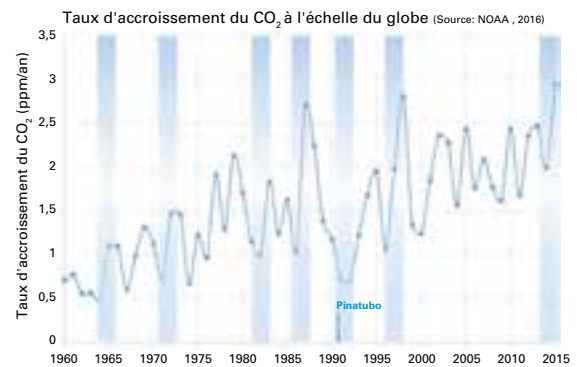
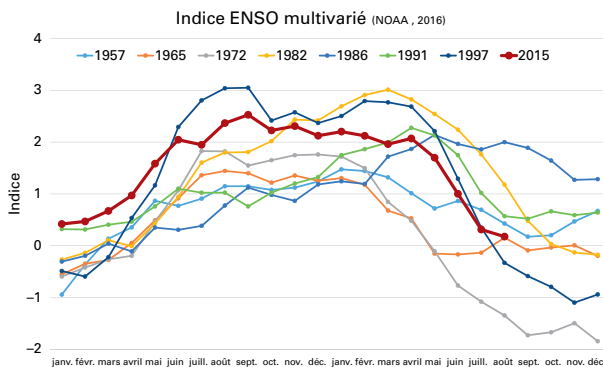




BULLETIN DE L'OMM SUR LES GAZ À EFFET DE SERRE

Bilan des gaz à effet de serre présents dans l'atmosphère, d'après les observations effectuées à l'échelle du globe en 2015.

N° 12 | 24 octobre 2016



L'évolution des concentrations de gaz à effet de serre en 2015 subit fortement l'influence du phénomène El Niño

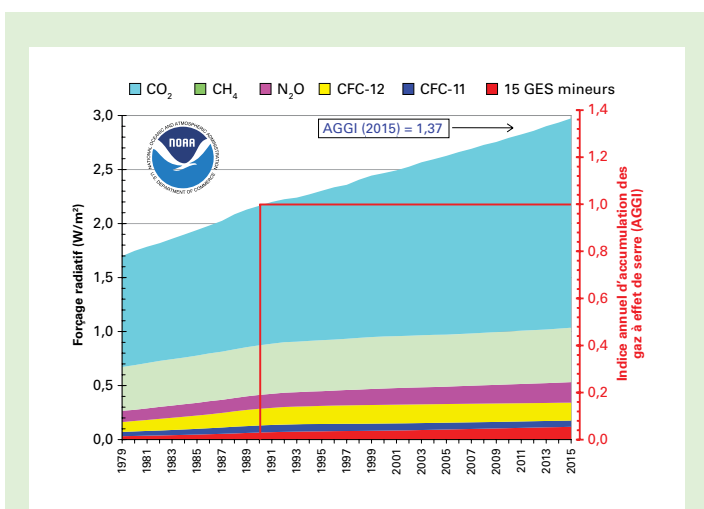
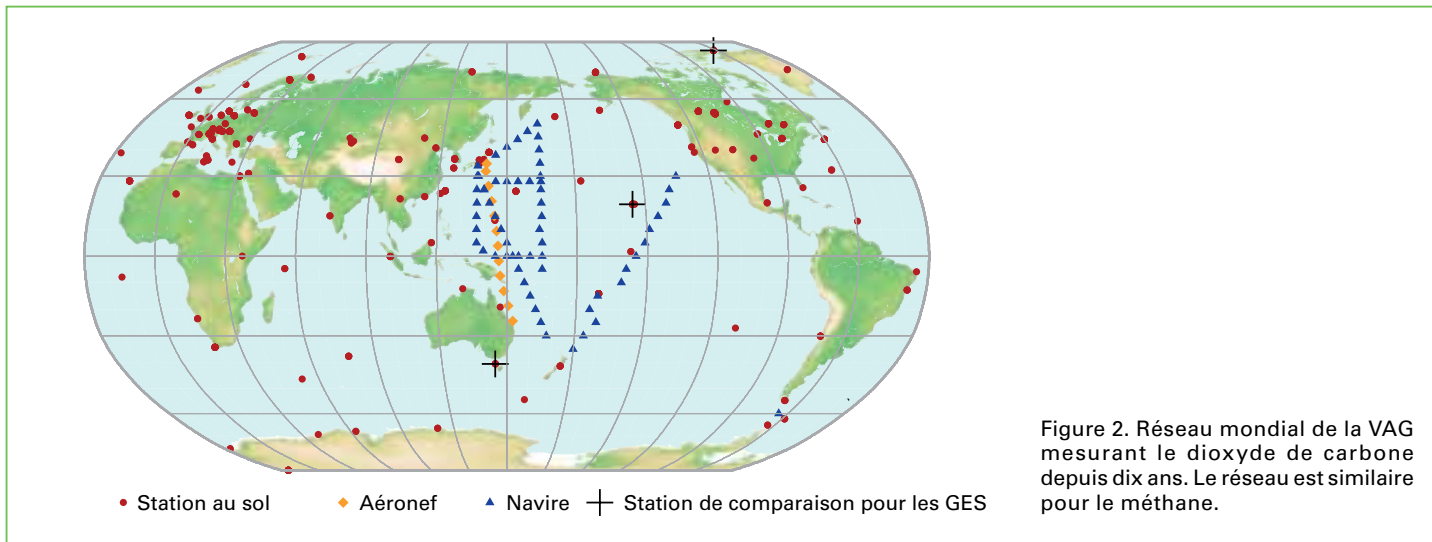
L'année 2015 a été marquée par l'arrivée d'un puissant épisode El Niño. Caractérisé par l'accumulation de masses d'eau anormalement chaude dans le Pacifique équatorial, ce phénomène s'inscrit dans le cadre de la variabilité naturelle du climat. Les épisodes El Niño engendrent des conditions météorologiques anormales – fortes tempêtes, inondations, sécheresses – qui varient selon les régions. Ils durent en général entre neuf mois et deux ans et surviennent grosso modo tous les 2 à 7 ans, bien qu'en l'occurrence le précédent épisode de forte intensité remonte à 18 ans.

