



Organisation
météorologique
mondiale
Temps · Climat · Eau



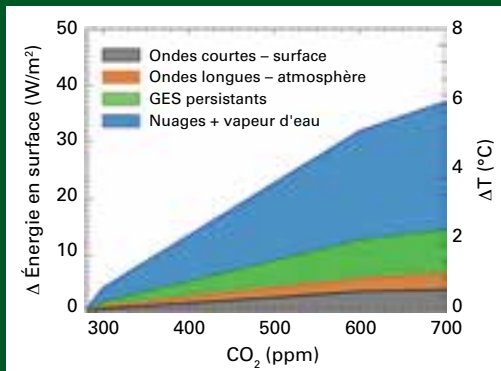
GLOBAL
ATMOSPHERE
WATCH

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 2014

N° 11 | 9 novembre 2015

ISSN 2078-080X



La vapeur d'eau et le dioxyde de carbone (CO₂) sont les principaux gaz à effet de serre (GES), le CO₂ étant le principal facteur d'évolution du climat. Les variations de la concentration de vapeur d'eau sont largement tributaires de l'évolution de la concentration de CO₂ dans l'atmosphère.

Certains gaz atmosphériques, tels que la vapeur d'eau et le dioxyde de carbone, absorbent et réémettent de l'énergie infra-rouge en direction de la surface terrestre. En raison de ce processus, connu sous le nom d'effet de serre, la température moyenne à la surface du globe est d'environ 33°K supérieure à ce qu'elle serait en l'absence de ces gaz. Cependant, ce sont les gaz à effet de serre non condensables (principalement le CO₂, mais aussi le méthane (CH₄), le protoxyde d'azote (N₂O) et les chlorofluorocarbures (CFC)), qui sont les agents de forçage. La vapeur d'eau et les nuages ont un effet amplificateur rapide, la vapeur d'eau réagissant promptement aux changements de température, par évaporation, condensation et précipitation. Les observations recueillies dans le cadre du Programme de la Veille de l'atmosphère globale (VAG) livrent de précieuses informations dans ce domaine.

Le rayonnement solaire incident de courtes longueurs d'onde est d'environ 340 W/m² au sommet de l'atmosphère; 30 % de ce rayonnement est réfléchi et renvoyé dans l'espace, principalement par les nuages, 20 % est absorbé par l'atmosphère et 50 % est absorbé par la surface de la Terre. Lorsque l'équilibre est atteint, le bilan des flux d'énergie incidents de courtes longueurs d'onde et sortants de grandes longueurs d'onde au

sommet de l'atmosphère est nul. À l'époque préindustrielle, le flux d'énergie à la surface était supérieur de 160 W/m² à ce qu'il était au sommet de l'atmosphère en raison de l'effet de serre. La figure montre l'évolution du bilan énergétique à la surface du globe par rapport à l'époque préindustrielle, sous l'effet des concentrations croissantes de CO₂. L'axe vertical sur la droite indique l'augmentation de la température à la surface qui est nécessaire pour atteindre l'équilibre entre le rayonnement incident (ondes courtes + ondes longues) et le rayonnement sortant (ondes longues).

La section verte de la figure représente l'énergie thermique à laquelle contribue un mélange homogène de gaz à effet de serre persistants, principalement le CO₂. La section bleue rend compte de la rétroaction de l'eau dans l'atmosphère, qui s'accroît à mesure que la concentration de CO₂ augmente. La forte rétroaction de la vapeur d'eau signifie que, dans l'hypothèse d'un doublement de la concentration de CO₂ par rapport aux valeurs préindustrielles (de quelque 280 à 560 ppm^[1]), la vapeur d'eau et la nébulosité entraîneraient, à l'échelle du globe, une augmentation de l'énergie thermique environ trois fois supérieure à celle induite par les gaz à effet de serre persistants (la figure est d'après Lacis et al., 2013).

Résumé

La toute dernière analyse des données d'observation recueillies dans le cadre du Programme de la Veille de l'atmosphère globale (VAG) de l'OMM révèle qu'à l'échelle du globe, les fractions molaires* du dioxyde de carbone (CO₂), du méthane (CH₄) et du protoxyde d'azote (N₂O) ont atteint de nouveaux pics en 2014, s'établissant respectivement à 397,7±0,1 ppm^[1], 1833±1 ppb^[2] et 327,1±0,1 ppb. Ces valeurs représentent respectivement 143 %, 254 % et 121 % des niveaux préindustriels (en 1750). Le taux d'accroissement du

CO₂ atmosphérique entre 2013 et 2014 est proche de la moyenne calculée sur les dix dernières années. Tant pour le CH₄ que pour le N₂O, la hausse relevée entre 2013 et 2014 est supérieure à celle constatée entre 2012 et 2013 et au taux moyen de progression de ces dix dernières années. Selon l'indice annuel d'accumulation des gaz à effet de serre dans l'atmosphère (AGGI) 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 36 % entre 1990 et 2014, le dioxyde de carbone étant à l'origine d'environ 80 % de cette augmentation.

