

## **Executive summary of the french response to the GCOS IP (GCOS-92)**

*R. Juvanon du Vachat (23 October 2008)*

This french report represented an intermediate step between the fourth (2006) and the fifth National Communication (2010), taking into account the new Guide Lines (GL) and trying to give the french contribution to GCOS IP. That information written in french has been collected during the summer and in some cases consideration has been given to some information not considered in previous reports (hydrology). We also refer to recent english papers presenting the french contribution to the GCOS program (see GCOS-SC-Oct. 2007; AMS-7<sup>th</sup> IIPS-2008). Independently of updating the information and filling the tables for the different ECV (according to the new GL), the main improvement of that version was to consider the following questions concerning the networks : access of the archived data, long term series of observations, relation with research programs, insertion of data in reanalysis programmes. We present here a summary of that report along the four domains (atmospheric, oceanic, terrestrial and spatial), concentrating on the new information.

First the atmospheric domain, which is operated by Météo-France. The whole system consists of 6 GSN stations on the continental France (with messages CLIMAT sent to NCDC) and 14 ones for over-seas territories. For altitude the network consists of 9 GUAN stations in over-seas territories (producing messages CLIMAT TEMP). There is also some discussion on the possibility of defining Trappes as GRUAN station, and similarly selecting some GUAN stations in overseas territories as GRUAN ones. The GCOS monitoring principles have been integrated in the quality management system of Météo-France (for the observation). Last an important activity on the data rescue and long term series have been developed, like the MEDARE project for the Mediterranean Data Rescue ([www.omm.urv.cat/MEDARE](http://www.omm.urv.cat/MEDARE)).

Concerning the chemistry of the atmosphere the RAMCES network developed by LSCE is worthwhile for computing the CO<sub>2</sub> budget over a given area (region, continent). That is done by using a network of observatories (fluxes) together with a transport model, used by inversion ([www.ipsl.jussieu.fr/services/Observations/fr/RAMCES](http://www.ipsl.jussieu.fr/services/Observations/fr/RAMCES)). Other initiatives in that field of monitoring the atmospheric composition and where France plays a role are the following european projects. The project GEOMON (Geophysical fields Monitoring, <http://geomon.ipsl.jussieu.fr>) concerns the measurements in four domains (GHG gases, atmospheric pollution, aerosols, stratospheric ozone). The GEMS project means Global Earth-system Monitoring using Satellite and in Situ Data (BAMS, 89, 1147-1164), and tries to build a high-level monitoring of GHG, reactive gases, aerosols, including data-assimilation and multi-model forecasting; ICOS (Integrated Carbon Observing Strategy, [www.icos-infrastructure.eu](http://www.icos-infrastructure.eu)) is a pan-european system for observation of GHG over european continent and adjacent regions (Siberia, Africa) with various sensors (towers, planes, satellite), with the aim of producing daily maps of concentration of CO<sub>2</sub> and other GHG.

Second, for the oceanic component, the contribution is mainly driven by the MERCATOR project, which represents the pre-operational modelling of the ocean. Its observational contribution is the CORIOLIS project (<http://www.coriolis.eu.org>), using different sensors (anchored and drifting buoys, ARGO profilers, XBT from opportunity vessels, ...). The whole project takes the legacy of the international GODAE experiment (2003-2005), which will be highlighted during an international congress next november in Nice ([www.ostst-godae-2008.com](http://www.ostst-godae-2008.com)). Finally we give an update of the tropical atlantic moorings (PIRATA observatory) along the recent publication (BAMS, 89, 1111-1125).

Third, for terrestrial domain, one can mention the observation of mountain glaciers done with the Observatory GLACIO-CLIM ([www.lgge.ujf-grenoble.fr/ServiceObs](http://www.lgge.ujf-grenoble.fr/ServiceObs)), for monitoring some glaciers on different latitudes (implying different climate regimes), in mainland France (5 glaciers), in Bolivia and Ecuador (Great Ice, IRD, [www.ird.fr/ur032/](http://www.ird.fr/ur032/)), and in Antarctica (2 glaciers, IPEV). In the Indian Himalaya, the Chhota Shigri glacier is monitored by the Great Ice program.

France is also actively participating in measuring carbon fluxes in terrestrial ecosystems (6 sites with different land cover) carried out under the international programme Fluxnet, and with the European CarboEurope project on the global carbon cycle. The agencies involved in this program are : INRA, CNRM, LSCE ... Specific experiments have been conducted recently in the South West France (CERES experiment in "Les Landes" 2007) with various land cover (BAMS, 87, 1367-1379).

Concerning the space domain, we only mention the specific response to the GCOS IP done by CEOS, in which the CNES is taking a contributing part defined in the document.

Concerning GCOS in Africa, it is important to mention the AMMA experiment (BAMS, 87, 1739-1746) conducted in the west part of Africa and leading to restore some radio-soundings and fine scale measurements covering meteorology but also hydrology and aerosols. The operational measurements cover a period up to the end of 2007, but in the frame of the RIPIECSA experiment the sustainability of a part of the meteorological network will be insured for one more year. The experience done in restoring some radio-soundings in West Africa with AMMA is exemplary and is described in (BAMS, 89, 1015-1027) ! A project will be currently submitted to the European Commission to perpetuate an optimal observing system for meteorology and climate in that part of Africa.

As a conclusion we observe that a great number of institutions are involved in the climate observations in France, including Météo-France but other agencies depending on Environment Ministry and Research Ministry. A coordination is necessary and partially fulfilled under the GEO-GMES French coordination group.

BAMS = Bulletin of the American Meteorological Society

## Réponse française au Plan de mise en œuvre du SMOC (19 septembre 2008)

### I. Introduction générale

Ce document vise à répondre au plan de mise en œuvre du SMOC (GCOS IP) tout en suivant les lignes directrices adoptées à COP13. Une telle demande a été faite en 2005 aux responsables français des différents réseaux du SMOC pour préparer la 4<sup>ème</sup> Communication Nationale en décembre 2005 (disponible sur le site Unfccc). Des rapports intermédiaires de cette Communication Nationale ont été donnés lors du Comité de Pilotage du SMOC en octobre 2007 à Paris et lors du 24<sup>ème</sup> Symposium IIPS à La Nouvelle-Orléans (Louisiane, USA) en janvier 2008 (Congrès de l'AMS). Dans la demande actuelle, il s'agit de répondre au plan de mise en œuvre (notamment les recommandations), tout en tenant compte des lignes directrices adoptées à COP13 pour la forme. Ainsi cette synthèse d'information a semblé difficile à réaliser aux responsables de réseaux, vu le peu de réponses obtenues !

Aussi pour la forme on a cherché à adopter la rédaction des Communications Nationales précédentes, tout en ajoutant les tableaux où figurent les points de mesure de tel paramètre, et en indiquant les sources d'information. Les principales recommandations du Plan de mise en œuvre sont considérées à travers la réponse à six questions figurant ci-dessous :

- 1) Les difficultés rencontrées avec ces lignes directrices
- 2) Le type d'archivage et d'accessibilité des données
- 3) La pérennité du réseau à 5 ou 10 ans
- 4) Le rattachement de ces observations à des programmes de recherche
- 5) L'insertion de ces observations dans des programmes de réanalyse
- 6) L'existence de longues séries d'observations

Trois points méritent à ce stade d'être soulignés.

1. Pour le suivi des variables climatiques à l'aide d'instruments satellitaires, une réponse au plan de mise en œuvre a été faite par le CEOS directement. En outre une proposition de l'Agence Spatiale Européenne a été formulée récemment et est en discussion dans les instances responsables, qui prend en compte bon nombre des recommandations formulées dans le domaine spatial, notamment pour ce qui est de l'archivage, du calibrage, et de l'étalonnage des données.

2. Un certain nombre de systèmes d'observation en particulier ceux qui touchent l'observation océanique et les flux de GES (Gaz à effet de serre) sont associés à des projets de recherche dans le cadre européen, aussi il apparaît parfois difficile d'isoler la composante française. Pour le cas de l'océanographie, il s'agit souvent de mesures spatiales (cf. 1) et un seul pays ne peut s'engager seul à soutenir de telles actions ! Ce domaine nécessite toujours une coopération avec au moins plusieurs pays.

3. Un problème spécifique a été rencontré avec les variables climatiques terrestres. Seuls les observations de glaciers et d'écosystèmes étaient traités jusqu'à présent. Les données hydrologiques et nivologiques ont été également recensées. Par ailleurs les données de couverture végétale sont traitées par des organismes européens (JRC-Ispra, par exemple), même si des travaux d'analyse existent au niveau français (CNRM).

Un dernier point concernant le recensement des réseaux d'observation, dans le domaine de l'observation du climat et des impacts du changement climatique où la Lettre du Changement Global fait une recension très exhaustive ([www.mediasfrance.org/Reseau/LettrePigb](http://www.mediasfrance.org/Reseau/LettrePigb)) et où l'ONERC (Observatoire National sur les Effets du Réchauffement Climatique) est aussi un partenaire incontournable ([www.onerc.gouv.fr](http://www.onerc.gouv.fr)). Voir en particulier le séminaire sur les indicateurs tenu en février 2008.

## II. Observation de l'atmosphère

### *Généralités*

#### **1) Difficultés rencontrées avec les lignes directrices prescrites par COP13**

Du fait de la signification ambiguë de "Full World Weather Watch/Global Observing System (WWW/GOS) surface network" pour renseigner les stations GSN, on a indiqué l'ensemble des stations du volume A du GOS, les stations RBSN et les stations RBCN.

