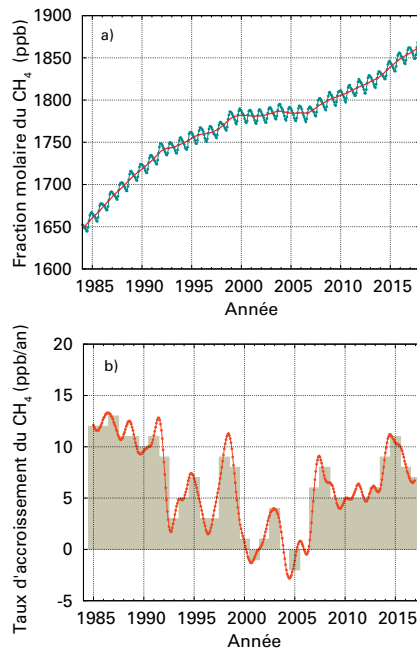


Figure 5. Évolution de la valeur moyenne à l'échelle du globe de la fraction molaire du CH_4 a) et de son taux d'accroissement b) pendant la période comprise entre 1984 et 2017. Les colonnes ombrées (en b) font apparaître les différences entre les moyennes annuelles successives. La ligne rouge en a) est la fraction molaire mensuelle moyenne désaisonnalisée; la ligne et les points bleus indiquent les moyennes mensuelles. Cette analyse repose sur les observations de 126 stations.

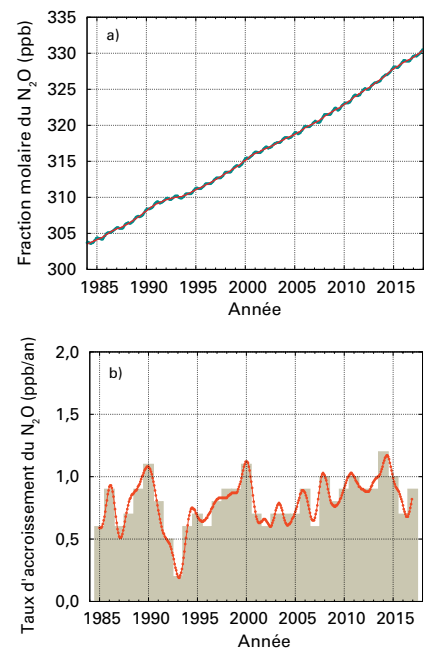


Figure 6. Évolution de la valeur moyenne à l'échelle du globe de la fraction molaire du N_2O a) et de son taux d'accroissement b) pendant la période comprise entre 1984 et 2017. Les colonnes ombrées (en b) font apparaître les différences entre les moyennes annuelles successives. La ligne rouge en a) 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 96 stations.

Moyennée à l'échelle du globe, la teneur de l'atmosphère en CH_4 , calculée à partir d'observations *in situ*, a atteint un nouveau pic en 2017 – 1 859±2 ppb – soit une augmentation de 7 ppb par rapport à l'année précédente (figure 5). Cette hausse est inférieure à celle survenue entre 2015 et 2016 mais pratiquement égale au taux d'accroissement moyen sur les dix dernières années. Après avoir atteint quelque 12 ppb par an à la fin des années 80, le taux d'accroissement annuel

moyen du CH_4 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 hausse. Les mesures du CH_4 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