* La fraction molaire peut être interprétée comme étant une mesure de la concentration.

Aperçu général

Le présent bulletin, le onzième 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 %^[3] 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 de l'atmosphère communiquées par les organismes 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 tableau 1 présente, pour 2014, les concentrations, moyennées à l'échelle du globe, des trois principaux gaz à effet de serre persistants et l'évolution de ces concentrations depuis 2013 et depuis 1750. Ces résultats sont le fruit de l'analyse (OMM, 2009) d'un ensemble

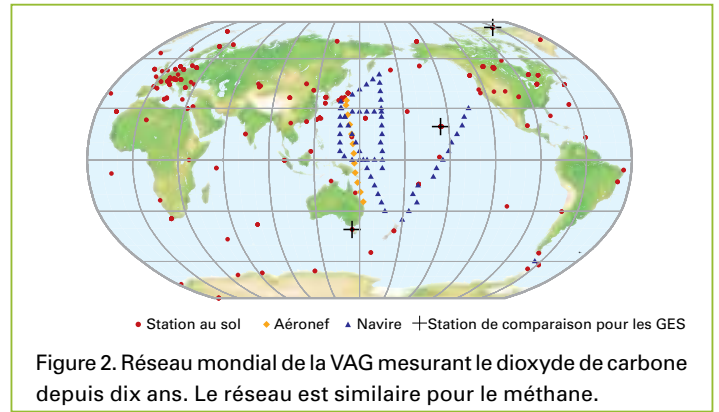


Figure 2. Réseau mondial de la VAG mesurant le dioxyde de carbone depuis dix ans. Le réseau est similaire pour le méthane.

de données pouvant être rapportées, pour chaque gaz, à l'étalon mondial de référence de l'OMM. Sont exclues de l'analyse les mesures provenant de stations mobiles, à l'exception des données d'échantillonnage de la NOAA en provenance de navires sillonnant l'océan Pacifique (triangles bleus dans la figure 2).

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 servent aussi à vérifier 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 de la NOAA s'établissait à 1,36 en 2014, soit une augmentation du forçage radiatif total induit par l'ensemble des gaz à effet de serre persistants de 36 % depuis 1990 et de 1,2 % entre 2013 et 2014 (figure 1). Ce forçage radiatif correspondait en 2014 à une fraction molaire de 481 ppm en équivalent CO₂ (<http://www.esrl.noaa.gov/gmd/aggi>).

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 %^[3] 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 83 % 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. En 2014, la teneur de l'atmosphère en CO₂ s'établissait à 143 % 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 PgC^[5] en 2013; voir <http://www.globalcarbonproject.org>), au déboisement et aux autres changements d'affectation des sols (0,9±0,5 PgC^[5] en 2013). L'augmentation de la teneur de l'atmosphère en CO₂ durant la dernière décennie 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 2014, la fraction molaire du CO₂ moyennée à l'échelle du globe s'est établie à 397,7±0,1 ppm (figure 3). L'augmentation moyenne de 1,9 ppm entre 2013 et 2014 est inférieure à la hausse survenue entre 2012 et 2013, et au taux d'accroissement moyen sur

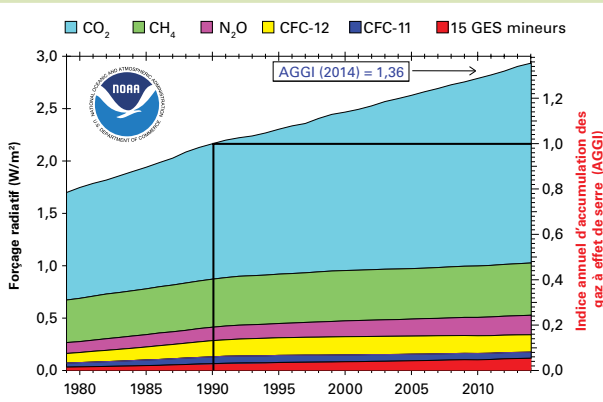


Figure 1. Forçage radiatif de l'atmosphère, par rapport à 1750, dû aux gaz à effet de serre persistants et valeur actualisée pour 2014 de l'indice annuel d'accumulation des gaz à effet de serre (AGGI) de la NOAA.

