

Le Système Mondial d'Observation du Climat et la surveillance des gaz à effet de serre Contribution française

The French contribution to the Global Climate Observing System and to the monitoring of greenhouse gases

R. JUVANON DU VACHAT

Résumé

Le Système Mondial d'Observation du Climat (SMOC) a pour but la surveillance du climat planétaire. La contribution française au SMOC a été recensée en 2009 avec la 5^e Communication Nationale de la France à la Convention Climat (www.unfccc.int). Cette observation concerne les quatre domaines pertinents pour le climat : l'atmosphère et sa composition, l'océan, la couverture terrestre (dont les glaciers) et l'espace (observation satellitaire). Cette présentation se limite aux réseaux d'observation de l'atmosphère et de sa composition en gaz à effet de serre. Quelques exemples illustrent cette surveillance du climat. Enfin la nécessité de disposer de longues séries d'observation, l'importance et le rôle du SMOC pour la surveillance du climat planétaire dans ses diverses composantes sont soulignés en conclusion.

Mots-clés

Observation du climat, système mondial, communication nationale, gaz à effet de serre.

Abstract

The French contribution to the Global Climate Observing System (GCOS) is presented. The aim of such programme is the climate monitoring in four domains: atmosphere, ocean, terrestrial domain (vegetation cover, glaciers) and the spatial domain. An inventory of all these observations for climate has been compiled in 2009 for the 5th National Communication under the United Nation Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). Here we only consider the climate observations for the atmosphere and its composition in greenhouse gases. The monitoring of the atmosphere and its composition is illustrated by a few examples. The importance of long-term records is emphasized. We conclude on the role and the importance of the GCOS programme for monitoring the earth climate in its different components.

Keywords

Climate observations, global system, national communication, greenhouse gases.

Introduction

En novembre 2009, la Direction Générale Énergie et Climat (DGEC, ministère de l'Écologie) a remis la 5^e Communication Nationale à la Convention Climat (UNFCCC), qui contient un chapitre consacré à la Recherche et à l'Observation Systématique [DGEC, 2009]. Ce chapitre présente les programmes français de recherche et d'observation sur le changement climatique et illustre la contribution française au Système Mondial d'Observation du Climat (SMOC, GCOS en anglais). Cette observation climatique couvre quatre domaines : l'atmosphère et sa composition physico-chimique, l'océan, la couverture du globe terrestre, incluant les glaciers, enfin l'observation spatiale, qui couvre aussi tous ces domaines. Dans cette communication nationale, on recense les réseaux français d'observation pertinents dans ces domaines

et on vérifie qu'ils permettent le suivi du climat et de son évolution en référence à la Convention Climat (Rio, 1992) et au Protocole de Kyoto (1997).

Le concept du SMOC a émergé après la 2^e conférence mondiale sur le climat à Genève en 1990, comme la nécessité de disposer d'un système intégré (atmosphère, océan, surfaces terrestres) pour surveiller le climat. C'est à la fois pour clarifier les discussions sur l'origine anthropique du changement climatique évoquée lors du 1^{er} rapport du GIEC [1990] et aussi parce que les systèmes d'observation météorologique se détérioraient dans les pays industrialisés comme dans les pays en développement que la Convention Climat lance ce programme du SMOC en 1992 sous la responsabilité de l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM), du Programme des Nations Unies pour l'Environnement, de la Commission

Océanographique Intergouvernementale, et du Conseil International pour la Science. On se limite ici à l'observation de l'atmosphère et de sa composition en gaz à effet de serre, en renvoyant à la 5^e Communication Nationale [DGEC, 2009 ; Juvanon du Vachat, 2011a, b] pour les autres volets, avec quelques exemples d'application. Pour finir, le rôle que joue le programme international du SMOC pour la surveillance globale du climat de la planète est souligné à travers ses activités les plus marquantes au service de la Convention Climat et en lien avec les programmes de recherche et opérationnels sur le climat.

Observation atmosphérique

L'observation atmosphérique comprend le réseau météorologique de surface (GSN), le réseau d'altitude (GUAN) et des mesures physico-chimiques de l'atmosphère (GAW).

Le réseau météorologique

Le réseau météorologique de surface (GSN pour *GCOS Surface Network*) comprend depuis 1999 les 6 stations suivantes en France métropolitaine : Rennes, Strasbourg, Bourges, Toulouse, Marseille et le Mont-Aigoual (station de montagne). Ces stations font partie du réseau synoptique de base de l'OMM, pour la diffusion des données. De ce fait, les séries de données anciennes (moyennes mensuelles et quotidiennes) ainsi que les métadonnées et les données journalières, sous forme de messages CLIMAT sont régulièrement fournies au Centre climatique mondial d'Asheville (USA). Ces stations d'observation ont été choisies pour la longueur de leur série, comme celle de Paris-Montsouris qui remonte à 1873 pour les mesures proprement dites. Pour l'étude des topoclimats, on a identifié 15 stations supplémentaires pour tenir compte du relief de la France métropolitaine.

