

## LE SYSTÈME MONDIAL D'OBSERVATION DU CLIMAT CONTRIBUTION FRANÇAISE

R. JUVANON DU VACHAT

*Météo-France, D21/ENV  
1, Quai Branly 75340 Paris Cedex 07*

### Résumé

On présente la contribution française au Système Mondial d'Observation du Climat (SMOC), qui a pour but la surveillance du climat. Ce système a été recensé à l'occasion de la 3<sup>ème</sup> Communication Nationale de la France à la Convention Climat en novembre 2001 (MIES, 2001); il comporte quatre composantes : météorologique et atmosphérique, océanique, terrestre, enfin spatiale. On a choisi de développer plus spécialement les composantes atmosphérique et terrestre, cette dernière comprenant des mesures de glaciers et de flux de carbone plus spécialement en lien avec le climat. On notera à cet égard le lien de ces réseaux d'observation avec les programmes de Recherche sur le changement climatique. On indique enfin les perspectives futures (en France et en Europe) pour ce Système Mondial d'Observation du Climat.

### Abstract

We present the french contribution to the Global Climate Observing System, which is planned to monitor the climate. This contribution has been identified for the publication of the third National Communication to the United Nations Frame-work Convention on Climate Change (MIES, 2001); this system includes the following four components : first meteorological and atmospheric, oceanic, terrestrial and spatial. Our choice here is to give details of the atmospheric and terrestrial components, the latest including observation of glaciers and measurements of carbon fluxes very close to the climate system monitoring. Moreover, it can be noticed that these observations are a part of climate change research. At the end we show the ongoing features (for France and Europe) of this Global Climate Observing System.

**Mots-clés :** Observation, Climat, Mondial, Convention Climat, Protocole de Kyoto.

**Keywords :** Observation, Climate, Global, UNFCCC, Kyoto Protocol.

### Introduction

Fin Novembre 2001, la Mission Interministérielle française de l'Effet de Serre a déposé sa 3<sup>TM</sup> Communication Nationale à la Convention Climat (UNFCCC) à Bonn. Son chapitre 8 intitulé « Recherche et Observation Systématique » (MIES, 2001) contient la revue des programmes français de recherche et d'observation sur le Changement Climatique, notamment la contribution française au Système Mondial d'Observation du Climat (S M O C, GCOS en anglais) recensée pour la première fois. L'objet de cette participation au GCOS est de vérifier l'adéquation du système français pour la surveillance du climat (résolution spatiale, fréquence temporelle, état de fonctionnement), tout en montrant des aspects spécifiques liés à la Convention Climat (Rio, 1992) et au Protocole de Kyoto (1997). C'est en effet la Convention Climat qui a initié ce programme GCOS en 1992 sous la responsabilité des quatre organismes suivants : l'Organisation Météorologique Mondiale (OMM), le Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE), la Commission Océanographique Intergouvernementale (COI) et le Conseil International des Unions Scientifiques (CIUS). Le SMOC est un système d'observation composite comprenant quatre domaines d'observation avec des réseaux spécifiques : l'atmosphère, l'océan, les réseaux terrestres (glaciers et flux de carbone), enfin le domaine spatial. On a choisi ici de présenter *les réseaux atmosphériques et les réseaux terrestres*. Ces réseaux terrestres comportent le réseau de surveillance des glaciers et les réseaux mesurant les flux de carbone pour le Protocole de Kyoto, qui sont directement intégrés dans des programmes de recherche.

## 1. Observation météorologique et atmosphérique

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

### 1.1. Réseau de surface GSN

Le réseau météorologique de surface (GSN) comprend depuis 1999 les 6 stations suivantes en France métropolitaine : Rennes, Strasbourg, Bourges, Toulouse, Marseille et le Mont-Aigoual. Cette dernière a été retenue en tant que station de montagne. Ces différentes 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 Climatologique mondial d'Asheville (USA). Pour la France d'outre-mer le réseau GSN comprend les 14 stations suivantes. Pour la Guyane : Cayenne-Rochambeau\* ; pour la Guadeloupe : Le Raizet ; 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, Rapa\*.