Tableau 1. Concentrations moyennes annuelles dans le monde (en 2014) 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 %.

	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Concentration mondiale en 2014 ^[4]	397,7±0,1 ppm	1833±1 ppb	327,1±0,1 ppb
Concentration en 2014 par rapport à l'année 1750 ^a	143 %	254 %	121 %
Augmentation en valeur absolue entre 2013 et 2014	1,9 ppm	9 ppb	1,1 ppb
Augmentation en % entre 2013 et 2014	0,48 %	0,49 %	0,34 %
Augmentation annuelle moyenne en valeur absolue depuis 10 ans	2,06 ppm/an	4,7 ppb/an	0,87 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: 122 pour le CO₂, 123 pour le CH₄ et 33 pour le N₂O.

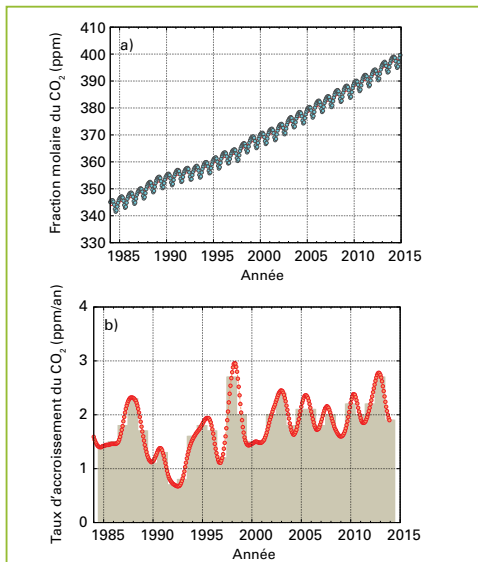


Figure 3. Évolution de la valeur moyenne, à l'échelle du globe, de la fraction molaire du CO_2 a) et de son taux d'accroissement b) pendant la période comprise entre 1984 et 2014. Les taux d'accroissement annuels moyens sont représentés sous forme de colonnes en b).

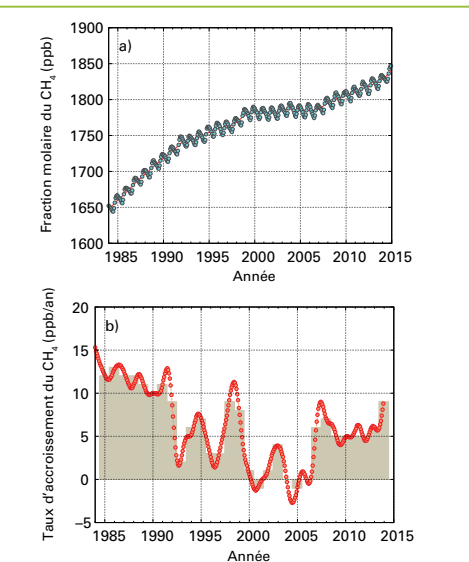


Figure 4. Évolution de la valeur moyenne, à l'échelle du globe, de la fraction molaire du CH_4 a) et de son taux d'accroissement b) pendant la période comprise entre 1984 et 2014. Les taux d'accroissement annuels moyens sont représentés sous forme de colonnes en b).

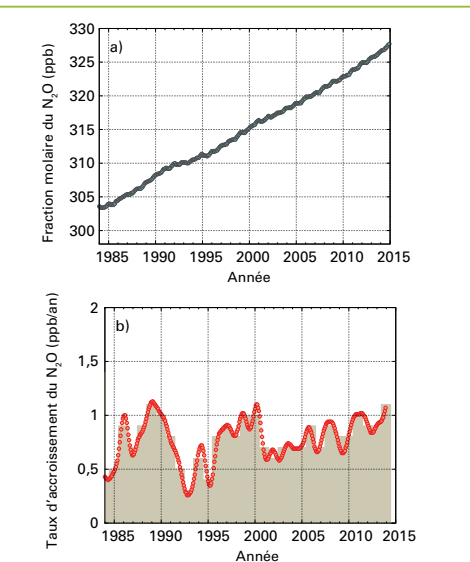


Figure 5. Évolution de la valeur moyenne, à l'échelle du globe, de la fraction molaire du N_2O a) et de son taux d'accroissement b) pendant la période comprise entre 1984 et 2014. Les taux d'accroissement annuels moyens sont représentés sous forme de colonnes en b).

les dix dernières années (environ 2,06 ppm/an), mais supérieure à la progression moyenne au cours des années 1990 (environ 1,5 ppm/an). Cette baisse du taux d'accroissement en 2014 par rapport aux années précédentes s'explique très probablement par une absorption annuelle accrue de CO_2 par la biosphère terrestre dans les régions tropicales et subtropicales.