Pour la France d'outre-mer, le réseau de surface GSN comprend les 14 stations suivantes. Ce sont : Cayenne-Rochambeau* pour la Guyane ; Le Raizet pour la Guadeloupe ; Gillot* pour la Réunion ; pour l'océan Indien et les Terres australes : Dzaoudzi-Pamanzi (Mayotte), Martin de Vivies (île Amsterdam), Port-aux-Français* (île Kerguelen) ; pour l'Antarctique : Dumont d'Urville* ; pour la Nouvelle-Calédonie : Koumac, Nouméa*, Hififo (île Wallis) ; pour la Polynésie Française : Atuona*, Tahiti-Faaa*, Rikitea, Tubuai et Rapa*. Le réseau météorologique d'altitude par radiosondage GUAN (*GCOS Upper Atmospheric Network*) comprend les 9 stations précédentes suivies d'un astérisque (*).

Le choix de ces stations a été effectué pour respecter une certaine homogénéité globale et les standards de qualité d'observation. Il n'y a pas de station d'altitude GUAN en métropole. Les contraintes budgétaires pourraient réduire cette densité à l'avenir, en métropole et outre-mer, où les stations ont été créées dans les années 1960 en partie pour sur-

veiller les essais atomiques. Le réseau mondial du SMOC comprend 1 023 stations de surface (GSN) et 171 en altitude (GUAN) au 1^{er} janvier 2012 (figures 1 et 2 extraites du site OMM du SMOC).

Tendance de température en France sur le siècle

L'analyse des longues séries d'observation de température a permis après homogénéisation des données de déterminer l'évolution du climat sur la France depuis 100 ans. La température moyenne annuelle T_m a augmenté de 0,7 °C à 1 °C suivant les régions. Ainsi à Paris-Montsouris (où la série de températures remonte jusqu'à 1873), on estime pour la période 1901-2000 une variation de 0,77 °C (figure 3, Moisselin *et al.*, 2002). On observe aussi à Paris-Montsouris que les années les plus chaudes se situent dans la période la plus récente avec trois valeurs au-dessus de 13 °C depuis 1990 et aucune auparavant. D'après l'article, en comparant avec les séries voisines, on ne peut attribuer ce réchauffement à la seule urbanisation, ce qui est conforme au GIEC, qui estime à environ 10 % la part du réchauffement due à l'urbanisation dans le réchauffement planétaire.

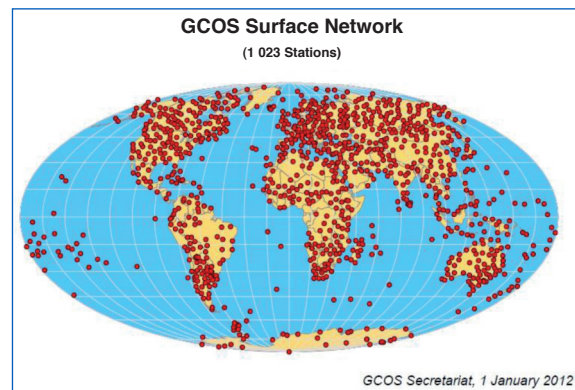


Figure 1.
Réseau atmosphérique de surface GSN (GSN, www.wmo.int/pages/prog/gcos).
GCOS Surface Network.

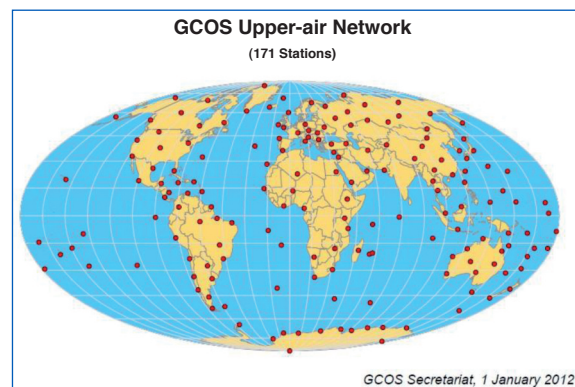


Figure 2.
Réseau atmosphérique d'altitude GUAN (GUAN, www.wmo.int/pages/prog/gcos).
GCOS Upper Air Network.

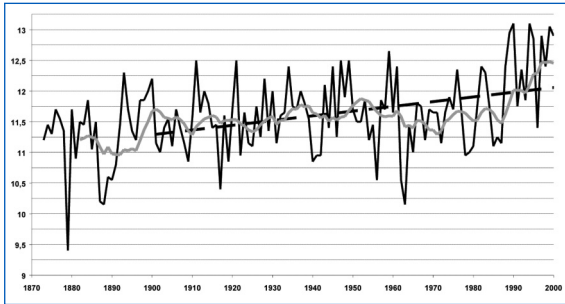


Figure 3.