### 1.2. Réseau d'altitude GUAN

Ce réseau concerne la mesure en altitude par radiosondage. En métropole il n'y a pas de station, mais il comprend 9 stations outre-mer. Ce sont les stations signalées par un astérisque dans le réseau de surface (GSN) précédent, en y ajoutant l'île de Tromelin (Océan Indien).

### 1.3. Réseau physico-chimique GAW

Ce réseau GAW mesure la physico-chimie de l'atmosphère, et comprend 4 stations en métropole. Abbeville et Gourdon mesurent l'acidité des précipitations (programme BAPMON), Carpentras est spécialisé dans le rayonnement, enfin l'ozone (profils et colonnes totales) est mesurée à l'Observatoire de Haute Provence. Les mêmes mesures d'ozone sont aussi réalisées à Dumont d'Urville (Antarctique), à Saint Denis de la Réunion et dans l'île Kerguelen (réseau NDSC). Enfin le CO<sub>2</sub> est mesuré à l'île Amsterdam (Voir aussi 3.3).

### 1.4. Réseau GSN futur

Dans le futur, dans le cadre du projet européen ECSN qui met en place une banque de données climatologiques journalières, ce réseau de surface (GSN) comprendra les 14 stations de plaine suivantes : Besançon, Bordeaux, Bourges, Brest, Clermont-Ferrand, Lille, Lyon, Marseille, Paris, Perpignan, Poitiers, Rennes, Strasbourg, et Toulouse. Quatorze autres stations sont aussi prévues pour étoffer ce réseau et mieux représenter les topo-climats français. Le choix s'est effectué sur la base de longues séries existantes de température et de précipitations, qui remontent en général jusqu'en 1945, et parfois 1880, avec ou sans changement de poste d'observation. On remarque que l'un des problèmes pour l'analyse de ces longues séries d'observation est le changement de poste d'observation qui est normal sur une telle durée mais qui peut conduire à des conclusions erronées. Là-dessus les travaux statistiques de Moisselin et al. (2002) ont permis de tirer une conclusion claire sur l'évolution du climat sur la France depuis 100 ans environ, en calculant une évolution de température moyenne (TM) de 0,7 °C à 1°C. Les températures minimales (Tm) ont plus augmenté que les maximales (Tx) et l'amplitude diurne est en baisse sur la majorité du territoire. Cette évolution séculaire de Tm correspond à un déplacement vers le Nord de 360 Km, pour Tx de 90 Km et pour TM de 180 Km. La **figure 1** illustre cette évolution de la température moyenne annuelle à Paris-Montsouris depuis 1873, avec une tendance de 0,77 °C pour la période 1901-2000. Enfin cette étude confirme que l'on ne peut attribuer ce réchauffement uniquement à l'effet urbain, qui représente une contribution de 10 % , ce qui est conforme aux résultats du GIEC.

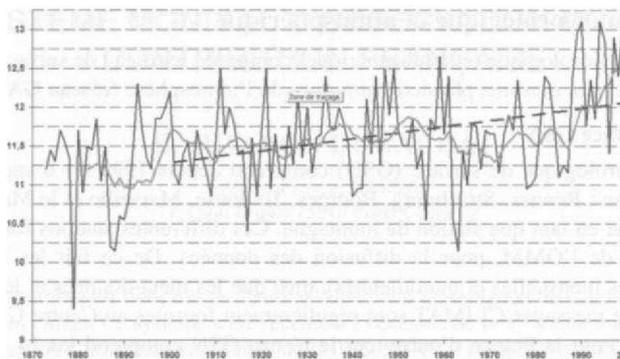


Figure 1 : Evolution de 1873 à 2000 des températures moyennes annuelles (°C) à Paris-Montsouris (en noir continu ; moyenne glissante sur 15 points, en grisé; tendance 1901-2000 en traits discontinus) (d'après Moisselin et al., 2002).