Méthane (CH_4)

Le méthane contribue pour quelque 17 %^[3] 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 CH_4 atmosphérique a atteint en 2014 254 % du niveau qu'il avait à l'époque préindustrielle (environ 722 ppb) du fait de l'accroissement des émissions anthropiques. Moyennées à l'échelle du globe, les valeurs du CH_4 ont atteint un nouveau pic en 2014 – 1 833 ± 1 ppb – soit une augmentation de 9 ppb par rapport à l'année précédente (figure 4). Après avoir atteint quelque 13 ppb par an au début des années 80, le taux d'accroissement 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 augmente à nouveau, en raison d'une hausse des émissions aux latitudes tropicales et moyennes de l'hémisphère Nord. Les mesures du CH_4 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 (N_2O)

Le protoxyde d'azote contribue pour quelque 6 %^[3] 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 N_2O 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 N_2O moyennée à l'échelle du globe a atteint 327,1 ± 0,1 ppb en 2014, soit 1,1 ppb de plus que l'année précédente (figure 5) et 121 % du niveau qu'elle avait à l'époque préindustrielle (270 ppb). Le taux d'accroissement annuel entre 2013 et 2014 est supérieur à la moyenne calculée sur les dix dernières années (0,87 ppb/an).

Autres gaz à effet de serre

L'hexafluorure de soufre (SF_6) 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 %^[3] au forçage radiatif induit par les gaz à effet de serre persistants. Si les CFC et la plupart des halons sont en diminution, les hydrochlorofluorocarbures (HCFC) et les 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], figure 6 a) et b)).

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

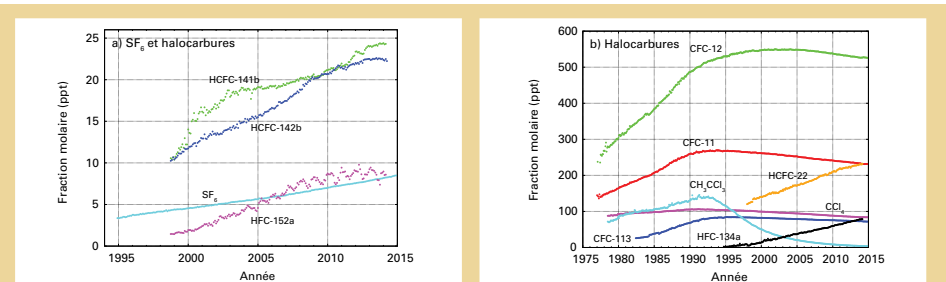


Figure 6. Évolution de la fraction molaire mensuelle moyenne de l'hexafluorure de soufre (SF_6) et des principaux halocarbures: a) SF_6 et halocarbures aux faibles fractions molaires; b) halocarbures aux fractions molaires plus élevées. Nombre de stations utilisées pour les analyses: SF_6 (23), CFC-11 (24), CFC-12 (24), CFC-113 (23), CCl_4 (21), CH_3CCl_3 (23), HCFC-141b (9), HCFC-142b (13), HCFC-22 (13), HFC-134a (9) et HFC-152a (8).

le monoxyde de carbone (CO), 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.

Diffusion des bulletins

Le Secrétariat de l'OMM élabore et diffuse ces bulletins en collaboration avec le Centre mondial de données relatives aux gaz à effet de serre (CMDGS), hébergé par le Service météorologique japonais, et le Groupe consultatif scientifique pour les gaz à effet de serre relevant de la VAG; il bénéficie également du concours du Laboratoire de recherche sur le système terrestre (ESRL) de la NOAA. On peut consulter les bulletins sur la page Web du Programme de la VAG et sur la page d'accueil du CMDGS.