Sur la figure de gauche, l'indice multivarié El Niño/Oscillation australe (ENSO) [1] donne une indication de la puissance du phénomène; les épisodes El Niño les plus intenses qui se soient produits depuis 1950 sont mis en évidence. Celui de 2015/16, qui fait partie des huit phénomènes El Niño les plus puissants qui se soient manifestés depuis 1950, s'est accompagné pendant 16 mois consécutifs de températures mondiales record [2]. À l'exception des années qui ont suivi l'éruption du mont Pinatubo, en 1991, les épisodes El Niño ont aussi poussé à la hausse le taux d'accroissement du dioxyde de carbone (CO₂) dans l'atmosphère, comme on le voit sur la figure de droite, basée sur une estimation de l'Administration américaine pour les océans et l'atmosphère (NOAA) qui a utilisé pour cela les données fournies par son réseau d'observation in situ à compter de 1960 [3]. Sont indiquées en bleu les périodes marquées par les sept épisodes El Niño les plus puissants qui aient été observés depuis 1960.

Le taux d'accroissement du CO₂ calculé sur la base des observations effectuées dans le cadre du Programme de la Veille de l'atmosphère globale (VAG) de l'OMM est plus élevé

que la moyenne des dix dernières années, bien qu'il soit avéré que les émissions anthropiques de ce gaz à l'échelle du globe sont restées quasiment stables entre 2014 et 2015. Selon les données les plus récentes, cette accélération de la progression du CO₂ dans l'atmosphère s'est poursuivie longtemps en 2016, ce qui s'explique par le décalage prévisible entre la valeur de l'indice ENSO et ses répercussions sur l'accroissement de ce gaz. Aussi prévoit-on que 2016 sera la première année où la teneur de l'atmosphère en CO₂ mesurée à l'observatoire de Mauna Loa sera demeurée constamment supérieure à 400 ppm¹, ce qui restera le cas pendant de nombreuses générations [4].

Malgré la hausse des émissions provenant des énergies fossiles, les océans et la biosphère terrestre continuent d'absorber environ la moitié des émissions anthropiques [5]. Il se pourrait toutefois que ces puits deviennent un jour saturés, ce qui augmenterait la part du CO₂ émis demeurant dans l'atmosphère et pourrait donc accélérer le taux d'accroissement de ce gaz. Lors d'un épisode El Niño, l'absorption de CO₂ par la biosphère terrestre est généralement moindre. Comme ce fut le cas lors du puissant Niño de 1997/98, on peut s'attendre à une hausse des émissions nettes à cause d'une sécheresse accrue dans les régions tropicales, et donc d'une moindre absorption de carbone par la végétation et d'une recrudescence des émissions de CO₂ liées aux feux de brousse. D'après la GFED (Global Fire Emissions Database) [6], les émissions de CO₂ en Asie équatoriale se sont élevées à 0,34 PgC² en 2015 (contre une moyenne de 0,15 PgC pour la période 1997–2015). On peut s'attendre aussi à d'autres répercussions qui seraient liées non pas au phénomène El Niño proprement dit mais plutôt au recul général de la banquise arctique, à la multiplication des sécheresses sur les continents du fait du réchauffement [7], à la fonte du pergélisol et à la modification de la circulation thermohaline dans laquelle El Niño ne joue qu'un faible rôle.



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 surface³⁾ du dioxyde de carbone (CO₂), du méthane (CH₄) et du protoxyde d'azote (N₂O) ont atteint de nouveaux pics en 2015, s'établissant respectivement à 400,0±0,1 ppm, 1 845±2 ppb⁴⁾ et 328,0± 0,1 ppb. Ces valeurs représentent respectivement 144 %, 256 % et 121 % des niveaux préindustriels (avant 1750). On prévoit que 2016 sera la première année où la teneur de l'atmosphère en CO₂ mesurée à l'observatoire de Mauna Loa sera demeurée constamment supérieure à 400 ppm, ce qui restera le cas pendant de nombreuses générations [4]. Le taux d'accroissement du CO₂ entre 2014 et 2015 était plus élevé qu'entre 2013 et 2014 et que la moyenne des dix années précédentes. L'épisode El Niño amorcé en 2015 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. Comme pour le CO₂, la teneur de l'atmosphère en CH₄ a augmenté plus rapidement entre 2014 et 2015 qu'entre 2013 et 2014 et que sur les dix dernières années en moyenne. Quant au taux d'accroissement du N₂O entre 2014 et 2015, il est analogue à celui observé de 2013 à 2014 et supérieur à la moyenne des dix années précédentes. Selon l'indice annuel d'accumulation des gaz à effet de serre dans l'atmosphère (AGGI) [8,9] 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 37 % entre 1990 et 2015, le dioxyde de carbone étant à l'origine d'environ 80 % de cette augmentation.

Introduction

Depuis l'époque préindustrielle (avant 1750), la teneur de l'atmosphère en gaz à effet de serre a augmenté considérablement à cause des émissions liées aux activités humaines. 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 combustibles fossiles ont contribué à l'accélération, ces dernières années, du rythme d'accroissement des concentrations de gaz à effet de serre persistants.

Il est extrêmement probable que le réchauffement du climat auquel le monde est aujourd'hui confronté en soit la conséquence directe [5].

Tableau 1. Concentrations moyennes annuelles à la surface du globe (en 2015) et évolution des principaux gaz à effet de serre d'après les données transmises par le réseau mondial de surveillance 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 % [10]. La méthode de calcul de la valeur moyenne est décrite en [11].