## 2. Observation des glaciers de montagne

### 2.1. Réseau d'observation du LGGE

Le Laboratoire de Glaciologie et de Géophysique de l'Environnement (LGGE) poursuit des observations glaciologiques sur les glaciers alpins depuis 1956. Il s'agit de déterminer le bilan de masse (accumulation et ablation) de ces glaciers et leurs modifications géométriques et dynamiques. Ces données sont un indicateur de l'évolution climatique à haute altitude et sont indispensables pour comprendre les fluctuations glaciaires (positions des fronts, épaisseurs, vitesses). En outre, elles sont à la base de l'analyse des risques naturels d'origine glaciaire. Depuis 1995, le réseau d'observations des bilans de masse a été étendu et l'objectif est de rendre ce réseau pérenne : il comprend la détermination systématique des bilans de masse hivernaux et estivaux, tant en zone d'ablation qu'en zone d'accumulation, sur quatre glaciers (glacier d'Argentière, mer de Glace, glaciers de Gébroulaz et de Saint Sorlin). Ce réseau permet de disposer d'observations dans la plupart des massifs des Alpes françaises, sur une plage d'altitude de plus de 1500 m et pour différentes expositions. Les observations directes de bilans de masse, réalisées sur le glacier (carottages, balises) permettent de déterminer les variations de volume des glaciers à l'échelle de 10 ou 15 ans. L'analyse des bilans de masse sur les 50 dernières années prouve désormais que ces observations sont adaptées pour détecter l'évolution des bilans énergétiques (fusion estivale) et l'évolution des précipitations hivernales (par l'accumulation) en haute montagne. L'évolution du bilan de masse de deux glaciers (Saint Sorlin et mer de Glace) pendant les cent dernières années est présentée en **figure 2**. Ce réseau comprend également les observations des fluctuations glaciaires de ces 4 glaciers (Vincent, 2002). Depuis 2000, ce réseau fait partie de l'Observatoire des Sciences de l'Univers de Grenoble; le CEMAGREF réalise les mesures du bilan de masse du glacier de Sarennes depuis 1949. Enfin, le Parc National des Ecrins, en collaboration avec le LGGE, effectue des observations de bilans de masse dans la zone d'accumulation du glacier Blanc.

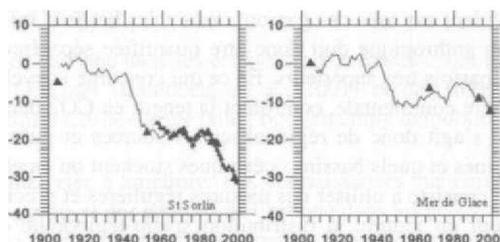


Figure : Bilan de masse (m d'eau équivalent) pour les glaciers de St Sorlin et de la Mer de Glace de 1900 à 2000. Mesures directes (petits triangles), mesures faites à partir de cartes (grands triangles) (d'après C. Vincent, 2002).

## 2.2. Réseau d'observation de l'IRD

De même, depuis 1991, l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD) poursuit un programme similaire, mais sur des glaciers tropicaux (Bolivie, Equateur et Pérou) : détermination des bilans de masse, des modifications géométriques et dynamiques, avec parfois un réseau de stations météorologiques permettant de calculer le bilan d'énergie à leur surface. Ce programme a débuté d'abord en Bolivie (1991) avec deux glaciers : le glacier Zongo (suivi mensuel du bilan de masse et du bilan hydrologique, suivi annuel des variations du front du glacier et de sa dynamique, et détermination du bilan d'énergie en surface depuis 1996) et le glacier de Chacaltaya (suivi mensuel du bilan de masse et annuel de la position de son front). A partir de 1995, le glacier 15 ( de l'Antizana en Equateur possède un dispositif de mesure identique à celui du glacier Zongo et le glacier du Carihuarazo est suivi annuellement pour son bilan de masse. Enfin, depuis 1999, deux glaciers de la Cordillère Blanche au Pérou sont étudiés pour connaître leur bilan de masse annuel.