Remerciements et sites Internet

Cinquante pays Membres de l'OMM ont transmis des données sur le CO₂ 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 ESRL de la NOAA. Pour les autres réseaux et stations, voir le compte rendu de la seizième réunion OMM/AIEA sur le dioxyde de carbone, les autres gaz à effet de serre et les techniques de mesure correspondantes (rapport N° 206 de la série consacrée à la VAG, disponible en anglais à l'adresse <http://www.wmo.int/gaw>). 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/wdcgg/>). Elles sont par ailleurs décrites dans le système d'information sur les stations de la VAG (GAWSIS) (<http://gaw.empa.ch/gawsis/>) administré par MétéoSuisse (Suisse).

Références

- Lacis, A.A., J.E. Hansen, G.L. Russell, V. Oinas et J. Jonas, 2013: The role of long-lived greenhouse gases as principal LW control knob that governs the global surface temperature for past and future climate change. *Tellus B*, **65**, 19734, doi:10.3402/tellusb.v65i0.19734.
- 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, *J. Geophys. Res.*, **99**:22831–22855.
- OMM, 2009: *Technical Report of Global Analysis Method for Major Greenhouse Gases by the World Data Centre 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, 29 p.

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

^[2] ppb = nombre de molécules du gaz considéré par milliard (10⁹) de molécules d'air sec.

^[3] 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.

^[4] Les marges d'incertitude indiquées sont calculées selon une méthode «bootstrap» d'après Conway *et al.* (1994). Le degré d'incertitude est calculé avec un intervalle de confiance à 68 % (un écart type).

^[5] 1 PgC = 1 GtC = 1 milliard (10⁹) de tonnes ou 10¹⁵ grammes de carbone.

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

Quelques observatoires des gaz à effet de serre



La station d'Izaña (28,31°N, 16,50°W, 2373 m au-dessus du niveau de la mer, <http://izana.aemet.es>) est située au sommet d'une montagne de Tenerife (îles Canaries, Espagne), bien au-dessus d'une couche subtropicale de forte inversion des températures. Elle est exploitée

par le Centre de recherche sur l'atmosphère d'Izaña (IARC), qui relève du Service météorologique espagnol (AEMET). Les observations *in situ* des gaz à effet de serre ont débuté à Izaña en 1984 pour le CO₂ et le CH₄, et en 2007 pour le N₂O et le SF₆. De plus amples informations sur le programme d'observation de la station figurent dans le rapport *Izaña Atmospheric Research Center. Activity Report 2012–2014* (rapport de la VAG N° 219, 2015).

La station d'Anmyeondo (AMY) (36,54°N, 126,33°E, 46 m au-dessus du niveau de la mer), exploitée par l'Administration météorologique coréenne, est située sur la côte ouest de la péninsule coréenne. Elle subit l'influence des masses d'air continentales de l'hiver au printemps, et des masses d'air maritimes issues du Pacifique Nord durant l'été. Depuis 1999, la station mesure le CO₂ et le CH₄ à l'aide d'un spectromètre CRDS (spectroscopie à temps de déclin d'une cavité optique), tandis que pour le N₂O, les CFC et le SF₆, elle se sert d'un chromatographe en phase gazeuse couplé à un détecteur à capture d'électrons. Dans le cadre de sa collaboration avec la NOAA via le réseau d'échantillonnage en flacons, la station AMY recueille des données sur la composition isotopique du CO₂.



La station du Puy de Dôme (PUY) (45,77°N, 2,97°E, 1465 m au-dessus du niveau de la mer), en France, est exploitée par le Centre national de la recherche scientifique (CNRS) et l'Université Blaise Pascal (www.opgc.fr/SO/mesures/index.php). L'air y est représentatif de la composition de l'atmosphère à l'échelle synoptique régionale, et les fractions molaires du CO₂ sont mesurées de façon continue à

la station depuis l'an 2000. Un analyseur NDIR (analyseur de gaz non dispersifs dans l'infrarouge), utilisé à partir de cette même année, a été remplacé en 2011 par un instrument CRDS qui mesure à la fois le CO₂ et le CH₄ (<https://icos-atc.lsce.ipsl.fr/PUY>). Depuis 2010, le CO₂, le CH₄, le N₂O et le SF₆ sont aussi mesurés à l'aide d'un chromatographe en phase gazeuse. Les gaz à effet de serre continueront d'être observés au sommet du Puy de Dôme dans le cadre de l'Infrastructure de recherche européenne ICOS (Système intégré d'observation du carbone), et des audits de ces observations par l'OMM comme par l'ICOS sont prévus pour 2016.

Contacts

Organisation météorologique mondiale

Division de la recherche sur l'environnement atmosphérique, Département de la recherche, Genève
Courriel: AREP-MAIL@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>