	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Concentration mondiale en 2015	400,0±0,1 ppm	1 845±2 ppb	328,0±0,1 ppb
Concentration en 2015 par rapport à l'année 1750 ^a	144 %	256 %	121 %
Augmentation en valeur absolue entre 2014 et 2015	2,3 ppm	11 ppb	1,0 ppb
Augmentation en % entre 2014 et 2015	0,58 %	0,60 %	0,31 %
Augmentation annuelle moyenne en valeur absolue depuis 10 ans	2,08 ppm/an	6,0 ppb/an	0,89 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: 125 pour le CO₂, 123 pour le CH₄ et 33 pour le N₂O.

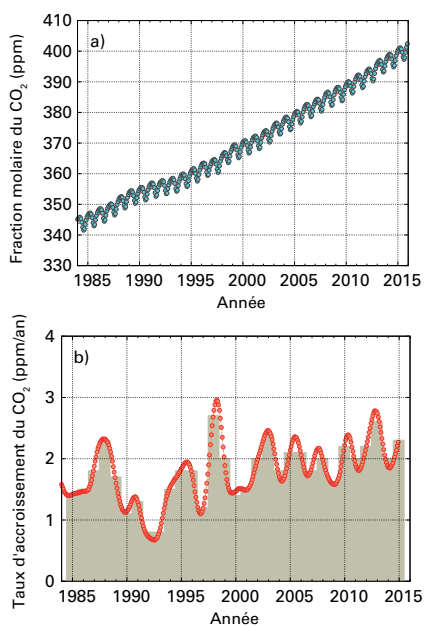


Figure 3. Évolution de la valeur moyenne à l'échelle du globe de la fraction molaire du CO₂ a) et de son taux d'accroissement b) pendant la période comprise entre 1984 et 2015. Les colonnes ombrées (en b)) font apparaître les différences entre les moyennes annuelles successives.

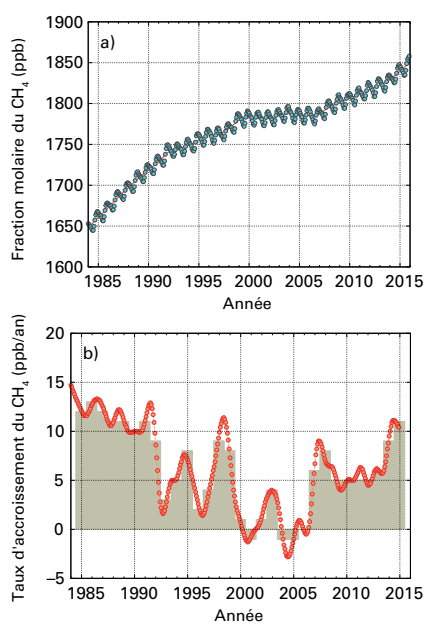


Figure 4. Évolution de la valeur moyenne à l'échelle du globe de la fraction molaire du CH₄ a) et de son taux d'accroissement b) pendant la période comprise entre 1984 et 2015. Les colonnes ombrées (en b)) font apparaître les différences entre les moyennes annuelles successives.

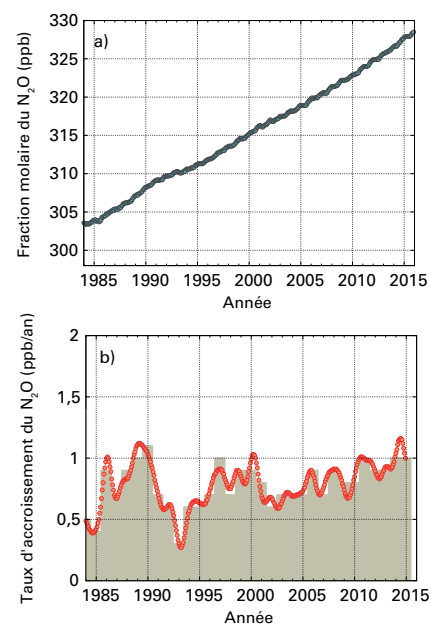


Figure 5. Évolution de la valeur moyenne à l'échelle du globe de la fraction molaire du N₂O a) et de son taux d'accroissement b) pendant la période comprise entre 1984 et 2015. Les colonnes ombrées (en b)) font apparaître les différences entre les moyennes annuelles successives.

Il est probable également que le changement climatique engendrera des rétroactions dans le système terrestre, et notamment des variations d'amplitude des flux naturels de gaz à effet de serre, ce qui se traduira par le ralentissement ou l'accélération du rythme d'accroissement de ces gaz dans l'atmosphère et donc du changement climatique. La nature et l'ampleur de ces rétroactions sont très difficiles à prévoir, mais les conclusions de certaines études très récentes donnent à penser que les changements climatiques à venir auront une forte incidence sur la sécheresse, ce qui réduira la capacité d'absorption des puits continentaux et accélérera d'autant plus le rythme d'accroissement du CO₂ atmosphérique; que si les émissions se poursuivent au rythme actuel, le réchauffement sera beaucoup plus prononcé qu'on ne le pensait jusqu'ici; et que la fonte des glaces de l'Antarctique pourrait entraîner une élévation du niveau de la mer deux fois supérieure au maximum envisagé dans le dernier rapport du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), même si les mesures convenues lors de la 21^e session de la Conférence des Parties (COP 21) à la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC) pour limiter à 2 °C la hausse de la température moyenne devaient se concrétiser [12, 13, 14].

Seule une mesure très précise des paramètres atmosphériques sur le long terme, notamment dans le cadre du programme d'observation *in situ* de la VAG complété par les observations satellitaires et la modélisation numérique, permettra de comprendre comment évolue la composition de l'atmosphère terrestre, et de savoir si la réduction des émissions résultant de l'accord conclu par la COP 21 a les effets escomptés sur les concentrations de gaz à effet de serre persistants et si l'on parviendra en fin de compte à faire baisser ces concentrations. Grâce à ces informations, les responsables politiques seront mieux à même de se prononcer sur la nécessité de renforcer encore les mesures d'atténuation pour contrer les effets des mécanismes de rétroaction du système terrestre.