Évolution de 1873 à 2000 des températures moyennes annuelles (°C) à Paris-Montsouris (noir continu) ; moyenne glissante sur 15 ans (grisé) ; tendance 1901-2000 (traits discontinus).
 Evolution from 1873 to 2000 of the annual mean temperature at Paris-Montsouris (continuous line); with slipping mean over 15 years (grey); tendency 1901-2000 (discontinuous line).

Autres paramètres météorologiques

Suivant les lignes directrices du SMOC (révisées à Bali en 2008), d'autres paramètres météorologiques (vent, précipitations) font l'objet d'un suivi et d'un contrôle. L'ensemble de l'observation météorologique en France a fait l'objet d'une certification qualité qui lui permet de satisfaire aux dix principes de bonne

pratique du SMOC (voir le site du SMOC : « *GCOS monitoring principles* »). L'évolution des précipitations sur la France a également été étudiée depuis 50 ans environ et n'a pas indiqué de tendance particulière [Moisselin *et al.*, 2002].

Réseau physico-chimique de la VAG

La Veille de l'Atmosphère Globale (VAG, en anglais GAW) mesure la physico-chimie de l'atmosphère. Pour la France, l'ozone est mesuré à l'Observatoire de Haute-Provence et à celui de Bordeaux, outre-mer à Dumont d'Urville (Antarctique), à Saint-Denis de la Réunion et dans l'île Kerguelen. Ces stations appartiennent au réseau de surveillance de la stratosphère NDACC. Voici une synthèse de 30 ans d'observation du programme BAPMoN sur l'acidité des précipitations maintenant arrêté, avant de revenir au CO₂ avec le réseau RAMCES au § 2.

La composition chimique des précipitations a été suivie de 1977 à 2009 sur les trois stations du réseau Météo-France (Abbeville, Carpentras et Gourdon) dans le cadre du programme BAPMoN de surveillance de la pollution de fond. Sur cette période, on observe une baisse de l'acidité qui revient au niveau naturel des eaux de pluie. Les dépôts de sulfate, source d'acidité, diminuent jusqu'en 1990 puis se stabilisent, alors que les dépôts de nitrate et d'ammonium restent stables. Deux autres réseaux surveillent la qualité des

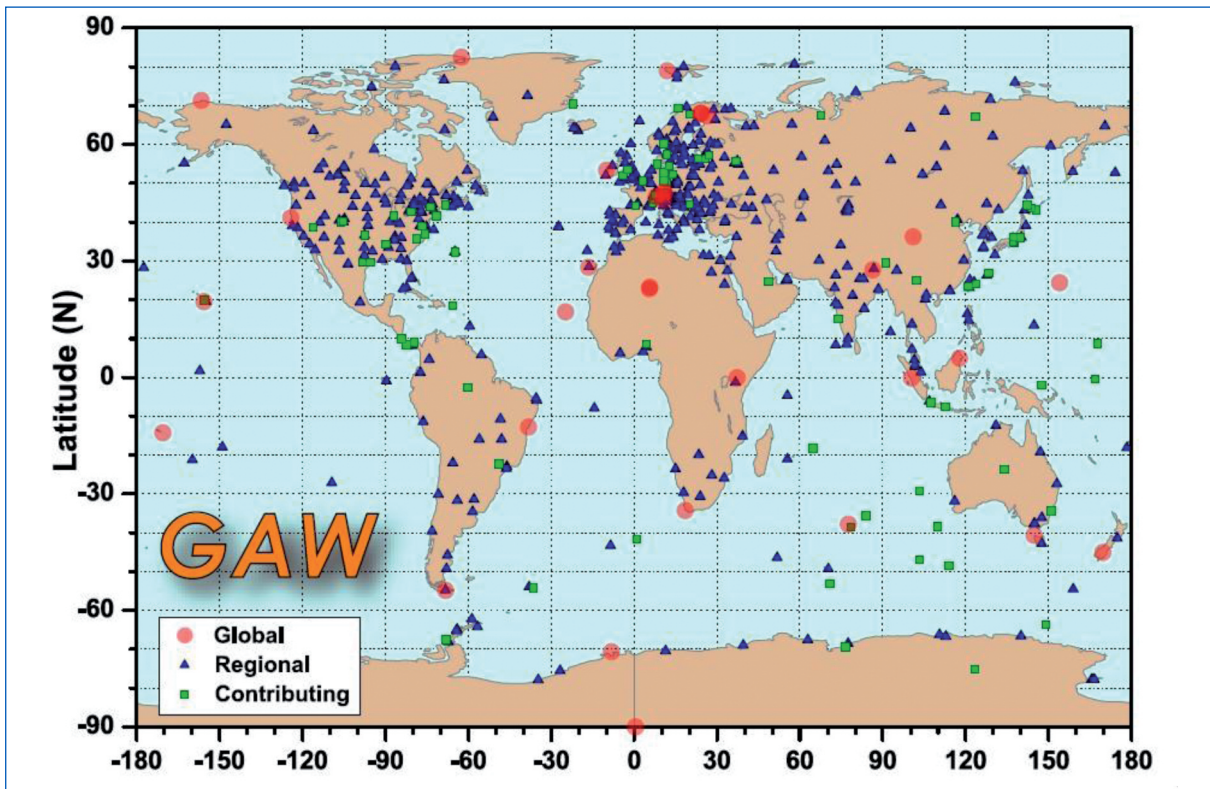


Figure 4.