## 2.3. Observatoire de Recherche en Environnement sur les glaciers

Afin d'homogénéiser et de pérenniser le réseau de mesures effectuées à la fois sur les glaciers alpins et tropicaux, un projet d'Observatoire de Recherche en Environnement (ORE) sur ces glaciers a été préparé par les deux laboratoires (LGGE et IRD) et validé par le MRT : c'est l'Observatoire Glacio-Clim. Il permet de constituer une banque de données pour étudier les variations climatiques et valider les modèles de climat. Les glaciers sélectionnés dans ce projet d'observatoire sont représentatifs de climats variés et s'alignent sur un méridien climatique allant de l'Equateur (glacier Antizana) aux Pôles (Dôme C et Dumont d'Urville) en passant par la région subtropicale (glacier Zongo) et les Alpes (glaciers d'Argentière et de Saint Sorlin). La partie polaire de ce projet sera menée en collaboration avec l'Institut Polaire (IFRTP). Les données archivées sur support informatique sont mises à la disposition de la communauté scientifique depuis mai 2001, sur le serveur du LGGE ([lgge.obs.ujf-grenoble.fr](http://lgge.obs.ujf-grenoble.fr)). On trouvera des résultats récents sur le suivi des glaciers alpins dans Vincent (2002), et pour le suivi des glaciers tropicaux, dont le fonctionnement fonte estivale et accumulation hivernale est très différent des glaciers alpins dans Francou et al. (1997).

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

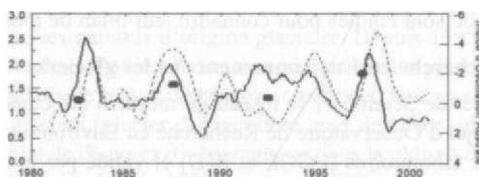
Le suivi à long terme des gaz à effet de serre est effectué par le réseau R A M C E S pour comprendre le cycle des trois principaux gaz à effet de serre (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O) et leur rôle au sein du système climatique. La connaissance des flux permet de valider des modèles biogéochimiques et des scénarii socio-économiques d'émissions, qui sont utilisés pour prévoir l'évolution des sources et puits dans le futur. Il s'agit aussi de quantifier le bilan de carbone d'une grande région et sa variabilité dans le contexte de vérification de politiques de contrôle ou de réduction des émissions de gaz à effet de serre. Convertir les émissions de gaz à effet de serre en changements de concentration dans

l'atmosphère n'est pas évident car tous ces gaz ont des cycles naturels qui régulent leur abondance dans l'air. La perturbation anthropique doit donc être quantifiée séparément des termes sources et puits naturels qui lui sont parfois très supérieurs. En ce qui concerne le cycle du carbone, deux réservoirs, l'océan et la biosphère continentale, contrôlent la teneur en  $\text{CO}_2$  dans l'air, avec des temps de réponse très différents. Il s'agit donc de régionaliser les sources et puits de  $\text{CO}_2$ , c'est-à-dire de déterminer quels écosystèmes et quels bassins océaniques stockent ou émettent du carbone.

La méthode du LSCE consiste à utiliser des mesures régulières et précises de  $\text{CO}_2$  sur un réseau global d'observatoires pour en induire la distribution spatio-temporelle des sources et des puits. Comme les variations de concentration en un point donné résultent des flux échangés à l'échelle régionale et globale, intégrés par la circulation des masses d'air, il est alors possible, à l'aide de méthodes d'inversion du transport atmosphérique, de traduire les gradients de concentration atmosphérique en termes de flux de surface.

### 3.1. Les observatoires du réseau RAMCES

Deux observatoires de mesures en continu du  $\text{CO}_2$  existent depuis 1981 sur l'île Amsterdam et depuis 1992 à Mace Head (Irlande) et font partie du réseau GAW. Un exemple de ces mesures de  $\text{CO}_2$  est donné à la **figure 3**, où l'observation paraît bien corrélée avec l'indice de l'oscillation australe. Le suivi du  $\text{N}_2\text{O}$ , troisième principal gaz à effet de serre a débuté en 2000. Enfin depuis 1996, pour disposer de mesures représentatives de l'atmosphère de fond en région continentale, le LSCE a mis en place des prélèvements réguliers de 0 à 3000 m au-dessus d'Orléans. Ce jeu de données constitue l'une des premières mesures en atmosphère continentale et a permis de quantifier la variabilité saisonnière du  $\text{CO}_2$  dans la basse troposphère. On trouvera des résultats de bilans régionaux de flux de  $\text{CO}_2$  sur différentes régions dans Bousquet et al. (2001).