Résultats des observations *in situ* du réseau de la VAG pour 2015

Le présent bulletin, le douzième d'une série de bulletins sur les gaz à effet de serre publiés chaque année 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 %⁵⁾ [15] 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 persistants 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 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), 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 [3], 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 les mêmes. Le CMDGS applique la procédure décrite dans le document technique WMO/TD-No. 1473 [11].

Le tableau 1 présente, pour 2015, les concentrations, moyennées à l'échelle du globe, des trois principaux gaz à effet de serre persistants et l'évolution de ces concentrations depuis 2014 et depuis 1750. Sont exclues de l'analyse les mesures provenant de stations mobiles, à l'exception des données d'échantillonnage de

SYSTÈME MONDIAL INTÉGRÉ D'INFORMATION SUR LES GAZ À EFFET DE SERRE

En décembre 2015, les Parties à la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC) ont adopté l'Accord de Paris, qui codifie le principe de «contributions déterminées au niveau national». Celles-ci varient en fonction des pays, des régions et des capacités économiques. Quelles que soient les politiques adoptées, les décideurs auront besoin, pour les mettre en œuvre sur le long terme avec toute l'efficacité voulue, qu'on leur communique régulièrement des informations fiables et cohérentes sur l'ampleur des émissions de gaz à effet de serre (GES) et leur évolution dans le temps.

En 2010, les spécialistes de l'atmosphère, du cycle du carbone et du changement climatique ont réalisé un certain nombre d'études [16, 17, 18] sur les possibilités qui s'offrent d'utiliser les mesures relatives aux concentrations atmosphériques de GES et les résultats de modélisation pour évaluer de façon objective l'exactitude des inventaires d'émissions établis selon les méthodes statistiques décrites dans les Lignes directrices publiées en 2006 par l'Équipe spéciale du GIEC pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre [19]. Il en ressort que pour bien faire dans ce domaine, il faudrait investir encore davantage dans la recherche, accroître la densité et améliorer l'étalonnage des mesures portant sur les GES et, enfin, renforcer les capacités de modélisation du transport atmosphérique et d'assimilation des données.

Fort des progrès accomplis depuis 2010 sur le front de la recherche, des observations et de la modélisation, l'OMM a entrepris de mettre au point un système mondial intégré d'information sur les gaz à effet de serre (IG³IS) [20]. Les normes applicables aux mesures atmosphériques sont définies dans le cadre du Programme de la Veille de l'atmosphère globale (VAG) de l'OMM, et le système d'information en question servira à établir et diffuser des normes méthodologiques et, à la longue, les améliorer. Il s'agit en effet de déterminer comment l'on pourrait combiner les résultats de modélisation inverse des concentrations de gaz à effet de serre mesurées dans l'atmosphère («approche descendante») avec les inventaires d'émissions spatialement et temporellement explicites qui émanent des secteurs socio-économiques («approche ascendante») afin de faciliter la prise de décision et l'application des politiques en matière de réduction des émissions.

L'IG³IS assurera la coordination requise entre l'OMM et nombre de ses partenaires internationaux, en particulier le Programme des Nations Unies pour l'environnement, le Bureau international des poids et mesures et le Groupe sur l'observation de la Terre. Pour que ce projet soit couronné de succès, ses artisans devront faire tout leur possible pour se mettre en rapport avec les utilisateurs potentiels des informations fournies par le système de manière à cerner leurs besoins, gagner leur confiance et démontrer l'intérêt que ces informations revêtent pour eux, le but étant d'accroître l'efficacité des mesures de réduction des émissions. À la longue, l'IG³IS devra se donner les moyens d'encourager et d'exploiter les progrès de la technique (s'agissant notamment des nouveaux capteurs et des nouvelles observations satellitaires), et d'améliorer ainsi constamment la qualité et la fiabilité des informations qu'il détient.

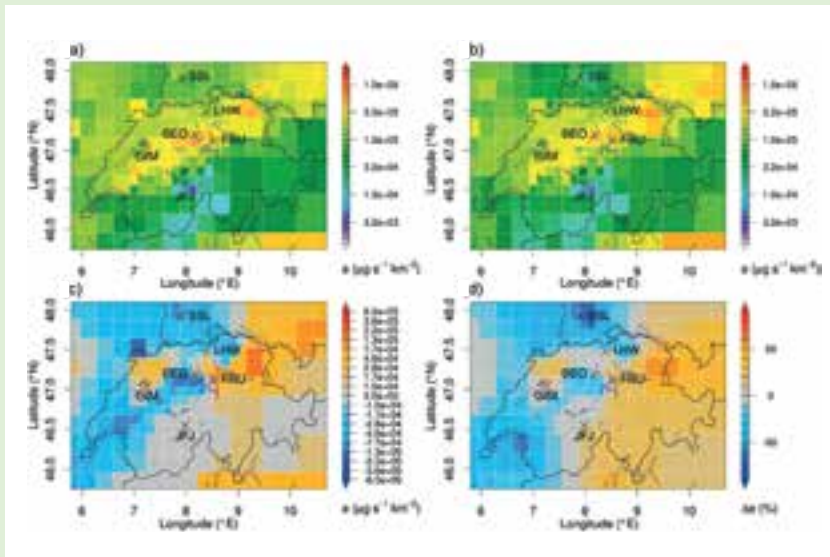
La phase de mise en œuvre du Système mondial intégré d'information sur les gaz à effet de serre est amorcée, dans le

respect des principes et des objectifs, au nombre de trois, qui sont définis dans le document de fond relatif à l'IG³IS [20]: 1) réduire les incertitudes afférentes aux inventaires nationaux d'émissions établis au titre de la CCNUCC; 2) recenser et quantifier les possibilités de réduction des émissions jusque-là inconnues et en informer les intéressés; 3) fournir en temps voulu aux autorités nationales et infranationales des informations quantifiées sur les émissions, leur évolution et leur origine de manière à favoriser la réalisation des objectifs de réduction des émissions. Pour chaque objectif, la démarche est double: elle consiste 1) à lancer des projets pilotes à court terme visant à développer certaines méthodes et à rendre les informations ainsi obtenues plus dignes de foi aux yeux des parties prenantes; 2) à établir un plan directeur à l'intention des pays, des villes et des entreprises privées pour les aider à mettre en œuvre les systèmes d'information. Les cas d'école se multiplient qui viennent consolider l'assise de l'IG³IS. En voici quelques-uns.