#### **2) Type d'archivage et accessibilité des données**

- Archivage pérenne au sein de la base de données climatologiques nationale (BDClim), gérée avec un système de gestion de base de données ORACLE
- Accès par :
  - i. le service Climathèque de Météo-France via <http://climatheque.meteo.fr/okapi/accueil/okapiWeb/index.jsp> (besoin pour l'utilisateur d'être identifié)
  - ii. NCDC Climate Data online (<http://cdo.ncdc.noaa.gov/CDO/cdo> )

#### **1) Pérennité du réseau à 5 ou 10 ans**

La pérennité du réseau est assurée. La Direction des Systèmes d'Observation a pris en compte les exigences du climat (action qualité intégrant les dix principes du SMOC). L'ensemble du réseau pourrait diminuer, mais on veillera à respecter nos engagements internationaux et à conserver les sites comportant de longues séries et importants pour le climat (notion de supersites à préciser avec la communauté recherche). Par ailleurs la disparition de personnel à une station ne signifie pas pour autant la disparition des observations, celles-ci étant d'ores et déjà automatiques.

D'autres actions comme l'archivage des données « minute » sont à signaler en relation avec le climat (cycle de l'eau).

#### **2) Rattachement de ces observations à des programmes de recherche**

Ces données d'observation comme les autres stations gérées par Météo-France ont fait l'objet de recherches sur la caractérisation du changement climatique sur le territoire national : homogénéisation des longues séries climatiques, calcul de tendances à long terme, confrontation aux sorties de modèles climatiques utilisés pour les activités IPCC.

#### **3) Insertion de ces observations dans des programmes de réanalyse**

Ces stations ont été considérées dans ERA40.

#### **4) Existence de longues séries d'observations**

On dispose sur le territoire national :

- de 70 longues séries homogénéisées centenaires de températures mensuelles, couvrant assez uniformément le territoire, incluant les 6 stations GSN
- de 27 séries centenaires homogénéisées de pression mensuelle
- de 18 séries centenaires homogénéisées d'insolation mensuelle
- d'environ 250 séries homogénéisées au moins centenaires de précipitations mensuelles, mais avec une couverture inégale du territoire.

Par ailleurs, des séries quotidiennes de référence ont été établies, portant sur des périodes homogènes plus courtes.

## Sources utilisées

- WMO Publication No. 9, Volume A, Observing Stations, pour la contribution française au GOS (<ftp://ftp.wmo.int/wmo-ddbs/Pub9volA080630.flatfile> )
- Catalogue DSO pour les contributions de MF aux principaux réseaux internationaux à <http://dsonet.dso.meteo.fr/php/dsoreso/catalogue/reseaux.php> (rubrique Contribution aux réseaux internationaux), dont la dernière mise à jour date de janvier 2008
- Site web du GCOS pour “Ocean Reference Mooring Network and sites on Small Isolated Islands” (<http://www.wmo.ch/pages/prog/gcos/index.php?name=networks>), mais a priori c’est l’information que l’on fournit qui est censée être utilisée pour la mise à jour de ce site !
- Site DClim/Dev pour les longues séries climatiques de référence et les séries quotidiennes de référence (<http://dpnet.meteo.fr/DCLIM/dev/> )
- Centre de Météorologie Marine (CMM)/Pierre Blouch pour les renseignements sur les bouées dérivantes
- Requêtes SQL sur la BDclim pour le détail des stations mesurant le rayonnement (DClim/BD)

## II.1 RESEAU DE SURFACE GSN

Le réseau météorologique de surface (GSN) comprend les **6** stations suivantes en **France métropolitaine** : Rennes, Strasbourg-Entzheim, Bourges, Toulouse-Blagnac, Marseille-Marignane 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 (RBSN) au niveau OMM, pour la diffusion des données. De ce fait les séries de données anciennes (moyennes mensuelles et quotidiennes) ainsi que les méta-données et les données journalières, sont régulièrement fournies au Centre Climatique mondial d'Asheville (USA) sous forme de messages CLIMAT.

**36** autres stations métropolitaines du RBCN produisent également des messages CLIMAT (voir Catalogue DSO).

Pour la **France d'Outre mer** le réseau GSN comprend les **19** stations suivantes :

- Guyane : Cayenne-Rochambeau
- Guadeloupe : Le Raizet
- Océan indien et Terres australes : Dzaoudzi-Pamanzi (Mayotte), Martin de Vivies (Ile Amsterdam), Port-aux-Français (île Kerguelen), Europa (Iles Eparses), Alfred-Faure (Ile Crozet), Dumont d'Urville (Antarctique)
- Nouvelle Calédonie : Koumac, Nouméa, Hififo (Ile Wallis)
- Polynésie Française : Bora-Bora, Faaa, Mangareva, Hereheretue, Hiva-Oa, Rapa, Takaroa, Tubai

**8** autres stations du RBCN pour l'Outre mer produisent des messages CLIMAT : Le Lamentin, Saint Georges de l'Oyapock, Saint Laurent du Maroni, Maripasoula, Gillot, Iles Glorieuses, Juan de Nova, et Tromelin

**Table 1a. National contributions to the surface-based atmospheric essential climate variables**

Contributing networks specified in the GCOS implementation plan	ECVs <sup>a</sup>	Number of stations or platforms currently operating	Number of stations or platforms operating in accordance with the GCMPs	Number of stations or platforms expected to be operating in 2010	Number of stations or platforms providing data to the international data centres	Number of stations or platforms with complete historical record available in international data centres
GCOS Surface Network (GSN)	Air temperature	25 (6/19)*	25	25	25	25
Full World Weather Watch/Global Observing System (WWW/GOS) surface network	Air temperature, air pressure, wind speed and direction, water vapour	219 (177/42)* - RBSN : (48 /37)* - RBCN : (42/27)*	219	219	219	219
	Precipitation	219	219	219	219	219
Baseline Surface Radiation Network (BSRN)	Surface radiation	1 En métropole	1	1	1	1
Solar radiation and radiation balance data	Surface (global) radiation	274 (195/79)*	274	274	274	274
Ocean drifting buoys	Air temperature, air pressure	47 Atlant. (27) Indien (20)	47	47	47	47
Moored buoys	Air temperature, air pressure	7 (5/2)*	7	7	7	7
Voluntary Observing Ship Climate Project (VOSclim)	Air temperature, air pressure, wind speed and direction, water vapour	21	21	21	21	21
Ocean Reference Mooring Network and sites on small isolated islands	Air temperature, wind speed and direction, air pressure	0	0	0	0	0

Contributing networks specified in the GCOS implementation plan	ECVs <sup>a</sup>	Number of stations or platforms currently operating	Number of stations or platforms operating in accordance with the GCMPs	Number of stations or platforms expected to be operating in 2010	Number of stations or platforms providing data to the international data centres	Number of stations or platforms with complete historical record available in international data centres
	Precipitation	0	0	0	0	0

\* (x/y) means : x number of stations in metropolitan area, y number of stations in over-seas territories.

## II.2 RESEAU D'ALTITUDE GUAN

Ce réseau concerne la mesure en altitude (Radio-sondage). En **métropole** il n'y a pas de station GUAN, mais les **7** stations d'altitude du RBCN (Brest, Trappes, Nancy, Lyon, Bordeaux, Nîmes et Ajaccio) délivrent des messages CLIMAT TEMP.

**Outre Mer** il comprend les **9** stations suivantes :

- Guyane : Cayenne-Rochambeau
- Océan indien et Terres australes : Serge Frolow (île Tromelin), Martin de Vivies (île Amsterdam), Port-aux-Français (île Kerguelen), Dumont d'Urville (Antarctique)
- Nouvelle Calédonie : Nouméa
- Polynésie Française : Hiva-Oa, Tahiti-Faaa, Rapa

4 autres stations d'Outre mer du RBCN diffusent des messages CLIMAT TEMP : Le Raizet, Mangareva, Takaroa et Tubai.

**Table 1b. National contributions to the upper-air atmospheric essential climate variables**

Contributing networks specified in the GCOS implementation plan	ECVs	Number of stations or platforms currently operating	Number of stations or platforms operating in accordance with the GCMPs	Number of stations or platforms expected to be operating in 2010	Number of stations or platforms providing data to the international data centres	Number of stations or platforms with complete historical record available in international data centres
<b>GCOS Upper Air Network (GUAN)</b>	Upper-air-temperature, upper-air wind speed and direction, upper-air water vapour	<b>9</b>	<b>9</b>	<b>9</b>	<b>9</b>	<b>9</b>
<b>Full WWW/GOS Upper Air Network</b>	Upper-air-temperature, upper-air wind speed and direction, upper-air water vapour	<b>20</b> -RBCN (7/13)*	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>20</b>

\* (x/y) means : x number of stations in metropolitan area, y number of stations in over-seas territories.

## II.3 Réseau physico-chimique GAW

### a) Réseau NDACC/GAW

1) Les difficultés rencontrées avec ces lignes directrices

Les mesures sont effectuées dans le cadre du réseau NDACC-France (Network for Detection of Atmospheric Composition Change).

2) Le type d'archivage et d'accessibilité des données

Données archivées sur le NDACC.

3) La pérennité du réseau à 5 ou 10 ans

Le réseau NDACC-France fait partie des Services d'Observation de l'IPSL et constitue un Observatoire de Recherche en Environnement) ce qui assure un fonctionnement pérenne.

4) Le rattachement de ces observations à des programmes de recherche

Les données sont rattachées à plusieurs programmes de recherche au niveau national et au niveau international : NDACC, EU/GEOMON, ESA/MULTI-TASTE.