Veille Atmosphérique Globale (VAG) avec les trois types de stations (globales, régionales, supplémentaires).

Global Atmosphere Watch (GAW) with three types of stations (global, regional, contributing). (www.wmo.int/pages/prog/gcos)



Figure 5.

Veille Atmosphérique Globale (VAG) : stations globales de référence.
 Global Atmosphere Watch (GAW) : global reference stations.
www.wmo.int/pages/prog/gcos

précipitations en France : MERA créé en 1984 (9 stations en 2010) ; CATAENAT créé en 1992 (8 stations en 2010) avec des évolutions similaires au réseau BAPMoN [Le Moullec et Mezdoor, 2011].

Le réseau RAMCES pour le suivi des gaz à effet de serre

Le suivi à long terme des gaz à effet de serre est effectué par le réseau RAMCES qui est opéré par le LSCE. Son objectif est de comprendre le cycle des gaz à effet de serre (CO_2 , CH_4 , N_2O) et leur rôle au sein du système climatique pour la France et les régions voisines. À partir de mesures régulières et précises de ces gaz sur un réseau global d'observatoires, on déduit la distribution spatio-temporelle des sources et des puits. Ces observatoires de la VAG sont situés en général loin des villes et des pollutions industrielles, comme Mauna Loa qui est un piton volcanique sur l'île d'Hawaï, au beau milieu du Pacifique, où les premières mesures de gaz carbonique ont été réalisées ! D'autres observatoires régionaux s'y ajoutent, ainsi que des observatoires « *contributing* » qui donnent des mesures additionnelles. La figure 4 présente ces trois types d'observatoires, et la figure 5 les observatoires globaux de référence.

Le but du réseau RAMCES est d'estimer le bilan de gaz carbonique (ou d'un autre gaz) sur une grande région et sa variabilité pour vérifier les politiques de contrôle ou de réduction des émissions de gaz à effet de serre dans le cadre du Protocole de Kyoto. Il permet ainsi un suivi des sources au niveau d'un continent, puis au niveau régional, voire même sur une région

industrielle ! Cependant cet objectif n'est pas encore atteint, comme l'indiquent Ciais et Moore [2007] qui se placent dans le cadre de la vérification des engagements du Protocole de Kyoto. On trouvera une présentation vulgarisée du réseau RAMCES dans la brochure *Clefs du CEA* n° 57 intitulée « Terre et environnement » avec l'article de Ramonet et Cloué [2008].

Les observatoires du réseau RAMCES

Deux observatoires de mesures en continu du CO_2 existent depuis 1981 sur l'île Amsterdam et depuis 1992 à Mace Head (Irlande), qui sont des stations de référence de la VAG. S'y ajoutent en 2001 les observatoires de Saclay et du Puy de Dôme, pour disposer de sites aux environnements variés (urbain, rural, marin). Le suivi du N_2O , troisième principal gaz à effet de serre, a débuté en 2000. Depuis 1996, le LSCE effectue des prélèvements réguliers par avion de 0 à 3 000 m au-dessus d'Orléans (atmosphère de fond en région continentale). Ces données permettent de quantifier la variabilité saisonnière du CO_2 dans la basse troposphère. On trouvera des bilans régionaux des flux de CO_2 sur différentes grandes régions : Amérique, Asie ou Europe, dans Bousquet *et al.* [2000] ou plus récemment dans Ramonet *et al.* [2010].

Réseau RAMCES dans l'océan Indien

Pour densifier le réseau dans des régions clés, le choix s'est porté sur l'océan Indien. Il s'agit du Service d'observation OISO [Metzl, 2002] basé sur le navire océanique Marion-Dufresne, avec 3 stations de prélèvement d'air en flacons : la Réunion, Tromelin (depuis 1997) et les Maldives. Ces stations complétées par