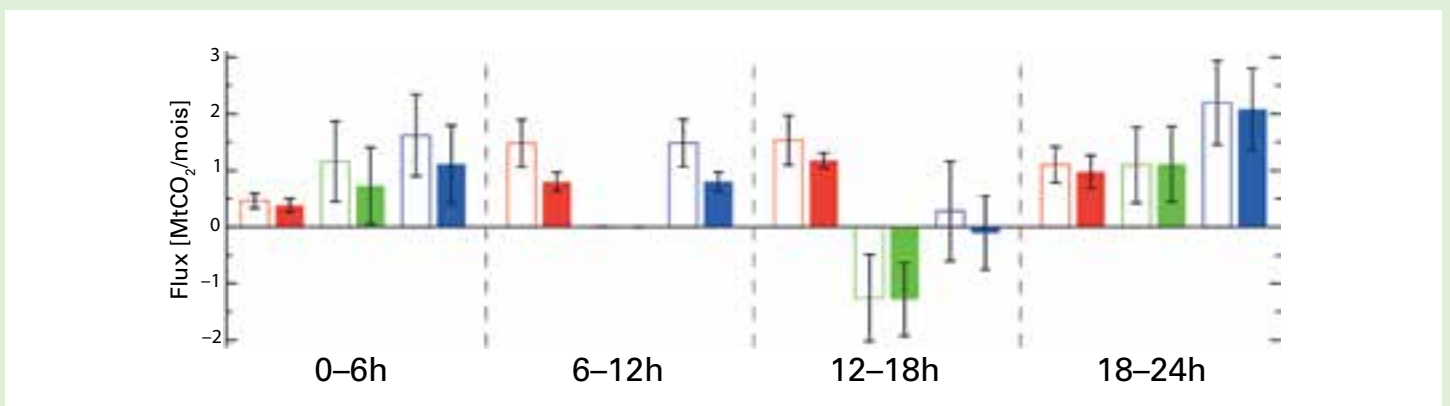
Des mesures continues du méthane sur quatre sites du plateau suisse et sur deux autres sites, combinées à des simulations du transport atmosphérique et à des modélisations inverses, ont permis d'établir la distribution spatiale des émissions de CH₄ en Suisse et dans les pays limitrophes [21]. La meilleure estimation obtenue de la sorte concernant les émissions totales de CH₄ en Suisse pour la période comprise entre mars 2013 et février 2014 se chiffre à 196±18 Gg/an⁶⁾. Cette valeur est très proche du total national – 206±33 Gg/an – annoncé en 2015 par la Suisse au titre de la CCNUCC pour les années 2012 et 2013. La combinaison des deux approches, ascendante et descendante, corrobore largement l'estimation relative aux émissions totales déclarées, pour laquelle l'incertitude a été ramenée de 16 à 9 %.

Le système de modélisation inverse n'a pas été conçu pour optimiser les estimations par catégorie d'émission mais pour obtenir une distribution spatiale des émissions totales. Les résultats de cette modélisation donnent toutefois un aperçu qualitatif des catégories de sources qui prédominent dans une région donnée. L'illustration du haut de la page 5 laisse clairement apparaître une augmentation des émissions estimées pour le nord-est de la Suisse. La cause pourrait en être des pratiques agricoles différentes (par rapport au reste du pays), qui se répercuteraient sur les niveaux d'émission par tête de bétail. Les émissions plus élevées que prévu dans cette partie de la Suisse pourraient être dues aussi à d'autres sources, anthropiques ou naturelles. De nouvelles observations seront nécessaires pour localiser et décrire plus précisément ces sources. La Suisse et le Royaume-Uni de Grande Bretagne et d'Irlande du Nord font tous deux figurer dans leurs inventaires nationaux des informations déduites de la modélisation inverse [22].

La teneur de l'atmosphère en méthane continue d'augmenter, mais les fluctuations du rythme d'accroissement de ce gaz à l'échelle du globe sont difficiles à expliquer, et il n'est pas facile non plus d'en déterminer les sources, qu'elles soient naturelles ou anthropiques. Par le passé, des études débouchant sur des estimations divergentes quant aux émissions de méthane en provenance de l'industrie pétrolière et gazière avaient engendré une polémique sur la question de savoir quelle était l'empreinte véritable de ce secteur en termes de gaz à effet de serre. Les estimations basées sur l'échantillonnage à grande échelle de l'atmosphère, qui relèvent donc de l'approche dite «descendante»,



La figure a) montre la distribution spatiale des émissions consignées sur les inventaires établis pour la Suisse et la figure b) celle des émissions modélisées *a posteriori*, tandis que les figures c) et d) montrent respectivement la différence en valeur absolue et la différence en pourcentage entre les deux. Une grille d'inversion irrégulière a été utilisée, sur laquelle la résolution spatiale est très fine à proximité des sites d'observation et devient plus grossière à mesure qu'on s'en éloigne (source: d'après [21]).