5) L'insertion de ces observations dans des programmes de réanalyse

Les programmes de ré-analyse sont prévus par le NDACC.

6) L'existence de longues séries d'observations.

Les premières mesures ont commencé en 1988 pour le SAOZ (Système d'Analyse par Observations Zénithales) et en 1986 pour le Lidar.

Ce réseau GAW concerne les mesures physico-chimiques de l'atmosphère. Il est constitué en métropole des quatre stations d'observation suivantes : Abbeville, Gourdon, Carpentras et l'Observatoire de Haute Provence (OHP). A Abbeville et à Gourdon est mesurée l'acidité des précipitations (programme BAPMON) et le rayonnement est mesuré à Carpentras (cf. § b)). Des mesures d'Ozone (profils et colonnes totales) sont effectuées régulièrement par le Service d'Aéronomie du CNRS à l'OHP mais également à Dumont d'Urville (Antarctique), à Saint Denis de la Réunion (en collaboration avec l'Université) et dans l'île de Kerguelen dans le cadre du réseau ORE/NDACC. En complément de ces stations françaises, des mesures de colonnes totales d'ozone sont également effectuées par le Service d'Aéronomie du CNRS dans d'autres stations du réseau NDACC réparties sur le globe (cf. Tableau 1 ci-dessous).

Stations	Pays	Lieu	Début	Instruments	Mesures
ScoresbySund	Groenland	70 N, 2 W	Nov. 91	SAOZ	Colonnes O <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub>
Zhigansk	Sibérie (Est)	67 N, 123 E	Dec. 91	SAOZ	Colonnes O <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub>
Sodankyla	Finlande	67 N, 27 E	Mar. 90	SAOZ	Colonnes O <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub>
Salekhard	Sibérie (Ouest)	67 N, 67 E	Nov. 98	SAOZ	Colonnes O <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub>
OHP	France	44 N, 6 E	Jun. 92	SAOZ	Colonnes O <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub>
			1986	Lidar	Profils O <sub>3</sub>
Réunion	Ile de la Réunion	21 S, 55 E	Fév. 94	SAOZ	Colonnes O <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub>
			2000	Lidar	Profils O <sub>3</sub>
Bauru	Brésil	22 S, 48 W	Nov. 95	SAOZ	Colonnes O <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub>
Kerguelen	Kerguelen	49 S, 70 E	Déc. 95	SAOZ	Colonnes O <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub>
Rio Gallegos	Kerguelen	49 S, 70 E	Mar. 08	SAOZ	Colonnes O <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub>
Dumont	Terre Adélie	67 S, 142 E	Jan. 88	SAOZ	Colonnes O <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub>
			1991	Lidar	Profils O <sub>3</sub>
Concordia	Antarctique	75 S, 123 E	Jan. 07	SAOZ	Colonnes O <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub>

Tableau 1: Sites de mesure d'ozone, réseau NDACC / GAW

## b) Réseau GAW/BAPMON

### 1) Présentation du réseau (mesure de l'acidité des précipitations)

Le réseau GAW/BAPMON de surveillance de la composition chimique des précipitations a été mis en place en France en 1977 avec 6 stations régionales. Du fait de l'automatisation du réseau réalisée en 1988, trois sont opérationnelles actuellement (Abbeville, Carpentras et Gourdon). On effectue les mesures suivantes : les hauteurs des précipitations récoltées dans le pluviomètre de référence et dans le pluviomètre pollution ; la composition chimique des précipitations à savoir pH, conductivité électrique, cations ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{NH}_4^+$ ), anions ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ) et Acidité /Alcalinité ; les conditions météorologiques lors de la collecte d'échantillons de précipitations.

Les prélèvements des précipitations sont réalisés à l'aide d'un pluviomètre à ouverture pluvio-commandée (échantillonnage mensuel de 1977 à 1983, hebdomadaire depuis 1984).

L'environnement des stations de mesure a évolué et ne respecte plus les recommandations relatives au positionnement des sites de prélèvement (cf. *GAW N°160, p. 10*), en particulier en ce qui concerne la distance minimale souhaitée à des sources potentielles de pollution. Un audit global du réseau de mesures a été demandé au programme AREP (Atmospheric Research and Environment Program) de l'OMM dont dépend le programme BAPMON.

### 2) Difficultés rencontrées avec les lignes directrices GCOS

La Direction des Systèmes d'Observation a pris en compte les dix principes du SMOC (GCOS Monitoring Principles) pour l'ensemble des réseaux d'observation et les a déclinés en actions spécifiques de management de la qualité pour l'Observation à Météo-France.

### 3) Type d'archivage et d'accessibilité des données

L'archivage des données du réseau est réalisé (i) A l'OMM au WDCPC (World Data Center for Precipitation Chemistry, Atmospheric Sciences Research Center, New York, USA) ([mica.asrc.cesm.albany.edu/qasac](http://mica.asrc.cesm.albany.edu/qasac)); (ii) à la Direction des Systèmes d'Observation et à la Direction de la Climatologie (Météo-France) ; les données sont obtenues via une requête auprès du gestionnaire de la base mondiale des données, ou auprès de Météo-France.

### 4) Pérennité du réseau à 5 ou 10 ans

La couverture sur le territoire français, pour la mesure de chimie des précipitations, est suffisante. Le réseau MERA (Mesure des Retombées Atmosphériques) coordonné par l'ADEME et l'Ecole des Mines de Douai, et participant au programme EMEP (European Monitoring and Evaluation Programme) possède une dizaine de stations de mesures de chimie des précipitations. Ainsi le réseau de stations de mesure de chimie des précipitations géré par Météo-France, au regard des critères d'implantation, pourrait se réduire de trois stations à une seule station « multi-paramètre », ce qui réduirait les coûts du réseau mais également permettrait de pérenniser au moins une station de mesure de chimie des précipitations, qui pourrait être multi-paramètre (ozone, aérosols).

### 5) Pas de rattachement de ces observations à des programmes de recherche

### 6) Pas d'insertion de ces observations dans des programmes de réanalyse

Cependant, un groupe de travail d'experts OMM s'est constitué en 2007 pour réaliser une évaluation mondiale des données de chimie des précipitations en se basant sur la comparaison entre les observations et des données modélisées.

### 7) Existence de longues séries d'observations

Le réseau a débuté en 1977. Météo France dispose ainsi d'une base de données de chimie des précipitations de 30 ans avec des mesures réalisées par le même laboratoire.

### *c) Le Réseau RAMCES pour le suivi de la composition atmosphérique de fond*

#### **1. Introduction**

Le suivi à long terme des gaz à effet de serre s'effectue avec le réseau RAMCES d'observatoires atmosphériques, qui fait partie des ORE (Observatoire de Recherche en Environnement) du Ministère de la Recherche. Cet observatoire répond à deux objectifs :

- Comprendre le cycle des principaux gaz à effet de serre –GES (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, SF<sub>6</sub>) et leur rôle au sein du système climatique. La connaissance des flux permet de valider des modèles bio-géochimiques et des scénarios socio-économiques d'émissions, qui sont utilisés pour prédire l'évolution des sources et puits dans le futur.
- 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.

Pour ces objectifs, il faut régionaliser les flux de CO<sub>2</sub>. On étudie en priorité le CO<sub>2</sub>, premier gaz à effet de serre facteur de changement climatique, qui a augmenté de 30% au cours des 100 dernières années en réponse aux émissions industrielles et aux changements d'occupation des sols. Convertir les émissions de GES 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 CO<sub>2</sub> dans l'air, avec des temps de réponse très différents. Cette régionalisation des flux de GES est réalisée par le LSCE en effectuant des mesures régulières et très précises de CO<sub>2</sub> et autres GES sur un réseau global d'observatoires pour déduire la distribution spatio-temporelle des sources et des puits par inversion d'un modèle de transport.

#### **2. Les observatoires du réseau RAMCES**

Un premier observatoire de mesures en continu du CO<sub>2</sub> existe depuis 1981 sur l'île Amsterdam (TAAF). Un second observatoire de suivi en continu du CO<sub>2</sub> a été initié en 1992 à Mace Head, sur la côte ouest irlandaise. Ces deux observatoires de la troposphère sont intégrés dans le réseau GAW de l'OMM. En 2001 des analyseurs de CO<sub>2</sub> ont été installés dans les stations de Puy de Dôme et Saclay en France, et deux nouveaux observatoires ont été équipés en 2005 à Biscarosse, France et Hanle, Inde (cf. Tableau 2 ci-dessous).

Outre le CO<sub>2</sub>, plusieurs composés atmosphériques sont mesurés dans certains observatoires (Radon-222, CO, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O) qui permettent de développer approche multi-traceurs pour mieux comprendre les sources de ces espèces, et retracer l'origine des masses d'air (cf. tableau ci-dessous). Le CO en particulier est très utile pour déduire séparément le CO<sub>2</sub> d'origine fossile.

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 est l'une des toutes premières séries de mesures en atmosphère continentale et a permis de quantifier la variabilité saisonnière du CO<sub>2</sub> dans la basse troposphère. Depuis 2001 de telles mesures sont effectuées dans d'autres sites en Europe (cf. Tableau 2 ci-dessous) dans le cadre du programme européen CARBOEUROPE-IP ([www.carboeurope.org](http://www.carboeurope.org)).