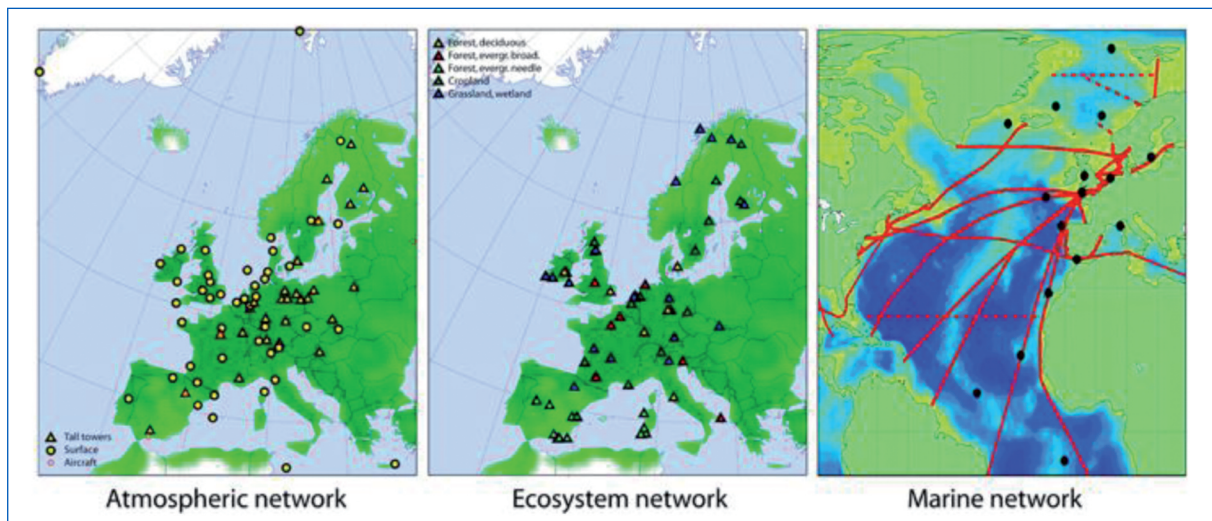


Figure 6.

Implantation des divers systèmes de mesures de la stratégie européenne ICOS de surveillance du carbone.
 Mapping of the different measuring systems for monitoring carbon fluxes within the European strategy ICOS.
www.icos-infrastructure.eu

l'île Amsterdam (continu) et les îles Crozet permettent une bonne caractérisation du rôle de cette région dans le cycle du carbone.

Les programmes FLUXNET et Carbo-Europe

Les mesures de flux de carbone dans les écosystèmes terrestres sont effectuées dans le cadre du programme international *Fluxnet* [Baldocchi *et al.*, 2001] et des divers programmes européens associés au projet *Carbo-Europe* [cf. Juvanon du Vachat, 2003]. La France dispose de 6 sites expérimentaux de caractéristiques de surface différentes qui ont servi lors de l'expérience régionale CERES (*Carbo-Europe Regional Experimental Strategy*) de suivi des flux de carbone, qui s'est déroulée en mai 2007 dans les Landes [Dolman *et al.*, 2008].

Grâce à ces dispositifs de mesure, Ciais *et al.* [2005] ont pu démontrer que la baisse du stockage de

CO₂ par les plantes lors de l'épisode de la canicule 2003 a annulé l'effet de 4 ans de stockage (avec une réduction de 30 % de la production primaire lors de cette canicule). L'évolution récente de la concentration en méthane qui s'était stabilisée et qui augmente à nouveau depuis les années 1990 fait l'objet de discussions au sein de la communauté scientifique et démontre l'insuffisance de ce réseau d'observation [Bousquet *et al.*, 2006].

Le programme européen ICOS

Le programme européen ICOS vise à porter de 14 à 30 les observatoires du CO₂ au-dessus du continent européen, avec le soutien financier du 7^e Programme Cadre de l'Union européenne pour les infrastructures. Il fédère les activités de 17 laboratoires européens sous la direction du CEA et vise une approche intégrée pour estimer et contrôler le bilan net de carbone en Europe depuis l'échelle mensuelle jusqu'à l'échelle décennale. C'est un véritable réseau paneuropéen de suivi des gaz à effet de serre qui unifie les réseaux de mesures du CO₂ en Europe, complétés par des mesures par avion. On peut, grâce à des techniques de mesure sophistiquées (traceurs multiples, isotopes du carbone...), séparer les différentes origines des flux de carbone et identifier la part anthropique. La figure 6 montre l'implantation des divers points de mesure des trois composantes de ce réseau (terrestre, écosystèmes, marin).

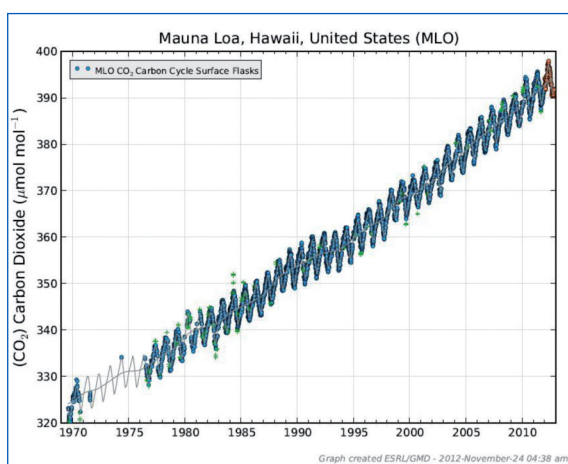


Figure 7.

Courbe d'évolution du CO₂ au site de Mauna Loa (Hawaï, USA) depuis 1970.

Time evolution of CO₂ concentration at Mauna Loa (Hawaï, USA) since 1970.