Estimations relatives aux flux totaux sur une période de 30 jours, pour les quatre tranches de 6 heures: les émissions anthropiques sont indiquées en rouge, les flux biogéniques en vert et le total en bleu. Les rectangles vides correspondent aux estimations basées sur les comptes rendus et les rectangles de couleur aux estimations issues de la modélisation inverse. La réduction de la marge d'incertitude est évidente pour la tranche du matin et celle de l'après-midi (source: d'après [26]).

sont souvent supérieures à celles qui se rapportent aux inventaires d'émissions, établis en fonction des sources, et qui relèvent par conséquent de l'approche «descendante». Les études menées sous l'égide du Fonds de défense de l'environnement et de la NOAA [23] ont fait concorder, grâce à des techniques de mesure et d'intégration de données reproductibles, les estimations relatives aux émissions de méthane établies selon l'approche ascendante et selon l'approche descendante pour l'une des grandes régions de production de gaz naturel des États-Unis d'Amérique. Fort des bons résultats obtenus avec ces techniques, l'IG³IS entend définir et perfectionner des méthodes prototypes susceptibles d'être diffusées dans le monde entier et donnant des résultats plus fiables et plus précis lorsqu'il s'agit de décrire les sources d'émission de méthane du secteur pétrolier et gazier. Le fait de pouvoir recenser et quantifier le petit nombre de sources hautement émettrices de CH₄ offrira de nouvelles perspectives de réduction des émissions à l'industrie pétrolière et gazière, au secteur de la gestion des déchets et à l'agriculture.

Un rôle a été officiellement attribué, dans le Programme d'action Lima-Paris, aux autorités infranationales telles que les villes; ces «grandes sources urbaines» sont en effet responsables de plus de 70 % des émissions de CO₂ dues aux combustibles fossiles. Plusieurs études ont démontré qu'il était possible de mieux quantifier les

émissions de gaz à effet de serre en provenance des villes ainsi que leur évolution grâce à des réseaux d'observation de l'atmosphère et à des analyses de résultats de modélisation inverse haute résolution [24, 25]. Les critères à respecter pour la modélisation inverse de l'atmosphère sont plus contraignants dans le cas des émissions de CO₂ dues aux combustibles fossiles. Il est cependant avéré que celles-ci sont plus faciles à quantifier, toujours dans le cas des zones urbaines, si l'on combine l'analyse de résultats de modélisation inverse, pour un réseau suffisamment dense de stations de mesure bien réparties, avec une bonne connaissance préalable des sources et de leur emplacement [26] (voir ci-dessus l'illustration du bas). S'il est utile de connaître l'évolution des émissions urbaines totales de CO₂ dues aux combustibles fossiles, urbanistes et décideurs auront besoin d'informations classées par secteur pour pouvoir mieux exploiter les possibilités de réduction des émissions. Une étude récente s'est appuyée sur une expérience de simulation des systèmes d'observation pour démontrer que des réseaux plus denses de stations de mesure à moindre coût (30 à 70 pour Paris) offrant une précision moyenne permettrait d'obtenir des informations classées par secteur et spatialement explicites sur les émissions urbaines [27]. Dans les pays émergents où les statistiques d'émissions – urbaines et naturelles – qui émanent des secteurs concernés peuvent laisser à désirer, ces approches de modélisation inverse de l'atmosphère peuvent livrer des informations extrêmement précieuses.

la NOAA en provenance de navires sillonnant l'océan Pacifique (triangles bleus dans la figure 2).

Les trois gaz à effet de serre persistants 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 servent aussi à améliorer les inventaires d'émissions et à évaluer les données satellitaires sur les GES persistants moyennés sur la colonne.

L'indice annuel d'accumulation des gaz à effet de serre (AGGI) de la NOAA [8] s'établissait à 1,37 en 2015, ce qui traduit une augmentation du forçage radiatif total (par rapport à 1750) induit par l'ensemble des gaz à effet de serre persistants de 37 % depuis 1990 et de 1,3 % entre 2014 et 2015 (figure 1). Ce forçage radiatif correspondait en 2015 à une fraction molaire de 485 ppm en équivalent CO₂ [9].

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 %⁵⁾ 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 81 % environ depuis une décennie et de 82 % 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 2015, la teneur de l'atmosphère en CO₂ s'établissait à 144 % 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 9,8±0,5 PgC en 2014), au déboisement et aux autres changements d'affectation des sols (0,9±0,5 PgC en moyenne pour la période 2005–2014 [7]). L'augmentation de la teneur de l'atmosphère en CO₂ entre 2005 et 2014 correspond en moyenne à 44 % environ du CO₂ émis par les activités humaines, les 56 % restants étant absorbés par les océans et la biosphère terrestre. 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 2015, la fraction molaire du CO₂ moyennée à l'échelle du globe s'est établie à 400,0±0,1 ppm (figure 3). L'augmentation de la moyenne annuelle – 2,3 ppm entre 2014 et 2015 – est supérieure à la hausse survenue entre 2013 et 2014, et au taux d'accroissement moyen sur les dix dernières années (environ 2,08 ppm/an). Cette accélération du rythme d'accroissement en 2015 par rapport aux années précédentes est due à l'augmentation des émissions naturelles de CO₂ dans le sillage du dernier épisode El Niño.

Méthane (CH₄)

Le méthane contribue pour quelque 17 %⁵⁾ 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 2015, le CH₄

atmosphérique a atteint 256 % 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 fraction molaire du CH₄, calculée à partir d'observations *in situ*, a atteint un nouveau pic en 2015 – 1 845±2 ppb – soit une augmentation de 11 ppb par rapport à l'année précédente (figure 4). Après avoir atteint quelque 13 ppb par an au début des années 80, 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 %⁵⁾ 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 328,0±0,1 ppb en 2015, soit 1,0 ppb de plus que l'année précédente (figure 5) et