Site	Latitude	Longitude	Alt. (m)	Début	Mesures in-situ	Mesures discontinues (fréquence de prélèvement)
<b>OBSERVATOIRES</b>						
Ile Amsterdam	37°57'S	77°32'E	70	1980	CO <sub>2</sub> , Radon, Météo	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O, SF <sub>6</sub> , CO, isotopes CO <sub>2</sub> (4 / mois)
Mace Head	53°20'N	9°54'W	25	1992	CO <sub>2</sub> , Radon, Météo	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O, SF <sub>6</sub> , CO, isotopes CO <sub>2</sub> (4 / mois)
Puy de Dôme	45°45'N	3°00'E	1465	2001	CO <sub>2</sub> , Radon	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O, SF <sub>6</sub> , CO, isotopes CO <sub>2</sub> (4 / mois)
Saclay	48°43'N	2°09'E	165	2001	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O, SF <sub>6</sub> , CO, Radon, Météo	-
Biscarosse	44°22'N	1°13'W	115	2005	CO <sub>2</sub>	-
Hanle	32°46'N	78°57'E	4517	2005	CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O, SF <sub>6</sub> , CO, isotopes CO <sub>2</sub> (4 / mois)
<b>MESURES AEROPORTEES</b>						
Orléans	48°50'N	2°30'E	100-3000	1996	CO <sub>2</sub> , Météo	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O, SF <sub>6</sub> , CO, isotopes CO <sub>2</sub> (3 / mois)
Fyodoroskoye	56°28'N	32°55'E	100-3000	1998	CO <sub>2</sub> , Météo	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O, SF <sub>6</sub> , CO, isotopes CO <sub>2</sub> (1 / mois)
Hegyatsal	46°57'N	16°39'E	100-3000	2001	-	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O, SF <sub>6</sub> , CO, isotopes CO <sub>2</sub> (2 / mois)
Griffin	56°36'N	3°47'W	100-3000	2001	-	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O, SF <sub>6</sub> , CO, isotopes CO <sub>2</sub> (1 / mois)
Ubs-Nur	51°30'N	95°35'E	100-3000	2002	CO <sub>2</sub> , Météo	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O, SF <sub>6</sub> , CO, isotopes CO <sub>2</sub> (1 / mois)
<b>RESEAU DE PRELEVEMENT D'AIR</b>						
Ile Grande	48°35'N	4°40'W	20	1998	-	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O, SF <sub>6</sub> , CO, isotopes CO <sub>2</sub> (4 / mois)
Tromelin	15°53' S	54°31'E	20	1998	-	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O, SF <sub>6</sub> , CO, isotopes CO <sub>2</sub> (4 / mois)
Cape Grim	40°41'S	144°41'E	94	1998	-	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O, SF <sub>6</sub> , CO, isotopes CO <sub>2</sub> (1 / mois)
Begur	41°58'N	3°13'E	13	2000	-	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O, SF <sub>6</sub> , CO, isotopes CO <sub>2</sub> (4 / mois)
Finokalia	35°19'N	25°40'E	130	2000	-	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O, SF <sub>6</sub> , CO (2 / mois)
Hanle	32°46'N	78°57'E	4517	2004	-	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O, SF <sub>6</sub> , CO (2 / mois)
Pic du Midi	42°56'N	0°08'E	2877	2001	-	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O, SF <sub>6</sub> , CO (4 / mois)
Loobos	52°10'N	5°45'E	24	2004	-	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O, SF <sub>6</sub> , CO (1 / mois)
Cape Point	34°21'S	18°29'E	230	2004	-	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O, SF <sub>6</sub> , CO, isotopes CO <sub>2</sub> (2 / mois)
Marion Dufres.		Océan Indien	20	1996	-	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O, SF <sub>6</sub> , CO, isotopes CO <sub>2</sub> (1 / an)

Tableau 2: Sites de mesure et prélèvements RAMCES, et composés mesurés.

### 3. Les mesures dans l'Océan Indien (OISO)

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 basé sur le navire océanique Marion-Dufresne, avec le projet de 3 stations de prélèvement d'air sur flacons à La Réunion, à Tromelin (opérationnel depuis 1997) et aux Maldives. Ces stations complétées par Amsterdam (continu) et Crozet (collaboration avec la NOAA) permettent une bonne caractérisation du rôle de cette région dans le cycle du carbone.

### 4. Les projets européens GEMS, ICOS et GEOMON

Le projet **GEMS** (Global Earth-system Monitoring Satellite and in Situ Data) vise la surveillance de la composition de l'atmosphère (BAMS, 89, 1147-1164). Le projet GEMS combine l'expertise à la fois sur la recherche et l'observation de la composition de l'atmosphère (comme RAMCES) et sur la prévision numérique du temps pour construire un système de surveillance et de prévision pour les GES, les gaz réactifs, les aérosols et la qualité de l'air. Ce projet a étendu le système d'assimilation de données du Centre Européen (CEPMNT) pour inclure différents traceurs, pour lesquels l'observation satellite existe, ainsi qu'un modèle de chimie-transport. 32 organismes européens collaborent à ce projet parmi lesquels 8 organismes français (INERIS, LA, LMD, LSCE, LOA, LISA, CNRM/Météo-France, SA). Ce projet se rattache plus largement au projet européen GMES. Enfin dans ce domaine de la composition chimique de l'atmosphère il faut aussi mentionner les projets européens ICOS (Integrated Carbon Observation Strategy) et GEOMON (Geo-Monitoring).

**ICOS** (Integrated Carbon Observation Strategy) est un observatoire des flux de gaz à effet de serre (GES) pour permettre une surveillance de leurs sources et puits et une compréhension du cycle de ces gaz. C'est un projet de Très Grands Instruments classé prioritaire à l'échelle européenne (ESFRI). L'enjeu est de mesurer les tendances et la variabilité des émissions de gaz à effet de serre pour le continent européen et les régions adjacentes, en particulier la

Sibérie et l'Afrique. L'observatoire se compose d'un réseau de stations de mesure des concentrations atmosphériques (20 observatoires de concentration de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> et N<sub>2</sub>O) et des flux échangés par les écosystèmes (20 tours de mesure de flux). On espère pouvoir connaître les bilans de GES journaliers à l'échelle de 10 Km en Europe, grâce à un système d'assimilation des données, permettant d'établir des cartes journalières. Cette activité doit permettre à l'Europe, qui est le 3<sup>ème</sup> émetteur mondial de CO<sub>2</sub>, après les USA et la Chine, et qui a signé le Protocole de Kyoto de surveiller régionalement les émissions de CO<sub>2</sub> et d'autres GES. La composante française de ce projet européen comprend le siège européen, la plateforme de communication sur le cycle du carbone à destination du public et le centre thématique « atmosphère ». Ce centre thématique développe les capteurs, effectue un traitement centralisé des données en produisant des cartes journalières de flux de carbone, enfin il pourra valider les mesures spatiales. L'Allemagne possède le centre chargé de l'étalonnage et de la fabrication des standards, tandis que l'Italie possède le centre thématique « Végétation et sols ». En France une dizaine de laboratoires de recherche et cinq organismes sont associés à ce projet. Pour en savoir plus voir le site : [www.icos-infrastructure.eu](http://www.icos-infrastructure.eu) .

### **GEOMON (Geo monitoring)**

Le projet européen GEOMON (lancé en février 2007 à Paris) a pour mission de coordonner la surveillance de la qualité de l'air et de suivre l'évolution du climat principalement au-dessus de l'Europe. Ce projet contribuera à améliorer les prévisions d'évolution futures du climat et de la qualité de l'air et à évaluer les effets des mesures de réduction des émissions de GES. En France, le projet implique des équipes du CEA, qui coordonne le projet, du CNRS/INSU, du CNES et de l'Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines.

Pour surveiller les changements de la qualité de l'air et du climat, il faut combiner trois types d'observations : celles obtenues en continu depuis l'espace par les satellites, celles réalisées par des réseaux d'observatoires implantés sur les continents et celles effectuées par des avions de ligne instrumentés. Mais la disparité de ces observations, la multiplicité et l'hétérogénéité des bases de données limitent l'exploitation de cet important gisement d'informations.

Le projet Geomon (6<sup>ème</sup> PCRD) vise à construire un dispositif intégré à l'échelle de l'Europe d'observations de la composition atmosphérique à partir de systèmes d'observation déjà déployés. Il s'inscrit dans le cadre de la stratégie internationale visant à mettre en place un système coordonné et intégré (incluant missions spatiales et modélisation numérique) d'observation globale de la Terre (Global Earth Observation System of Systems - GEOS).

Durant la période 2007-2011, les 38 laboratoires européens de recherche partenaires de Geomon travailleront de concert afin de mettre en place cet outil indispensable.

Les nombreux réseaux de mesures existants seront harmonisés pour produire des données compatibles et des méthodologies seront développées pour associer les données enregistrées au sol et par satellites. Enfin, une base de données commune sera créée, qui permettra à l'ensemble des partenaires européens d'accéder à des observations cohérentes de la composition atmosphérique.

Ce dispositif permettra de suivre l'évolution de la concentration des gaz à effet de serre, de la composition chimique de la troposphère (0 -12 km) et de la stratosphère (12-50 km) et de la distribution des particules de tout type (carbonées, volcaniques, anthropiques, de suie, désertiques...), notamment au-dessus de l'Europe. Il contribuera ainsi à améliorer les prévisions concernant les évolutions futures du climat et de la qualité de l'air et à évaluer les effets des grandes réglementations internationales de réduction des émissions anthropiques (Kyoto, Montréal...) sur la composition atmosphérique et le climat.