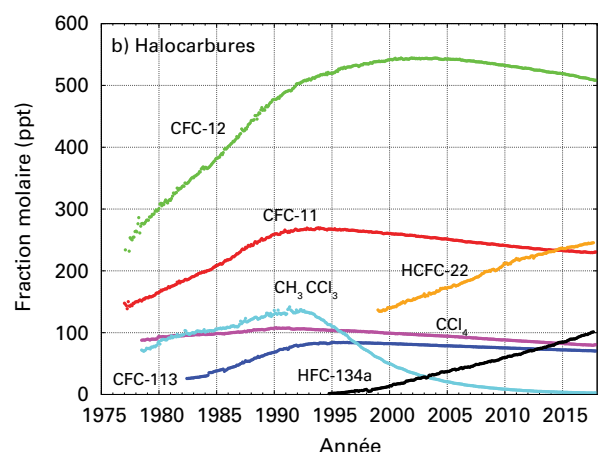
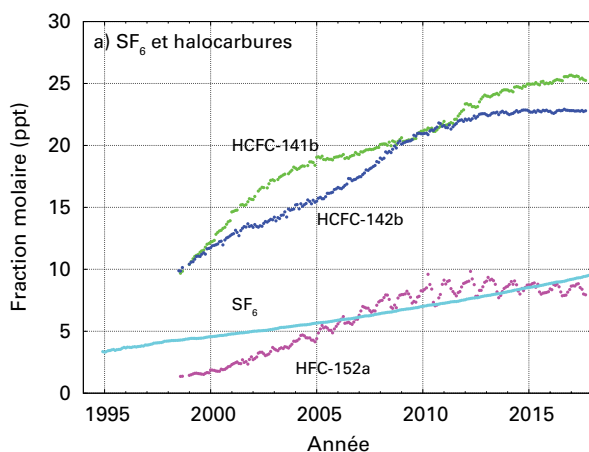


Figure 7. Évolution de la fraction molaire mensuelle moyenne du SF_6 et des principaux halocarbures: a) SF_6 et halocarbures aux faibles fractions molaires; b) halocarbures aux fractions molaires plus élevées. Nombre de stations utilisées pour les analyses: SF_6 (85), CFC-11 (23), CFC-12 (25), CFC-113 (21), CCl_4 (21), CH_3CCl_3 (24), HCFC-141b (9), HCFC-142b (14), HCFC-22 (13), HFC-134a (10), HFC-152a (9).

que de sources anthropiques aux latitudes moyennes de l'hémisphère Nord.

Protoxyde d'azote

Le protoxyde d'azote contribue pour quelque 6 %⁴⁾ au forçage radiatif induit par 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 %), et 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 329,9±0,1 ppb en 2017, soit 0,9 ppb de plus que l'année précédente (figure 6) et 122 % du niveau qu'elle avait à l'époque préindustrielle (270 ppb). La hausse enregistrée entre 2016 et 2017 est supérieure à celle survenue entre 2015 et 2016 et pratiquement égale à la moyenne annuelle calculée sur les dix dernières années (0,93 ppb/an). L'accroissement du N₂O atmosphérique est probablement dû à un plus grand recours aux engrais dans le contexte de l'agriculture, à quoi s'ajoute l'augmentation des émissions de ce gaz 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 représente plus du double aujourd'hui de ce qu'elle était au milieu des années 90 (figure 7 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 ppt⁶⁾).

Le présent bulletin traite principalement des gaz à effet de serre persistants. L'ozone troposphérique [9], 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 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 de la VAG, avec le soutien des Membres de l'OMM et des réseaux participants.

Remerciements et sites Internet

Cinquante-trois pays Membres de l'OMM ont transmis des données sur le CO₂ et d'autres gaz à effet de serre au CMDGS. Environ 41 % 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 ont également été utilisées. Enfin, 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 (GAWSYS) (<https://gawsys.meteoswiss.ch/>) administré par MétéoSuisse.

Références

- [1] Montzka, S. A. *et al.*, 2018: An unexpected and persistent increase in global emissions of ozone-depleting CFC 11. *Nature*, 557:413–417, doi:10.1038/s41586-018-0106-2.
- [2] Organisation météorologique mondiale, 2018: *Executive Summary: Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2018*. Rapport N° 58 du Projet mondial OMM de surveillance et de recherche concernant l'ozone. 67 p., Genève.
- [3] Organisation météorologique mondiale, 2014: *Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2014*. Rapport N° 55 du Projet mondial OMM de surveillance et de recherche concernant l'ozone. 416 p., Genève.
- [4] Butler, J.H. et S.A. Montzka, 2018: The NOAA Annual Greenhouse Gas Index (AGGI), <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/aggi/aggi.html>.
- [5] 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 – Atmospheres*, 99:22831–22855, doi:10.1029/94JD01951.
- [6] National Oceanic and Atmospheric Administration Earth System Research Laboratory, 2018: Trends in atmospheric carbon dioxide, <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>.
- [7] 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, https://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/documents/TD_1473_GAW184_web.pdf.
- [8] Le Quéré, C. *et al.*, 2018: Global carbon budget 2017. *Earth System Science Data*, 7(10):405–448, doi:10.5194/essd-10-405-2018.
- [9] Organisation météorologique mondiale, 2018: Bulletin de l'OMM sur les gaz réactifs N° 2: Faits saillants du Programme de l'atmosphère globale, https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=5245.