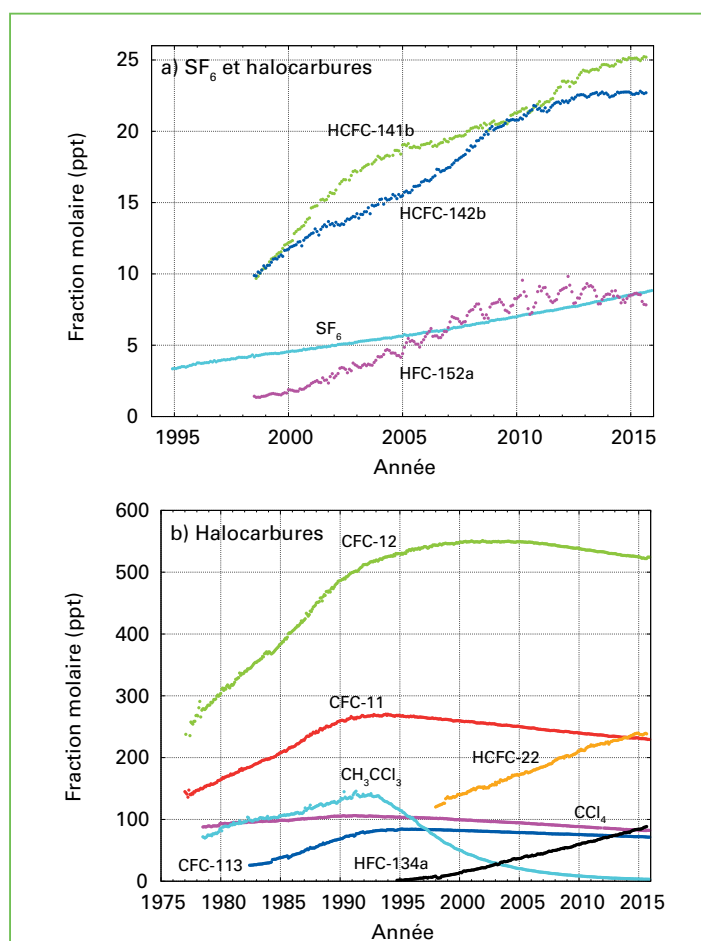


Figure 6. Évolution de la fraction molaire mensuelle moyenne de l'hexafluorure de soufre (SF₆) et des principaux halocarbures : a) SF₆ et halocarbures aux faibles fractions molaires ; b) halocarbures aux fractions molaires plus élevées. Nombre de stations utilisées pour les analyses : SF₆ (24), CFC-11 (23), CFC-12 (24), CFC-113 (23), CCl₄ (21), CH₃CCl₃ (24), HCFC-141b (10), HCFC-142b (14), HCFC-22 (14), HFC-134a (10), HFC-152a (9).

121 % du niveau qu'elle avait à l'époque préindustrielle (270 ppb). Le taux d'accroissement annuel entre 2014 et 2015 est supérieur à la moyenne calculée sur les dix dernières années (0,89 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 12 %⁵⁾ 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 ppt⁷⁾).

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 de la VAG, avec le soutien des Membres de l'OMM et des réseaux participants.

Remerciements et sites Internet

Cinquante et un pays 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° 206 de la série consacrée à la VAG, disponible en anglais à l'adresse <http://www.wmo.int/gaw> [28]. Les données d'observation du réseau AGAGE (*Advanced Global Atmospheric Gases Experiment*) ont également été utilisées. Enfin, les stations de surveillance 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 (<http://ds.data.jma.go.jp/gmd/wdscgg/>). Elles sont par ailleurs décrites dans le système d'information sur les stations de la VAG (GAWSYS) (<https://gawsis.meteoswiss.ch>) administré par MétéoSuisse (Suisse).

Références

[1] NOAA ESRL, 2016: Multivariate ENSO Index (MEI), <http://www.esrl.noaa.gov/psd/enso/mei/>.
[2] NOAA, 2016: August marks ongoing trend of record-breaking heat for the globe, <http://www.noaa.gov/news/august-marks-ongoing-trend-of-record-breaking-heat-for-globe>.

[3] Dlugokencky, E. et P. Tans, 2016: NOAA/ESRL, <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>.

[4] Betts, R.A. *et al.*, 2016: El Niño and a record CO₂ rise. *Nature Climate Change*, 6(9):806–810, doi:10.1038/nclimate3063.

[5] Stocker, T.F. *et al.*, 2013: Résumé technique, *Changements climatiques 2013: Les éléments scientifiques. Contribution du Groupe de travail I au cinquième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat* [sous la direction de Stocker, T.F., D. Qin *et al.*]. Cambridge University Press, Cambridge, Royaume-Uni et New York (État de New York), États-Unis d'Amérique.

[6] Giglio, L., J.T. Randerson et G.R. van der Werf, 2016: Global Fire Emissions Database, www.globalfiredata.org.

[7] Le Quéré, C. *et al.*, 2015: Global carbon budget 2015. *Earth System Science Data*, 7(2):349–396, doi:10.5194/essd-7-349-2015.

[8] Butler, J.H. et S.A. Montzka, 2016: The NOAA Annual Greenhouse Gas Index (AGGI), <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/aggi/aggi.html>.

[9] NOAA ESRL, 2016: NOAA's Annual Greenhouse Gas Index, <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/aggi/>.

[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. *J. Geophys. Res.*, 99:22831–22855.

[11] OMM, 2009: *Technical Report of Global Analysis Method for Major Greenhouse Gases by the World Data Centre for Greenhouse Gases* (Y. Tsutsumi, K. Mori, *et al.*). Rapport N° 184 de la série consacrée à la VAG (WMO/TD-No. 1473). Genève, 29 p., https://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/documents/TD_1473_GAW184_web.pdf.

[12] Berg, A. *et al.*, 2016: Land-atmosphere feedbacks amplify aridity increase over land under global warming. *Nature Climate Change*, 6(9):869–874, doi:10.1038/nclimate3029.

[13] Frölicher, T.L., 2016: Climate Response: Strong warming at high emissions. *Nature Climate Change*, 6(9):823–824. doi:10.1038/nclimate3053.

[14] DeConto R.M. et D. Pollard, 2016: Contribution of Antarctica to past and future sea-level rise. *Nature*, 531:591–597, doi:10.1038/nature17145.

[15] GIEC, 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, 161 p.

[16] National Academy of Science, 2010: *Verifying Greenhouse Gas Emissions: Methods to Support International Climate Agreements*. The National Academies Press, Washington, D.C., doi:10.17226/12883.