**Figure 3 : Evolution du  $\text{CO}_2$  (ppmv/an, en traits pleins) à l'île Amsterdam de 1980 à 2002, avec les points représentant les mesures par flacon, comparée avec l'indice d'oscillation australe (en tiretés) (d'après M. Ramonet, LSCE, 2002).**

### 3.2. Futur réseau RAMCES

Pour densifier le réseau dans des régions clés, le choix s'est porté sur l'Océan Indien. Il s'agit du système d'observation OISO (Metzl, 2002) basé sur le navire océanique Marion-Dufresne, avec le projet de 3 stations de prélèvement d'air sur flacons à La Réunion, à l'île de Tromelin (depuis 1997) et aux Maldives. Ces stations complétées par les îles Amsterdam (continu) et Crozet (en collaboration avec la N OAA) permettront une bonne caractérisation du rôle de cette région dans le cycle du carbone d'ici 3 ans.

### 3.3. Projet européen AEROCARB

Ce projet européen vise à porter de 14 à 30 les observatoires du  $\text{CO}_2$  au-dessus du continent européen d'ici 3 ans. Ce programme 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 pan-européen de suivi des gaz à effet de serre, qui unifie les réseaux de mesures de  $\text{CO}_2$  en Europe, complétés par des mesures faites par avion. Enfin grâce à des techniques de mesures très précises de  $\text{CO}_2$ , on peut séparer les différentes origines des flux de carbone.

#### 4. Le programme FLUXNET

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 à la grappe de projets *Carboeurope* (site : [bgc-jena.mpg.de/public/carboeur/](http://bgc-jena.mpg.de/public/carboeur/)) qui sont décrits ci-dessous.

Le projet *Carboeuroflux* vise à améliorer nos connaissances sur l'importance, la localisation et l'évolution temporelle des puits et des sources de Carbone dans les écosystèmes terrestres et de comprendre leurs causes. Ceci doit permettre d'améliorer la capacité de négociation de la Communauté Européenne dans le cadre du Protocole de Kyoto. Le projet *Carboage* a pour objectif d'analyser le rôle des forêts en Europe comme puits de Carbone pendant leur cycle de vie. A cette occasion on effectuera des mesures de flux de CO<sub>2</sub> sur un certain nombre de sites (comme dans Carboeuroflux), qui seront utilisées pour estimer ces flux à une échelle supérieure. Ceci permettra de mettre au point de nouvelles options de gestion pour la séquestration du carbone. On s'attend à ce que les perturbations du sol résultant des pratiques sylvicoles (plantation, entretien, récolte) produisent des flux de carbone à partir du sol, ce qui peut avoir un effet important sur l'évolution temporelle de ces flux. Concernant ces deux programmes, la France dispose de 5 sites expérimentaux, opérationnels et qui alimentent les bases de données : Bray et Bilos en Gironde (INRA), Hesse en Lorraine (INRA), Puechabon dans l'Hérault (CNRS), enfin Laqueuille dans le Puy-de-Dôme (INRA). Tous ces sites sont équipés d'un mât (ou tour) de mesure comportant des capteurs rapides permettant la mesure des flux de quantité de mouvement, chaleur sensible, vapeur d'eau, C O<sub>2</sub>. Les mesures sont effectuées en continu sur des périodes de plusieurs années consécutives. En outre sont également effectuées des mesures microclimatiques (rayonnement, température, humidité, vent, précipitations...) et des mesures écophysiologicals (débits de sève, photosynthèse, respiration du sol, biomasse, indice foliaire...). Enfin le projet *Carbodata* réalise l'archivage des données de ces programmes.

#### Conclusion et perspectives

Cet article a pour but de donner une vue d'ensemble de la contribution française au SMOC, en insistant sur les aspects atmosphériques et terrestres. Pour le volet océanographique voir Juvanon du Vachat (2003). On trouvera l'ensemble de la contribution (avec les volets océanographique et spatial) dans le chapitre 8 de la Communication Nationale où se trouve présenté l'ensemble des programmes français de Recherche sur le Changement Climatique (MIES, 2001). Il faut aussi signaler à quelle logique ce programme d'observation obéit : essentiellement un recensement pour vérifier une adéquation aux objectifs de la convention, avec un but ultime de surveillance à long terme du climat (Karl, 1996). Nous renvoyons à Bessemoulin (2003) pour une présentation de l'évolution globale du climat et des aspects particuliers de cette évolution sur la France, concernant température et précipitations.