[10] Ministry for the Environment – Manatu Mo Te Taiao, 2018: New Zealand's Greenhouse Gas Inventory 1990–2016. Publication number: ME 1351. Wellington.

[11] Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2006: Lignes directrices 2006 du GIEC pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre, Volume 1, *General Guidance and Reporting* (sous la direction de S. Eggleston, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara et K. Tanabe). Établi dans le cadre du Programme sur les inventaires nationaux de gaz à effet de serre. Section 6.10.2. IGES, Japon.

[12] Steinkamp, K., S.E. Mikaloff-Fletcher, G. Brailsford, D. Smale, S. Moore, E. Keller, T. Baisden, H. Mukai et B. Stephens, 2017: Atmospheric CO₂ observations and models suggest strong carbon uptake by indigenous forests in New Zealand. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 17:47–76.

[13] Stanley, K. M., A. Grant, S. O'Doherty, D. Young, A.J. Manning, A.R. Stavert, T.G. Spain, P.K. Salameh, C.M. Harth, P.G. Simmonds, W.T. Sturges, D.E. Oram et R.G. Derwent, 2018: Greenhouse gas measurements from a UK network of tall towers: Technical description and first results. *Atmospheric Measurement Techniques*, 11(3):1437–1458.

[14] Arnold, T., A.J. Manning, J. Kim, L. Shanlan, H. Webster, D. Thomson, J. Mühle, R.F. Weiss, S. Park et S. O'Doherty, 2018: Inverse modelling of CF₄ and NF₃ emissions in East Asia. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 18:13305–13320.

[15] Say, D., A.J. Manning, S. O'Doherty, M. Rigby, D. Young et A. Grant, 2016: Re-evaluation of the UK's HFC-134a emissions inventory based on atmospheric observations. *Environmental Science and Technology*, 50(20):11129–11136.

[16] Environnement et Changement climatique Canada, 2016: Rapport d'inventaire national 1990–2014: sources et puits de gaz à effet de serre au Canada, http://publications.gc.ca/collections/collection_2018/eccc/En81-4-2014-1-fra.pdf.

[17] Environnement et Changement climatique Canada, 2017: Règlement concernant la réduction des rejets de méthane et de certains composés organiques volatils (secteur du pétrole et du gaz en amont). *Gazette du Canada*, Partie I: Volume 151, <http://www.gazette.gc.ca/rp-pr/p1/2017/2017-05-27/html/reg1-fra.html>.

[18] Johnson, MR, D.R. Tyner, S. Conley, S. Schwietzke et D. Zavala-Araiza, 2017: Comparisons of airborne measurements and inventory estimates of methane emissions in the Alberta upstream oil and gas sector. *Environmental Science and Technology*, 51(21):13008–13017.

[19] Zavala-Araiza D., S.C. Herndon, J.R. Roscioli, T.I. Yacovitch, M.R. Johnson, D.R. Tyner, M. Omara et B. Knighton, 2018: Methane emissions from oil and gas production sites in Alberta, Canada. *Elementa Science of the Anthropocene*, 6(1):27.

[20] Roscioli J.R., S.C. Herndon, T.I. Yacovitch, W.B. Knighton, D. Zavala-Araiza, M.R. Johnson et D.R. Tyner, 2018: Characterization of methane emissions from five cold heavy oil production with sands (CHOPS) facilities. *Journal of the Air and Waste Management Association*, 68(7):671–684.

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: <https://gaw.kishou.go.jp/>

- 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 PgC = 1 pétagramme (10¹⁵ grammes) de carbone
- 6) ppt = nombre de molécules du gaz considéré par billion (10¹²) de molécules d'air sec.