[17] Ciais, P. *et al.*, 2010: *GEO Carbon Strategy*. Secrétariat du GEO, Genève/FAO, Rome, 48 p.

[18] GIEC, 2010: *Expert Meeting on Uncertainty and Validation of Emission Inventories* (sous la direction de H.S. Eggleston, J. Baasansuren, K. Tanabe et N. Srivastava). Rapport de la réunion d'experts sur l'incertitude et la validation des inventaires d'émissions, Utrecht, Pays-Bas, 23–25 mars 2010, publication de l'IGES, Japon.

[19] GIEC, 2006: *Lignes directrices 2006 du GIEC pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre*, <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>.

[20] OMM, 2016. Integrated Global Greenhouse Gas Information System (IG³IS), <http://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/ghg/IG3IS-info.html>.

[21] Henne, S. *et al.*, 2016: Validation of the Swiss methane emission inventory by atmospheric observations and inverse modelling. *Atmos. Chem. Phys.*, 16:3683–3710, www.atmos-chem-phys.net/16/3683/2016/.

[22] http://unfccc.int/national_reports/annex_i_ghg_inventories/national_inventories_submissions/items/9492.php.

[23] Zavala-Araiza *et al.*, 2015: Reconciling divergent estimates of oil and gas methane emissions. *PNAS*, 112(51):15597–15602, www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1522126112.

[24] Lauvaux, T. *et al.*, 2016: High-resolution atmospheric inversion of urban CO₂ emissions during the dormant season of the Indianapolis Flux Experiment (INFLUX). *J. Geophys. Res. Atmos.*, 121, doi:10.1002/2015JD024473.

[25] McKain, K. *et al.*, 2015: Methane emissions from natural gas infrastructure and use in the urban region of Boston, Massachusetts. *PNAS*, 112(7):1941–1946, doi:10.1073/pnas.1416261112.

[26] Bréon, F.M. *et al.*, 2015: An attempt at estimating Paris area CO₂ emissions from atmospheric concentration measurements. *Atmos. Chem. Phys.*, 15:1707–1724, <http://www.atmos-chem-phys.net/15/1707/2015/acp-15-1707-2015.html>.

[27] Wu, L. *et al.*, 2016: What would dense atmospheric observation networks bring to the quantification of city CO₂ emissions? *Atmos. Chem. Phys.*, 16:7743–7771. <http://www.atmos-chem-phys.net/16/7743/2016/acp-16-7743-2016.html>.

[28] OMM, 2012: *16th WMO/IAEA Meeting on Carbon Dioxide, Other Greenhouse Gases, and Related Measurement Techniques (GGMT-2011)*. Wellington, Nouvelle-Zélande, 25–28 octobre 2011 (sous la direction de G. Brailsford). Rapport N° 206 de la série consacrée à la VAG, Genève.

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/wdcgg/>

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

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

³⁾ 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.

⁴⁾ ppb = nombre de molécules du gaz considéré par milliard (10⁹) de molécules d'air sec.

⁵⁾ 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.

⁶⁾ Gg = gigagramme (10⁹ grammes).

⁷⁾ ppt = nombre de molécules du gaz considéré par billion (10¹²) de molécules d'air sec.

Quelques observatoires des gaz à effet de serre



Perchée en haut d'une falaise côtière à l'extrémité nord-ouest de la Tasmanie (Australie), la station de référence de Cape Grim pour la mesure de la pollution atmosphérique (40,68°S, 144,69°E, 94 m au-dessus du niveau de la mer) est une station mondiale de la Veille de l'atmosphère globale (VAG) de l'OMM qui est pleinement opérationnelle. Les vents dominants soufflent du sud-ouest, parvenant en Tasmanie après avoir longtemps balayé de vastes étendues de l'océan Austral où les contacts avec des terres émergées ou des sources d'émission anthropiques, lorsqu'il y en a eu, ont été minimes. La station occupe donc un site idéal pour prélever des échantillons de référence aux latitudes moyennes de l'hémisphère austral. Parfois, à la faveur d'épisodes de vent du nord (venant de la ville de Melbourne) ou du sud-est (ayant traversé des terres rurales agricoles), d'autres types d'échantillons sont prélevés qui reflètent des situations diverses. La station est exploitée par le Bureau météorologique australien dans le cadre d'un programme scientifique géré conjointement par le Bureau et l'Organisation de la recherche scientifique et industrielle du Commonwealth (CSIRO), et auquel collaborent l'Organisation australienne pour la science et la technologie nucléaires (ANSTO) et l'Université de Wollongong, ainsi que plusieurs organismes internationaux et programmes de mesure. Les activités portent sur les particules et la chimie atmosphérique multiphasique, le rayonnement spectral et le rayonnement passif, l'ozone et les gaz réactifs, le dioxyde de carbone et ses isotopes stables, les gaz à effet de serre autres que le CO₂, les échantillons d'air archivés et le radon. Inaugurée en 1976, la station célèbre en 2016 40 années d'observations ininterrompues et d'excellence scientifique.



Exploité par l'Institut hydrométéorologique tchèque, l'Observatoire de Košetice (49,58°N, 15,08°E, 534 m au-dessus du niveau de la mer) est situé dans une région agricole des montagnes de Bohême et de Moravie à faible densité de population. Il a été créé en 1988 en tant que station spécialisée dans la surveillance et l'étude de la qualité de l'environnement à l'échelle régionale en République tchèque. Les observations portent, entre autres, sur la qualité de l'air (NO_x, O₃, SO₂, CH₄, CO, COV, HAP, chimie de l'atmosphère) et certains aérosols et paramètres météorologiques. Le CH₄ est mesuré à la station par chromatographie en phase gazeuse, de façon ininterrompue depuis 1996. L'Observatoire fait désormais partie du Système européen intégré d'observation du carbone et mesure le CO₂ et le CH₄ avec du matériel de pointe.