Historique de la mesure du CO₂

Rochas [2011] retrace l'histoire de la mesure du CO₂ atmosphérique, en pointant la difficulté de cette mesure due à la grande variabilité de sa concentration dans l'atmosphère. Les premières mesures ont été faites en Scandinavie dans les années 1950 avant l'Année géophysique internationale (1957-1958) par

Charles David Keeling (décédé en 2005) qui a fait œuvre de pionnier dans ce domaine. Il a d'ailleurs laissé son nom à cette fameuse courbe : « Courbe de Keeling », qui est devenue une icône (figure 7). En réalité, il a révolutionné ces mesures en y introduisant des méthodes physiques, et a rencontré beaucoup de difficultés pour faire reconnaître son programme de mesure comme activité de recherche auprès des organismes de financement. La revue *Nature* a consacré un numéro spécial en décembre 2007 au 50^e anniversaire du début de ces mesures (vol. 450, n° 7171 du 6 décembre 2007) sur le thème « Earth monitoring; patching together a worldview; half a century of the Keeling CO₂ curve ». On y trouve l'article « Cinderella Science » par Nisbet [2007] qui évoque le problème de la mesure des gaz à effet de serre (CO₂, N₂O, etc.), en soulignant l'insuffisance de ces mesures (qualité, quantité) pourtant essentielles pour valider le Protocole de Kyoto. Cet article souligne la difficulté de maintenir les réseaux d'observation de qualité, suite aux réductions budgétaires et surtout pour la raison que cette activité d'observation est moins reconnue et médiatisée que la modélisation ! Ceci rejoint un problème plus général : le manque de visibilité médiatique et scientifique du SMOC, quand on le compare au GIEC, alors que les données d'observation jouent un rôle important dans ses rapports d'évaluation (3 chapitres dans le Groupe I traitent des observations) et dans les conférences climat où ils constituent un témoin essentiel de l'évolution du climat, comme l'évolution de la banquise arctique d'été !

Pour conclure de façon plus positive : la courbe de l'évolution temporelle du CO₂ atmosphérique démontre l'augmentation régulière et inexorable du gaz carbonique dans l'atmosphère comme la courbe de Keeling à Mauna Loa (figure 7). Ainsi, la concentration y était de 315 ppm au début des mesures en 1957, pour arriver à 389 ppm en sept. 2012, et à 400 ppm en mai 2013. Enfin, sur ces mesures du cycle du carbone et des bilans régionaux, on pourra lire la contribution de Ciais et Moore [2007] sur le cycle global du carbone. Ces auteurs évoquent notamment la situation du méthane dont la concentration dans l'atmosphère s'est stabilisée puis s'est remise à croître vers 1990, pour des raisons non clairement élucidées (peut-être une densité insuffisante de mesures, cf. Nisbet et Manning, 2009).

Signalons pour terminer l'alerte lancée par 52 chercheurs de 10 pays différents dans la revue *Science* (août 2012) sur les risques d'interruption des mesures de CO₂ à Mauna Loa suite à des restrictions budgétaires (*La Météorologie* n° 79, 2012, p. 2).

Sites d'information et remarques générales

Sites d'information des gaz à effet de serre

Les sites Internet de l'OMM et de l'UNFCCC (Convention Climat) fournissent toutes les informations sur les gaz à effet de serre. Ainsi, l'OMM publie

chaque année un bulletin spécial des gaz à effet de serre depuis une dizaine d'années. Par ailleurs, la Convention Climat fait obligation à chaque pays, partie à la convention, de faire un inventaire annuel des émissions de gaz à effet de serre. En France, c'est le CITEPA qui le réalise. Enfin, il faut aussi mentionner qu'à côté des trois groupes scientifiques du GIEC, il y a un groupe de travail (*Task force*) sur les inventaires qui définit les « bonnes méthodes » pour réaliser ces inventaires !

Remarques générales sur l'Observation du climat

Cet article donne une vue récente de la contribution française au SMOC, en se limitant à l'observation atmosphérique et aux gaz à effet de serre. Pour les volets océanographique et spatial, on renvoie au chapitre VIII de la 5^e Communication Nationale [DGEC, 2009 ; site : www.developpement-durable.gouv.fr] où se trouve présenté l'ensemble des programmes de recherche et d'observation sur le changement climatique. Pour le volet terrestre de surveillance des glaciers, qui sont un indicateur du changement climatique, voir Francou et Vincent [2007] qui donnent une vue globale de l'évolution des glaciers, ou Juvanon du Vachat [2011b] pour la contribution française spécifique. Enfin, pour une synthèse de la contribution française du SMOC en anglais, voir Juvanon du Vachat [2011a].

Voici des remarques qu'inspire cet exercice de Communication Nationale sur le SMOC. La pérennisation de l'observation est importante pour la surveillance à long terme du climat, et le concept d'Observatoire de Recherche en Environnement (ORE) répond à cette obligation, comme l'Observatoire RAMCES évoqué plus haut. Un autre exemple est donné par les longues séries de température et de précipitation en France (cf. Rousseau, ce volume).