ESFRI : European Strategy Forum for Research Infrastructure ; INSU : Institut National des Sciences de l'Univers . Pour en savoir plus, voir le site : <http://geomon.ipsl.jussieu.fr>

**Table 1c. National contributions to the atmospheric composition**

<b>Contributing networks specified in the GCOS implementation plan</b>	<b>ECVs</b>	<b>Number of stations or platforms currently operating</b>	<b>Number of stations or platforms operating in accordance with the GCMPs</b>	<b>Number of stations or platforms expected to be operating in 2010</b>	<b>Number of stations or platforms providing data to the international data centres</b>	<b>Number of stations or platforms with complete historical record available in international data centres</b>
<b>World Meteorological Organization/ Global Atmosphere Watch (WMO/GAW) Global Atmospheric CO<sub>2</sub> &amp; CH<sub>4</sub> Monitoring Network</b>	Carbon dioxide	9/22	9/22	9/22		
	Methane	1/19	1/19	1/19		
	Other greenhouse gases	1/19	1/19	1/19		

x/y x is the number of continuous measurements ; y is the number of discontinuous ones.

<b>Contributing networks specified in the GCOS implementation plan</b>	<b>ECVs</b>	<b>Number of stations or platforms currently operating</b>	<b>Number of stations or platforms operating in accordance with the GCMPs</b>	<b>Number of stations or platforms expected to be operating in 2010</b>	<b>Number of stations or platforms providing data to the international data centres</b>	<b>Number of stations or platforms with complete historical record available in international data centres</b>
<b>WMO/GAW ozone sonde network<sup>a</sup></b>	Ozone	3	3	3		
<b>WMO/GAW column ozone network<sup>b</sup></b>	Ozone	11	11	11		
<b>WMO/GAW Aerosol Network<sup>c</sup></b>	Aerosol optical depth					
	Other aerosol properties					

<sup>a</sup> Including SHADOZ, NDACC, remote sensing and ozone sondes.

<sup>b</sup> Including filter, Dobson and Brewer stations.

<sup>c</sup> Including AERONET, SKYNET, BSRN and GAWPFR.

### **III. Observation de l'océan**

La contribution française à l'observation de l'océan pour le climat se développe dans le cadre du système GOOS (Système Mondial d'Observation des Océans), dont la mise en œuvre est coordonnée par la Commission mixte OMM-COI pour la Météorologie maritime et l'Océanographie (JCOMM). Cette contribution comprend les éléments suivants : navires d'observation volontaires (VOS) et occasionnels (SOOP), marégraphes, bouées météorologiques dérivantes et ancrées, enfin flotteurs de sub-surface (ARGO). On notera l'orientation pré-opérationnelle de cette observation de l'océan, avec les projets de modélisation MERCATOR, d'observation CORIOLIS et l'expérience d'assimilation de données GODAE (2003-2008).

#### **III.1 Navires d'observation volontaires (VOS)**

Il s'agit d'un programme d'observation de l'OMM avec environ 80 vaisseaux, équipés progressivement du système BATOS développé par Météo-France. C'est une observation atmosphérique, parfois doublée d'une observation océanique.

#### **III. 2 Navires d'observation occasionnels (SOOP)**

Il s'agit de mesures de la couche supérieure de l'océan (0-700m) grâce aux sondes XBT lancées par des navires d'observation occasionnels (SOOP). En 2007, 5 navires opéraient dans l'Atlantique tropical et 1 dans le Pacifique Ouest. Ce programme est réalisé par l'IRD et le CNRS (sondes fournies par la NOAA). Près de 300 profils sont diffusés chaque année grâce au système ARGOS, puis insérés dans le SMT à Toulouse (archivés au centre de données Coriolis). L'IRD et le CNRS ont également équipé 11 navires de thermo-salinographes pour mesurer la salinité de surface (ORE Sea Salinity Service : [www.legos.obs-mip.fr/observations/sss](http://www.legos.obs-mip.fr/observations/sss), LEGOS). Les données temps réel sont reçues au LEGOS et transmises au centre de données Coriolis (Ifremer-Brest). Les bases de données correspondantes sont gérées par l'IRD (Brest, Nouméa et Toulouse). Les données validées 30°N-30°S en temps différé sont actuellement disponibles sur le site de l'ORE-SSS pour la période 1950-2003. Les données temps différé post 2003 à l'échelle globale (validées avec collocalisation avec les mesures Argo) sont en cours de traitement, l'ensemble devant être disponible sur le site de l'ORE – SSS du LEGOS et au centre de données Coriolis (III.7).

Depuis 2001, les navires de recherche hauturiers français gérés par l'Ifremer, ainsi que les bâtiments océanographiques de la marine, transmettent en temps réel les données de thermo-salinographes et de sondes XBT acquises en routine au centre de données Coriolis (III.7). Dans le cadre du projet MerSea, ce service a été étendu à d'autres navires de recherches européens en particulier allemand, anglais et espagnol. Cet effort va se poursuivre dans le cadre du projet MyOcean, s'étendre à d'autres pays et également intégrer les Ferrybox dans la base de données Coriolis (III.7). Enfin le programme GOSUD (Global Ocean Survey Underway Data ; [www.ifremer.fr/gosud](http://www.ifremer.fr/gosud)) a pour objectif de collecter, traiter, d'archiver et distribuer en temps réel et différé la salinité de surface de la mer et d'autres variables océaniques mesurées en continu par les navires de recherche et d'opportunité.

#### **III. 3 Réseau de marégraphes (GLOSS)**

Les marégraphes fournissent des données de hauteur de niveau des mers utiles pour la circulation générale de l'océan et pour la surveillance du climat. En outre ces données sont utilisées pour caler les données des satellites altimétriques (ERS-1, Topex/Poseidon, JASON).

Les réseaux de marégraphes français contribuent au Système mondial d'observation du niveau de la mer (GLOSS). Le réseau GLOSS comprend 15 stations sous la responsabilité de la France : Brest, Marseille, Nouméa, Nuku Hiva (îles Marquises), Rikitea (Gambier), Matavaï (Tahiti), Kerguelen, Amsterdam St Paul, Crozet, Dumont d'Urville, Clipperton, Fort de France, Pointe des Galets (La Réunion), Cayenne, Dzaouzi (Mayotte). Ces marégraphes sont opérés par le SHOM pour le réseau RONIM (Réseau d'Observation du Niveau de la Mer), le LEGOS et l'INSU pour le réseau ROSAME (Réseau d'Observation Subantarctique et Antarctique du niveau de la MER) et le CEA en Polynésie Française.

Les niveaux moyens journaliers mensuels et annuels constitués par le SHOM alimentent le Service permanent du niveau moyen des mers (Proudman Oceanographic Laboratory, Grande-Bretagne). Le portail SONEL hébergé par l'Université de La Rochelle diffuse les données des marégraphes français librement à l'usage des étudiants et chercheurs, en particulier au bénéfice des études sur l'évolution du niveau des mers.

### **III. 4 Bouées météorologiques dérivantes**

Météo-France déploie régulièrement des bouées dérivantes dans le cadre du groupe de coopération DBCP (Drift Buoy Cooperation Panel), organe subsidiaire de la JCOMM. Au sein du DBCP, Météo-France contribue aux travaux du groupe européen pour les stations océaniques E-SURFMAR (du réseau Eumetnet) et du programme international de bouées dans l'Océan Indien (IBPIO). Ces groupes maintiennent le réseau de bouées, vérifient la qualité de la mesure, la diffusion sur le SMT, et permettent l'échange d'informations et la mise au point de nouvelles techniques.

Ces bouées mesurent la pression atmosphérique, la température de surface de la mer (SVP-B), pour certaines le vent (Marisonde G ou SVP-BW) et la température de la mer en profondeur jusqu'à 300 m (Marisonde GT). Les systèmes Argos et Iridium sont utilisés pour la localisation et la transmission des données d'observation horaire.

Chaque année Météo-France coordonne le déploiement d'une centaine de bouées dans l'Atlantique Nord pour E-SURFMAR. Dans le cadre d'IBPIO, Météo-France contribue à l'observation dans l'Océan Indien en équipant chaque année une trentaine de flotteurs SVP d'océanographes américains, de capteurs de mesure de pression atmosphérique. Météo-France assure la coordination de ces deux réseaux de bouées dérivantes au plan international.

### **III. 5 Bouées météorologiques ancrées**

En plus des stations océaniques Brittany et Gascogne qui sont tenues sur le Proche Atlantique en coopération avec le Meteorological Office du Royaume-Uni, Météo-France met en oeuvre des bouées océaniques ancrées sur trois autres sites depuis 1999. Deux au large des Antilles, sur des fonds de 5500 m et une autre au large de Nice sur des fonds de 2300 m. Un quatrième site a été instrumenté dans le Golfe du Lion en Méditerranée en 2001.

On effectue des observations horaires de pression atmosphérique, température, humidité et vent, ainsi que la température de la mer à 1m de profondeur. Les données sont transmises via Météosat. La localisation des bouées s'effectue grâce au système GPS et à une balise Argos. Enfin une instrumentation météorologique est maintenue en mer d'Iroise, sur la bouée phare ancrée sur le rail d'Ouessant (Centre d'Etudes Techniques Maritimes et Fluviales).

Quatre houlographes directionnels sont ancrés près des Antilles. Les données suivantes : hauteur significative, période et spectre de houle, ainsi que la température de la mer, sont observées toutes les demi-heures et transmises par le système Argos.

Les bouées ancrées au large fournissent régulièrement leurs messages qui transitent sur le SMT et viennent enrichir les données échangées à travers le monde dans le cadre de la Veille Météorologique Mondiale.