Réseau atmosphère du Système intégré d'observation du carbone (ICOS)



Réseau ICOS de stations d'observation de l'atmosphère: les points jaunes sont des stations hybrides, qui observent à la fois l'atmosphère et les écosystèmes, et les points rouges des stations qui observent uniquement l'atmosphère. Les stations situées en Guyane française, à La Réunion et au Cap-Vert sont hors carte. Exemples de stations: Pallas (Finlande), Jungfrauoch (Suisse), Svartberget (Suède), Lampedusa (Italie).

Konsta Punkka et Alcide di Sarra

Depuis le milieu de l'année 2018, le réseau européen de surveillance atmosphérique relevant de l'infrastructure de recherche ICOS (<https://www.icos-ri.eu>) est un réseau composé de 33 stations (dont 22 sont des tours de grande hauteur) qui participent au Programme de la VAG. Nombre des stations ICOS de surveillance atmosphérique sont exploitées depuis longtemps, mais le réseau est désormais étendu à de nouvelles régions et compte de nouvelles stations. Concepts et protocoles de mesure normalisés ont été définis dans ce contexte par les parties prenantes pour l'observation des gaz à effet de serre, sur la base des recommandations de l'OMM qui concernent la compatibilité, la traçabilité par rapport aux échelles de fractions molaires et la transparence du cycle de vie des données. Toutes les stations ICOS doivent satisfaire aux normes convenues, et toutes les données sont traitées par un Centre thématique atmosphérique et contrôlées/annotées quotidiennement par les responsables des stations. Le Laboratoire central d'analyse procède à l'analyse des échantillons prélevés dans des flacons, notamment aux fins de détection du radiocarbone $^{14}\text{CO}_2$ dans les émissions dues aux combustibles fossiles, et fournit à toutes les stations des cylindres de référence étalonnés selon l'échelle de l'OMM. Toutes les données atmosphériques ICOS soumises à un contrôle de qualité poussé sont diffusées en libre accès via le Portail du carbone (<https://data.icos-cp.eu/portal>) et mises à jour environ deux fois par an actuellement. Les données transmises en temps quasi réel, dont la qualité est contrôlée automatiquement, sont diffusées tous les jours dans un délai de 24 heures depuis la publication du dernier lot de données soumises à un contrôle de qualité poussé. Les données atmosphériques seront aussi accessibles via le CMDGS; elles font parties des produits Obspack (Observation Package), régulièrement actualisés, de la NOAA et sont diffusées quotidiennement pour les besoins des services Copernicus (<https://www.copernicus.eu/en/services>).

Navire de recherche I, *Investigator*, première station mobile du réseau de mesure des GES dans le cadre de la VAG

Le navire de recherche *Investigator* du programme de recherche australien *Marine National Facility* est équipé de deux laboratoires spécialement conçus pour l'échantillonnage de l'atmosphère, qui fournissent en continu des données *in situ* de qualité sur le CO_2 , le CH_4 et le N_2O ainsi que d'autres gaz importants à l'état de traces tels que le monoxyde de carbone, l'ozone troposphérique et le radon. Un large éventail de paramètres météorologiques et relatifs aux aérosols sont également mesurés. En 2018, l'*Investigator* est devenu la première station mobile du réseau de la VAG.

L'*Investigator* navigue 300 jours par an dans les mers qui bordent l'Australie, voyageant entre l'équateur et la lisière des glaces de l'Antarctique et recueillant en permanence des données sur la composition de l'atmosphère dans des régions particulièrement peu explorées. Grâce à ses fréquents voyages durant lesquels elle sillonne les régions reculées de l'océan austral, cette station itinérante de la VAG nous donne un aperçu de ce qui pourrait ressembler le plus à une atmosphère préservée de toute atteinte humaine. Cette nouvelle approche est extrêmement précieuse pour les climatologues désireux d'affiner leurs modèles.



Le navire de recherche *Investigator* longe un iceberg colossal dans l'océan Austral.

CSIRO