Un autre observatoire important est l'Observatoire National des Effets du Réchauffement Climatique (créé par la loi du 19 février 2001) qui permet de suivre les impacts du changement climatique en France et de préparer les adaptations nécessaires. Sur son site (www.onerc.gouv.fr) figurent de nombreux indicateurs dont l'Observatoire assure le suivi. Indiquons cependant que le réseau du SMOC n'a pas une échelle spatiale suffisante pour suivre les impacts et permettre l'adaptation, mais aussi qu'il observe des variables climatiques de base (dites « essentielles ») et pas des indicateurs du changement climatique (même si certains en sont voisins comme les glaciers).

La dualité observation globale par satellite *versus* observation *in-situ* a milité en Europe pour construire le système GMES (*Global Monitoring for Environment and Security*). Ce cadre européen est naturel pour les observations liées au carbone, avec les projets Carbo-Europe et ICOS qui sont financés par les Programmes Cadre de l'Union européenne.

La télédétection des gaz à effet de serre est fortement souhaitée dans la mesure où elle s'intéresse à l'environnement global, avec cette plateforme d'observation naturelle qu'est le satellite. Bréon et Ciais (2010) font le point sur les instruments TOVS, AIRS, IASI et SCIAMACHY pour le dioxyde de carbone et le méthane. Il faut y ajouter deux satellites. Le satellite japonais GOSAT (sigle qui signifie : « satellite de mesures de gaz à effet de serre ») a été lancé en janvier 2009, et une conférence de résultats sur les mesures de CO₂ et CH₄ a eu lieu fin 2012 ! Enfin la mission américaine OCO (*Orbiting Carbon Observatory*) de la NASA a échoué au lancement en février 2009 et son remplaçant OCO-2 sera mis sur orbite mi-2014 !

Cadre institutionnel du SMOC

L'article de synthèse [Houghton *et al.*, 2012] donne un éclairage institutionnel sur le SMOC à l'occasion des 20 ans de ce programme (1992-2012) et explique ses liens avec les grands programmes internationaux sur le climat : le Programme Mondial de Recherche sur le Climat pour l'aspect recherche, et le Programme Climatique Mondial pour l'aspect opérationnel. Cet article situe le SMOC dans la suite de la 3^e conférence mondiale sur le climat [WCC-3, sept. 2009] et dans le cadre des nouveaux services climatiques de l'OMM. Enfin, il donne la liste des 48 variables climatiques essentielles, avec des cartes représentant la densité d'observation dans les trois domaines : atmosphère (14 variables), océan (18), couverture terrestre (16).

Le SMOC et les pays en développement

Insistons pour terminer sur le fait que ce programme du SMOC est né en 1992, l'année de la signature de la Convention Climat à Rio [1992] et qu'il a été en partie motivé par la nécessité d'arrêter le déclin des réseaux d'observation météorologique dans les pays en développement (en Afrique et en Amérique latine notamment), ce qui pouvait jeter un

doute sur la capacité de surveillance du climat au niveau mondial ! Sur ce point, il est important de souligner que c'est le programme scientifique international AMMA qui a remis en fonctionnement les radiosondages en Afrique de l'Ouest [Parker *et al.*, 2008] plus que les recommandations de l'OMM, même si un programme de dix ateliers régionaux a été mené au sein du SMOC !

Conclusion

Le programme SMOC d'observation et de suivi du climat a fêté ses 20 ans d'existence en 2012 ; il a en effet été initié à l'époque de la signature de la convention climat [Rio, 1992]. Ce programme est essentiel pour le suivi du climat à l'échelle de la planète, et cet article a présenté la contribution française. Il a un caractère composite comme le climat avec quatre domaines (atmosphère et sa composition, océan, couverture terrestre et glaciers, observation depuis l'espace) et cet article s'est limité au premier domaine qui concerne notamment le suivi des gaz à effet de serre en signalant les contributions spatiales. Comme tout programme d'observation il est difficile à justifier auprès des organismes de financement, pourtant il se révèle essentiel pour suivre le réchauffement atmosphérique au niveau mondial et pour appliquer le Protocole de Kyoto. Il manque notablement de visibilité au niveau international si on le compare au GIEC (pourtant trois chapitres du rapport du groupe I portent explicitement sur les observations) ! Il est d'ailleurs courant dans les conférences climat de présenter l'évolution dramatique de la banquise de mer arctique en été comme témoin irrévocable du changement climatique en cours [M. Parry, com. orale, déc. 2008]. Pour conclure, signalons l'action remarquable de la Suisse qui a édité une brochure qui présente les divers réseaux de mesures du climat en Suisse (illustrations de sites, courbes d'évolution...) pour valoriser le SMOC au niveau national [Seiz *et Foppa*, 2011].