### III. 6 L'observatoire PIRATA (Bouées dans l'Atlantique tropical)

Le programme PIRATA (Pilot Research moored Array in the Tropical Atlantic) consiste à maintenir un réseau de bouées de mesures météo-océaniques en des points représentatifs de la variabilité climatique en Atlantique Tropical. Il a été mis en place en 1997 avec 10 bouées dans le cadre du programme international CLIVAR et avec des équipes scientifiques de la France, du Brésil et des USA. L'IRD est maître d'œuvre des campagnes et la coordination est assurée par Météo-France et l'INSU. Des mesures de courant de surface au milieu du bassin (23°W-Equateur), un marégraphe et une station météorologique à l'île de São Tomé (Golfe de Guinée) ont été intégrés au réseau. Jusqu'en 2005, le Brésil a maintenu les 5 sites ATLAS à l'Ouest de 30°W. La France maintient les 5 autres sites ATLAS ainsi que les 2 sites ADCP en (10°W et 23°W-Equateur).

Après une phase pilote 1997-2001, le programme s'est consolidé jusqu'en 2008. Ce réseau permet d'étudier le forçage et le couplage entre l'atmosphère et l'océan dans l'Atlantique Tropical, l'influence des flux de chaleur air-mer (et de quantité de mouvement) sur la position et l'intensité de la zone inter-tropicale de convergence (ITCZ) et sur les systèmes convectifs du Golfe de Guinée et de la région ouest du bassin. Il étudie aussi la variabilité de la température de surface de l'océan en relation avec le contenu thermique, enfin les téléconnexions existant entre cette région et d'autres régions (ENSO, NAO, variabilité Atlantique sud). En France, il est mené en étroite collaboration entre l'IRD (LEGOS), Météo France (CNRM) et le CNRS/INSU (LOCEAN).

Le programme PIRATA met les mesures à la disposition de la communauté scientifique :

- en temps quasi-réel pour les moyennes quotidiennes des bouées ATLAS, les données marégraphe de São Tomé et les profils thermiques obtenus pendant les campagnes ([www.pmel.noaa.gov/tao/data\\_deliv/deliv-pir.html](http://www.pmel.noaa.gov/tao/data_deliv/deliv-pir.html))
- dès que possible pour les données acquises pendant les campagnes et les données de courant, après traitement et validation ([ftp.ifremer.fr/ifremer/ird/pirata/pirata-data](http://ftp.ifremer.fr/ifremer/ird/pirata/pirata-data)).

La maintenance du réseau implique de réaliser au moins une campagne océanographique par an, et à ce jour 18 campagnes ont été réalisées depuis 1997. De 2005 à 2007, les campagnes PIRATA ont été associées aux campagnes du programme EGEE, volet océanographique du programme AMMA. Au niveau international, le réseau PIRATA a été amené à se développer et regroupe désormais 17 bouées ATLAS, deux mouillages courantométriques et des marégraphe. C'est ce qui représente le support de base des mesures météo-océaniques pour l'étude des processus climatiques saisonniers à interannuels au sein de l'Atlantique Tropical dans le cadre des programmes AMMA (2005-2010), et TACE (Tropical Atlantic Climate Experiment, 2007-2011). Une évaluation scientifique par CLIVAR et OOPC va pérenniser le programme PIRATA pour 2009-2013, grâce aux trois partenaires : France, Brésil et USA. Il s'intitule désormais « Prediction and Research Moored Array in the Tropical Atlantic ». PIRATA a permis de réaliser de nombreuses études au sein de laboratoires français, portant sur les flux air-mer, les processus océaniques et les techniques d'assimilation de données, notamment dans le cadre du projet MERCATOR. (cf. Bourlès et al., 2008, *Bulletin of the American Meteorological Society*, 89, 1111-1125).

### III. 7 Le projet d'océanographie opérationnelle CORIOLIS

Les sept agences françaises concernées par l'océanographie (CNES, CNRS, Ifremer, IPEV, IRD, Météo-France, SHOM), développent conjointement un système complet et cohérent d'océanographie opérationnelle comprenant trois axes : l'altimétrie satellitaire (JASON), la modélisation numérique globale avec assimilation (MERCATOR), les mesures in situ (CORIOLIS). Le projet CORIOLIS constitue une structure pré-opérationnelle d'acquisition, de collecte, de validation et de diffusion de données océaniques mondiales (profils de température et salinité, et de courants) répondant aux besoins des modélisateurs (comme MERCATOR) et de la communauté scientifique (dans le cadre de CLIVAR). Ainsi le projet CORIOLIS poursuit quatre objectifs décrits ci-dessous.

1. Construire un centre de gestion des données, qui est l'un des deux centres ARGO de l'expérience mondiale GODAE, capable de fournir des données en temps réel et différé. Le centre CORIOLIS acquiert tous les profils de température et salinité en temps quasi réel (sur une base quotidienne) en provenance du SMT et également des programmes internationaux Argo, Gosud et Ocean-SITES (données de bouées ancrées). Ces données provenant de sondes XBT, de capteurs CTD, de bouées ancrées, de flotteurs profileurs, de bouées dérivantes sont mises en ligne: <http://www.coriolis.eu.org>.

2. Contribuer au déploiement du réseau ARGO surtout dans l'Atlantique, mais également en Océan Austral et Indien, avec plus 400 flotteurs profileurs qui ont été déployés entre 2001 et 2008. Le projet Coriolis coordonne la contribution française à ARGO qui correspond à près de 10% du réseau mondial.

3. Développer et améliorer les profileurs ARGO. PROVOR est un flotteur auto-ballasté, capable de séjourner à une profondeur de dérive donnée, de plonger à 2000 m et de remonter en effectuant un profil de température et de salinité transmis à terre via le système Argos. Le flotteur PROVOR est capable d'effectuer plus de 150 cycles pendant sa durée de vie de 4 ans. Les nouveaux profileurs ARVOR, plus petits, moins chers et déployables depuis des navires d'opportunité, sont en phase de qualification.

4. Acquérir, valider et traiter dans CORIOLIS en temps réel, les autres données acquises aujourd'hui en routine par les différents organismes français et provenant des flotteurs de surface, des bouées ancrées PIRATA, des navires de recherche (sondes bathythermiques XBT, thermo-salinographes et profileurs de courant ADCP).

Dans le cadre du projet européen MerSea le projet Coriolis a étendu ses services à la communauté européenne en intégrant les données des navires de recherches, des flotteurs, des données de mouillages ainsi que quelques paramètres biogéochimiques. Des recommandations ont été faites en 2007 pour transformer le projet pilote CORIOLIS en une activité contribuant à l'observation pérenne des océans dans la suite des expériences ARGO/GODAE (2003-2008). Ce service sera renforcé et son périmètre étendu à l'échelle européenne dans le cadre du projet européen MyOcean (GMES). CORIOLIS devrait pérenniser un service in-situ pour l'océanographie opérationnelle après 2012 dans le cadre du Marine Core Service de GMES. Enfin dans le cadre du projet Euro-Argo, financé par l'union européenne et coordonné par l'Ifremer, un engagement pérenne des états membres européens et de l'union européenne devrait être établi afin de garantir la maintenance de 25% du réseau Argo (soit 250 flotteurs par an) pour au moins les 10 prochaines années.

**Table 3a. National contributions to the oceanic essential climate variables – surface**

Contributing Networks specified in the GCOS implementation plan	ECVs	Number of stations or platforms currently operating	Number of stations or platforms operating in accordance with the GCMPs	Number of stations or platforms expected to be operating in 2010	Number of stations or platforms providing data to the international data centres	Number of stations or platforms with complete historical record available in international data centres
Global surface drifting buoy array on 5x5 degree resolution	Sst, slp, position-change-based current					
GLOSS Core Sea-level Network	Sea level	15	15	15	15	15
Voluntary observing ships (VOS)	All feasible surface ECVs	80	80	80		
Ship of Opportunity Programme	All feasible surface ECVs	6/11*/16**	6/11*/16**	6/11*/16**	6/11*/16**	6/11*/16**

\* S only (IRD); \*\* T, S (Ifremer)

**Table 3b. National contributions to the oceanic essential climate variables – water column**

Contributing Networks specified in the GCOS implementation plan	ECVs	Number of stations or platforms currently operating	Number of stations or platforms operating in accordance with the GCMPs	Number of stations or platforms expected to be operating in 2010	Number of stations or platforms providing data to the international data centres	Number of stations or platforms with complete historical record available in international data centres
Global reference mooring network	All feasible surface and subsurface ECVs					
Global tropical moored buoy network	All feasible surface and subsurface ECVs	17	17	17		
Argo network	Temperature, salinity, (current)	160	160	200	160	160
Carbon inventory survey lines	Temperature, salinity, ocean tracers, biogeochemistry variables	1	1	1		

## **IV. Le réseau d'observations terrestres**

Le réseau d'observations terrestres (GTN) comprend l'observation des glaciers de montagne (IV.1), des observations hydrologiques (IV.2) et nivologiques (IV.3). On rapporte aussi les mesures de flux de carbone en lien avec les écosystèmes terrestres (IV.4), enfin l'observation des écosystèmes forestiers (IV.5).

### **IV. 1 Observation des glaciers de montagne**

Ces observations sont réalisées grâce à l'Observatoire Glacio-Clim qui est un Observatoire de Recherche en Environnement (ORE). Il étudie le fonctionnement des glaciers sous différentes latitudes (moyenne ; tropicale ; antarctique). Son site : [www-lgge.ujf-grenoble.fr/ServiceObs](http://www-lgge.ujf-grenoble.fr/ServiceObs)

Le Laboratoire de Glaciologie et de Géophysique de l'Environnement (LGGE) poursuit des observations glaciologiques sur les glaciers alpins depuis 1956. Ces observations permettent de déterminer le bilan de masse (accumulation et ablation) des glaciers des Alpes françaises, et les modifications géométriques et dynamiques de ces glaciers. 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. 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 de la dynamique, avec parfois un réseau de stations météorologiques permettant de calculer le bilan d'énergie à leur surface.