Enfin deux questions méritent d'être posées sur ces problèmes d'observation, (i) La pérennisation de l'observation, pour laquelle le concept d'Observatoire (de Recherche et opérationnels en Environnement) est une réponse, (ii) La dualité satellite et observation globale, versus observation in-situ pour laquelle l'Europe construit le projet GMES (Global Monitoring Environment and Security). Pour terminer soulignons qu'une autre tendance de l'observation du climat qui en fait une branche passionnante est l'examen des carottages de l'Antarctique qui permettent de remonter jusqu'à 420 000 ans avant JC pour l'étude du climat de la terre (Petit et al., 1999) !

## Bibliographie

- BALDOCCHI, D. et al., 2001 : 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.*, **82**, p. 2415 -2434.
- BESSEMOULIN P., 2003 : Nouvelles connaissances sur l'évolution du Climat. *Publications de l'Association internationale de Climatologie*, **15**, ce volume. BOUSQUET PH., PEYLIN PH., CIAIS PH., LE QUÉRÉ C, FRIEDLINGSTEIN P., TANS P., 2000 : Regional changes in carbon dioxide fluxes of land and oceans since 1980. *Science*, **290**, p. 1342-1346.
- FRANCOU B., RIBSTEIN P., POUYAUD B., 1997 : La fonte des glaciers tropicaux. *La Recherche*, **302**, p. 34-37.
- JUVANON DU VACHAT R., 2003 : Le système mondial d'observation du climat. Contributions atmosphérique et océanique. *Atelier Expérimentation et Instrumentation*, Brest janvier 2003.
- KARL TH., 1996 : *Long-term Climate monitoring by the global climate observing system*. Kluwer Academic Publishers, 648 p.
- METZL, N., 2002 : Les campagnes OISO. *Met Mar*, **190**, p. 6-11.
- MIES, 2001 : 3<sup>ème</sup> Communication Nationale à la Convention Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques. Document MIES (Mission Interministérielle de l'Effet de Serre), 35 rue St Dominique 75700 Paris. (Voir le site [effet-de-serre.gouv.fr](http://effet-de-serre.gouv.fr)).
- MOISSELIN JM. et al., 2002 : Les changements climatiques en France au XXème siècle. *La Météorologie*, **38**, p. 45-56.
- PETIT JR. et al., 1999 : Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica. *Nature*, **399**, p. 429-436.
- VINCENT C, 2002 : Influence of climate change over the 20th Century on four French glacier mass balances. *J. of Geophys. Res.*, **107**, D19, ACL4, p. 1-12.

### SIGLES ou ACRONYMES (non définis dans le texte)

- BAPMON : Background Air Pollution Monitoring Network  
 CE MAGREF : Centre du Machinisme Agricole, du Génie Rural et des Eaux et Forêts  
 CNRS : Centre National de la Recherche Scientifique  
 ECSN : European Climate Support Network  
 GA W : Global Atmosphere Watch  
 GIEC : Groupe Intergouvernemental des experts de l'Evolution du Climat  
 GCOS : Global Climate Observing System (en français SMOC)  
 GSN : GCOS Surface Network  
 GUAN : GCOS Upper Air Network  
 IFRTP : Institut Français pour la Recherche et la Technologie Polaires  
 INRA : Institut National de Recherche Agronomique  
 MIES : Mission Interministérielle de l'Effet de Serre  
 MRT : Ministère de la Recherche et de la Technologie  
 NOAA : National Oceanic and Atmospheric Administration  
 ND SC : Network for Detection of Stratospheric Changes  
 OISO : Service d'observation de l'océan indien  
 O M M : Organisation Météorologique Mondiale  
 RAMCES : Réseau Atmosphérique de Mesure de Composés à Effet de Serre  
 SMOC : Système Mondial d'Observation du Climat  
 UN F C C C : United Nations Framework Convention for Climate Change