Références

- Baldocchi D. *et al.* Fluxnet : A new tool to study the temporal and spatial variability of ecosystem-scale carbon dioxide, water vapour, and energy flux densities. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 2001 ; 82 : 2415-34.
- Bousquet P., Peylin P., Ciais P. *et al.* Regional changes in carbon dioxide fluxes of land and oceans since 1980. *Science* 2000 ; 290: 1342-6.
- Bousquet P. *et al.* Contribution of anthropogenic and natural sources to atmospheric methane variability. *Nature* 2006 ; 443 : 439-43.
- Bréon F.-M., Ciais P. La mesure depuis l'espace de la concentration atmosphérique des gaz à effet de serre. *CR. Geoscience* 2010 ; 342 : 412-24.
- Ciais P. *et al.* Europe-wide reduction in the primary productivity caused by the heat and drought in 2003. *Nature* 2005; 437: 529-33.
- Ciais P., Moore B. Le cycle global du carbone in Fellous J.-L., Gautier C. Comprendre le changement climatique. Éditions O. Jacob 2007 : p. 143-170.
- DGEC. 5^e Communication Nationale à la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques 2009. Voir le site : www.effet-de-serre.gouv.fr
- Dolman *et al.* The CarboEurope regional experiment strategy. *Bull. Amer. Met. Soc* 2008 ; 89 : 1367-79.

- Fellous J.-L., Gautier C. Comprendre le changement climatique. Éditions O. Jacob 2007.
- Francou B., Vincent C. *Les glaciers à l'épreuve du climat*. Éditions Belin-IRD 2007 : 272 p.
- Houghton J. *et al.* The GCOS at 20 years : the origin, achievement and future development of the Global Climate Observing System. *Weather* 2012; 67: 227-35.
- Juvanon du Vachat R. Le Système Mondial d'Observation du Climat. Contribution française. *Ass. Inter. Climatologie* 2003 ; 15 : 458-64.
- Juvanon du Vachat R. The French contribution to the Global Climate Observing System. *Adv. Sci. Res.* 2011a ; 6 : 45-8.
- Juvanon du Vachat R. Le Système Mondial d'Observation du Climat. Contribution française. *Actes du colloque de l'Ass. Inter. Climatologie, Rovereto* 2011b : 345-50.
- Le Moullec A., Mezdoor A. La qualité des eaux de pluie. Observation et Statistiques (CGDD/Ministère de l'Environnement), 2011 ; 88, juin.
- Metz N. Les campagnes OISO. *Met Mar* 2002 ; 190 : 6-11.
- Moisselin J.-M. *et al.* Les changements climatiques en France au xx^e siècle. *La Météorologie* 2002, 8^e série ; 38 : 45-56.
- Nisbet E. Cinderella science. *Nature* 2007 ; 450 : 789-90.
- Nisbet E., Manning M. L'atmosphère de la planète : les gaz à effet de serre et la pollution urbaine. *Bull. de l'OMM* 2009; 58(1): 16-21.
- Parker D. *et al.* The AMMA radio-sonde program and its implications for the future of atmospheric monitoring over Africa. *Bull. Amer. Met. Soc.* 2008; 89: 1015-27.
- Ramonet M., Cloué O. Le suivi à long terme du CO₂ atmosphérique. *Clefs CEA* 2008; 57: 25-30.
- Ramonet M. *et al.* A recent build up of atmospheric CO₂ over Europe. Part I: Observed signals and possible explanations. *Tellus* 2010; 62B: 1-13.
- Rochas M. Les débuts de la mesure du CO₂ atmosphérique. *La Météorologie* 2011, 8^e série ; 72 : 49-56.
- Seiz G., Foppa N. National Climate Observing System of Switzerland (GCOS Switzerland). *Adv. Sci. Res* 2011 ; 6 : 95-102.

SIGLES ou ACRONYMES

AMMA : Analyse Multidisciplinaire de la Mousson Africaine
 BAPMoN : Background Air Pollution Monitoring Network
 CATAENAT : Charge Acide Totale d'origine Atmosphérique dans les Ecosystèmes NATurels terrestres
 CEA : Commissariat à l'Énergie Atomique
 CITEPA : Centre Interprofessionnel Technique d'Études de la Pollution Atmosphérique
 GAW : Global Atmosphere Watch (en français VAG)
 GCOS : Global Climate Observing System (en français SMOC)
 GIEC : Groupe Intergouvernemental d'experts sur l'Évolution du Climat (en anglais IPCC)
 GOSAT : Greenhouse gases Observing SATellite
 GSN : GCOS Surface Network
 GUAN : GCOS Upper Air Network
 ICOS : Integrated Carbon Observing Strategy (System)
 IPCC : Intergovernmental Panel for Climate Change
 LSCE : Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement
 MERA : MESures des Retombées Atmosphériques
 NDACC : Network for Detection of Atmospheric Composition Change
 OCO : Orbiting Carbon Observatory
 OISO : Service d'observation de l'océan Indien
 RAMCES : Réseau Atmosphérique de Mesure de Composés à Effet de Serre
 SMOC : Système Mondial d'Observation du Climat
 UNFCCC : United Nations Framework Convention for Climate Change
 VAG : Veille de l'Atmosphère Globale