#### **IV. 1. 2 Réseau d'observation du LGGE**

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 (Argentière, Mer de Glace, Gébroulaz et Saint-Sorlin). On dispose ainsi d'observations dans la plupart des massifs alpins français, sur une plage d'altitude de plus de 1500 m et pour différentes expositions. Ces données, issues d'observations directes de bilans de masse, réalisées sur le glacier (carottages, balises), après validation 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 que ces observations sont adaptées pour détecter l'évolution des bilans énergétiques (fusion estivale) et l'évolution des précipitations hivernales (par accumulation) en haute montagne. Ce réseau comprend également les observations des fluctuations glaciaires de ces 4 glaciers. Depuis 2002, ce réseau est intégré dans l'Observatoire Glacio-Clim (cf. **IV.1.4**) dont l'objet est d'étudier les variations climatiques à partir des fluctuations glaciaires, et reconnu comme Service d'Observation de l'INSU en 2004. Dans ce cadre, de nouvelles observations météorologiques à proximité des glaciers ont été proposées afin de déterminer exactement la contribution des différentes composantes du bilan d'énergie sur les bilans de masse. Dans les Alpes, une station météorologique a été mise en place en 2005 sur le glacier de St Sorlin; une autre a été installée en 2006 sur le glacier d'Argentière. Outre les observations du LGGE, 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.

#### **IV. 1. 3 Réseau d'observation de l'IRD**

Le programme d'étude des glaciers de l'IRD 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  $\alpha$  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.

#### **IV. 1. 4 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 Observatoire de Recherche en Environnement (ORE) sur ces glaciers a été créé en 2001 par ces laboratoires et le Ministère de la Recherche. Il s'agit de l'Observatoire des glaciers 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 le cadre de cet Observatoire sont représentatifs de climats variés et s'alignent sur un méridien climatique allant de l'Equateur (glacier Antizana) aux Pôles (Dôme C et région côtière proche de Dumont d'Urville) en passant par la région subtropicale (glacier Zongo) et bien sûr les Alpes (glaciers d'Argentière et de Saint Sorlin). La partie polaire de ce projet est menée en collaboration avec l'Institut polaire Paul Emile Victor (IPEV).

##### *Partenaires de l'Observatoire GLACIOCLIM*

Ministère de la Recherche, INSU, OSUG, IRD, LGGE, IPEV (ex. IFRTP), CEMAGREF, CNR-ISAC (Italie), IHH en Bolivie et INAMHI en Equateur. Rattachement au réseau international d'observation des glaciers : WGMS (World Glacier Monitoring System) et GLIMS (Global Land Ice Monitoring from Space).

##### *Programmes scientifiques nationaux et internationaux*

WCRP/CLIC (World Climate Research Program/CLimate and Cryosphere), WCRP/CLIVAR (CLimate VARIability), SCAR/ISMAL (Scientific Committee for Antarctic Research/Ice Sheet MASS balance), SCAR/ITASE (International Trans-Antarctic Scientific Expedition), PNEDC (Programme National d'Etude de la Dynamique du Climat). Enfin les Actions Concertées Incitatives de l'Observatoire de la Terre « Potentiels et limites de la télédétection pour le suivi des glaciers de montagne » et « Changement Climatique et Cryosphère ».

#### **IV. 1. 5 Diffusion de l'information**

Les données archivées sur support informatique sont mises à la disposition de la communauté scientifique depuis mai 2001, sur le serveur du LGGE. Une partie des données concernant les bilans de masse et les fluctuations de longueur sont publiées dans "Fluctuations of Glaciers", publication quinquennale du Service Permanent sur les Fluctuations des Glaciers de la Commission Internationale des Neiges et des Glaces de l'UGGI (6 volumes depuis 1959). Les bilans de masse annuels des glaciers de Saint Sorlin et de Sarennes sont publiés depuis 1988 dans le bisannuel "Glacier Mass Balance Bulletin" du World Glacier Monitoring Service. Ceux du glacier Zongo, de Chacaltaya et de l'Antizana le sont depuis 1995.

#### **IV. 1. 6 Collaborations**

Ces collaborations entre le LGGE, le CEMAGREF et l'IRD s'effectuent dans le cadre du programme européen Glaciorisk sur les risques naturels d'origine glaciaire. Au niveau international C.Vincent (LGGE) est correspondant du World Glacier Monitoring Service. Dans les Alpes le LGGE a des relations étroites avec son homologue suisse V.A.W. de Zürich. Des collaborations existent avec nos collègues italiens et espagnols pour la mise en place de leurs réseaux d'observation dans le massif du Grand Paradis et dans celui de la

Maladeta. L'IRD collabore aussi avec des partenaires andins des pays où il travaille. B. Francou (IRD) est correspondant du World Glacier Monitoring Service.

#### **IV. 1. 6 Conclusion**

Certaines observations ont plus de 50 ans; le réseau doit durer plusieurs décennies, le fait qu'il soit un ORE (Observatoire de Recherche en Environnement) nous assure de cette pérennité. Ces longues séries d'observation (50 ans environ) sont archivées à l'ORE Glacio-Clim et au WGMS. Le WGMS (World Glacier Monitoring System) de l'Unesco collecte les observations des fluctuations de fronts et de bilans de masse (environ 65 glaciers), et des variations d'épaisseur de glaciers situés dans les différents massifs montagneux de la planète.

Enfin en ce qui concerne l'Himalaya, on espère inclure les observations des glaciers du Chhota Shigri (Inde) et du Mera Peak (Népal) dans le réseau Glacio-Clim.

Sources : Rapport au Ministère de la Recherche sur l'Observatoire Glacio-Clim en 2006.

#### **IV.2 Observations hydrologiques**

##### *Hauteur d'eau et débit des rivières en France*

En France, l'Etat surveille les principaux cours d'eau. Cette surveillance porte actuellement sur la France métropolitaine continentale, sur environ 20 000 km de cours d'eau sur les 120 000 km de cours d'eau de plus d'un mètre de large. Plus de 12 000 communes et 5 millions d'habitants sont placés en zone inondable sur le territoire national. 6300 communes bénéficient de la prévision des crues élaborées par l'Etat, rassemblant plus de 90% des populations situées en zone inondable. Des cellules de veille hydrologique en cours de montage en Corse et à La Réunion, et des demandes d'extension du domaine géographique de surveillance des crues en métropole, vont élargir ce périmètre surveillé par l'Etat.

L'Etat entretient des réseaux de mesure dans les cours d'eau, principalement de hauteur d'eau (la mesure directe du débit étant souvent plus délicate et plus onéreuse), comprenant plus de 1100 points de mesure temps réel pour la prévision des crues. D'autres points de mesure existent notamment dédiés au suivi de la ressource en eau et des étiages. Ce qui conduit à un réseau de 1500 points de mesure environ. Le débit est calculé en certains points à partir d'une courbe de tarage établie sur la base de jaugeages effectués au point de calcul (environ 10% seulement, soit une centaine de points de mesure de débit). La plupart des mesures effectuées alimentent la base nationale de données hydrométriques (Banque HYDRO), qui contient les données historiques de plus de 3500 points de mesure (2400 en service actuellement), appartenant à environ 150 producteurs de données (Etat, organismes de recherche comme le CEMAGREF mais aussi établissements publics, Agences de l'Eau et producteurs privés comme EDF ou la CNR). Le SCHAPI a en charge de gérer cette base de données, accessible gratuitement sur le site public : <http://www.hydro.eaufrance.fr/>. La localisation des points de mesure temps réel et leurs données sont également visibles sur le site public de la vigilance crues : <http://www.vigicrues.ecologie.gouv.fr/>.

Pour des compléments sur la Banque HYDRO, voir le site du ministère de l'écologie : [www.ecologie.gouv.fr/HYDRO-banque-nationale-de-donnees](http://www.ecologie.gouv.fr/HYDRO-banque-nationale-de-donnees)

#### *Paramètres de niveau, superficie, température des lacs*

Certaines données de hauteur d'eau dans les lacs peuvent être disponibles dans la banque HYDRO dans la mesure où certaines stations de mesure de hauteur sont implantées sur des plans d'eau, mais pas de température. Sinon, la localisation des données dépend du gestionnaire du plan d'eau (Etat, EDF, CNR, collectivité, syndicat des eaux...) et la politique de diffusion des données également, même si certains accès sont possibles.

CEMAGREF : Centre d'Etude du Machinisme Agricole et du Génie Rural et des Eaux et Forêts

CNR : Compagnie Nationale du Rhône

EDF : Electricité de France

SCHAPI : Service Central d'Hydrométéorologie et d'Appui à la Prévision des Inondations

### **IV. 3 Observations de neige**

Pour la haute montagne, on mesure la neige (hauteur, couverture) dans les trois massifs suivants : Alpes (137 postes humains et 15 stations automatiques) ; Corse (5 postes humains et 2 stations automatiques) ; Pyrénées (59 postes humains et 5 stations automatiques). Soit au total : 201 postes humains et 22 stations automatiques.

Pour l'observation de la neige en moyenne montagne (Vosges, Massif Central, Jura), on dispose de 155 observations quotidiennes et de 25 observations supplémentaires hebdomadaires par des postes humains. A cela s'ajoutent environ dix stations automatiques équipées d'un capteur de hauteur de neige. C'est le Centre d'Etudes de la Neige (CEN, Grenoble) qui centralise les données.

### **IV. 4 Le programme FLUXNET**

Les mesures de flux de carbone dans les écosystèmes terrestres sont effectuées dans le cadre du programme international **Fluxnet** et du programme intégré de recherche **Carboeurope**.

#### *Le programme Carboeurope*

Le but de ce programme européen est d'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. Ce programme intégré de recherche comprend quatre composantes : Ecosystèmes, Atmosphère, Expérience régionale, Intégration continentale. Les composantes Atmosphère et Intégration continentale ont été traitées au paragraphe précédent (II. 3/c, RAMCES).

#### *Composante Ecosystèmes*

L'objectif de ce programme est d'analyser le rôle des différents types d'écosystèmes en Europe (forêts, prairies, terres arables) comme puits de Carbone pendant leur cycle de vie. A cette occasion des mesures de flux de CO<sub>2</sub> sont réalisées sur un certain nombre de sites (comme dans le projet Carboeuroflux). Ces mesures 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 peut ainsi estimer les perturbations résultant des pratiques sylvicoles et agricoles sur les flux de carbone leur évolution temporelle. Pour ce programme, la France dispose de 9 sites expérimentaux, opérationnels et qui alimentent les bases de données. Ils sont présentés dans le tableau suivant :

Site	Lieu	Nature	Responsable	Date début
Bray	Gironde	Pin maritime	Loustau (INRA)	1996
Hesse	Lorraine	Hêtres	Granier (INRA)	1996
Puechabon	Hérault	Chêne vert	Rambal (CNRS)	1998
Bilos	Gironde	Coupe rase	Loustau (INRA)	2000
Fontainebleau	Ile-de-France	Chêne	Dufrêne (Univ. Paris-Sud Orsay)	2005
Laqueuille	Auvergne	Prairie permanente	Soussana (INRA)	2000
Lusignan	Poitou	Prairie temporaire	Gastal (INRA)	2005
Grignon	Ile-de-France	Cultures annuelles	Cellier (INRA)	2004
Avignon	Vaucluse	Cultures annuelles	Oliosio (INRA)	2004

Tous ces sites sont dotés d'un équipement similaire : un mât (ou tour) de mesure portant un ensemble de capteurs rapides permettant la mesure des flux de quantité de mouvement, chaleur sensible, vapeur d'eau, CO<sub>2</sub>. Les mesures sont effectuées à 20 Hz, en continu sur des périodes de plusieurs années consécutives. En outre sont également effectuées des mesures microclimatiques (vent, température, ...) et des mesures écophysiologicals (photosynthèse, respiration du sol, débits de sève, biomasse, indice foliaire...).

#### *Expérience Régionale*

La région des Landes a été choisie par le programme CarboEurope pour une expérience régionale (CERES, CarboEurope Regional Experimental Strategy) qui a permis de comparer des estimations du bilan régional de carbone des écosystèmes selon deux méthodes : inversion des gradients de concentration atmosphérique et agrégation des flux issus des différents types d'écosystèmes. Préparée par une campagne d'observations en 2005, la phase principale de cette expérience s'est déroulée en 2007. Elle a mobilisé les sites régionaux permanents ainsi que des sites temporaires (vigne, maïs et jachère) ainsi que des avions permettant de déterminer un ensemble de variables atmosphériques, dont les gradients de concentration en CO<sub>2</sub> (Dolman et al., 2006, BAMS, 87, 1367-1379).

#### **IV. 5 Observations des écosystèmes forestiers**

Les écosystèmes forestiers qui occupent en France métropolitaine 27 % du territoire, font l'objet d'observations régulières de deux types : l'Inventaire Forestier National évalue sur un pas de temps de 10-12 ans, depuis près de 40 ans, la ressource et la productivité forestières et, depuis une dizaine d'années, recueille des données écologiques, notamment sur la flore et les sols forestiers. Depuis 20 ans, un dispositif de suivi intensif (relevés annuels ou infra-annuels), installé à l'origine dans le contexte des « pluies acides », a évolué vers un dispositif polyvalent couvrant l'ensemble des influences environnementales. Ces deux dispositifs permettent d'évaluer les stocks de carbone dans la biomasse et les sols forestiers, et de quantifier l'influence des modifications environnementales, notamment les changements climatiques.

**Table 5. National contributions to the terrestrial domain essential climate variables**

<b>Contributing networks specified in the GCOS implementation plan</b>	<b>ECVs</b>	<b>Number of stations or platforms currently operating</b>	<b>Number of stations or platforms operating in accordance with the GCMPs</b>	<b>Number of stations or platforms expected to be operating in 2010</b>	<b>Number of stations or platforms providing data to the international data centres</b>	<b>Number of stations or platforms with complete historical record available in international data centres</b>
<b>GCOS baseline river discharge network (GTN-R)</b>	River discharge	~100	<b>~100</b>	~100		
<b>GCOS Baseline Lake Level/Area/Temperature Network (GTN-L)</b>	Lake level/area/temperature					
<b>WWW/GOS synoptic network</b>	Snow cover	403	<b>403</b>	403		

<b>Contributing networks specified in the GCOS implementation plan</b>	<b>ECVs</b>	<b>Number of stations or platforms currently operating</b>	<b>Number of stations or platforms operating in accordance with the GCMPs</b>	<b>Number of stations or platforms expected to be operating in 2010</b>	<b>Number of stations or platforms providing data to the international data centres</b>	<b>Number of stations or platforms with complete historical record available in international data centres</b>
<b>GCOS glacier monitoring network (GTN-G)</b>	Glaciers mass balance and length, also ice sheet mass balance	12	<b>12</b>	12	12	12
<b>GCOS permafrost monitoring network (GTN-P)</b>	Permafrost borehole-temperatures and active-layer thickness					

## V. Observations du Climat dans le domaine spatial

### V. 1. Introduction

Le CEOS (Committee on Earth Observation Satellites) a été créé en 1984 pour coordonner l'action des agences spatiales en observation de la Terre. Le CNES en fait partie et en a souvent été animateur.

Les besoins en matière d'observation spatiale pour la surveillance du climat ont été exprimés par le SMOC (GCOS) dans ses « rapports d'adéquation » (2002) et son « plan de mise en œuvre » (2004), avec sa partie spécifique pour l'observation spatiale intitulée « Systematic observation requirements for satellite-based products for climate » (2006). Ces besoins exprimés par le GCOS ont reçu l'aval de la Convention cadre des Nations unies sur le changement climatique (UNFCCC), qui a incité les agences spatiales impliquées dans l'observation globale de la Terre à apporter une réponse coordonnée aux besoins exprimés par le plan de mise en œuvre du GCOS.

En réponse à ces demandes, le CEOS travaille depuis 2005, en liaison avec les diverses agences spatiales, à fournir cette réponse coordonnée, notamment au travers des « Constellations CEOS » et d'une série d'« Actions climat ». Cette réponse coordonnée du CEOS a fait l'objet en 2006 d'un premier rapport de synthèse intitulé « Satellite observation of the climate system ; the CEOS response to the GCOS Implementation Plan ». C'est ce rapport qui est ici développé, notamment à travers la contribution du CNES.

### V. 2. Les constellations CEOS et le rôle du CNES

Avant même 2006 et la publication des rapports du GCOS et du CEOS mentionnés ci-dessus, le CEOS coordonnait déjà certaines actions des agences spatiales, en particulier au travers des **Constellations CEOS**, qui visent notamment à accroître le coopération entre agences et à définir des standards communs sur les segments spatiaux et sols pour réaliser un système interopérable des futures missions spatiales, afin que les utilisateurs puissent bénéficier de la synergie entre les systèmes. Ce travail d'échanges et de coordination a des retombées positives pour les utilisateurs impliqués dans l'étude et la surveillance du climat. Les discussions auxquelles donnent lieu ces constellations contribuent également à garantir la continuité des mesures spatiales. Enfin, ces constellations contribuent à la mise en œuvre du Global Earth Observation System of Systems (GEOSS).

Quatre constellations sont déjà à l'œuvre :

- La constellation « Topographie de la surface des océans ».
- La constellation « Imagerie des terres émergées ».
- La constellation « Précipitations ».
- La constellation « Composition de l'atmosphère ».

Et deux sont en cours de mise en route :

- La constellation « Radiométrie de la couleur de l'océan ».
- La constellation « Vecteur vent à la surface de l'océans ».

Le CNES est partie prenante des 4 constellations déjà à l'œuvre auxquelles il contribue par ses missions spatiales en cours ou en projet (Jason 1 et 2, Saral pour la constellation « Topographie de la surface des océans », Spot 4 et 5, Pléiades pour la constellation « Imagerie des terres émergées », Megha-Tropiques pour la constellation « Précipitations », Iasi et Traq/Sifti pour la constellation « Composition de l'atmosphère »). A noter que, dans de

nombreux cas, l'action de ces constellations recouvre les « actions climat » mises en place par le rapport 2006 du CEOS.

### **V. 3. Les actions « climat GCOS » du CEOS et le rôle du CNES**

Pour répondre aux recommandations du GCOS, le CEOS a validé la partie spatiale du plan de mise en œuvre du GCOS et répondu en 2006 avec des analyses et **59 « actions climat GCOS »** qui peuvent être regroupées en 6 catégories visant à :

- Assurer la continuité des mesures spatiales à caractère climatique (13).
- Systématiser l'élaboration des « Fundamental Climate Data Records » (FCDR) (11).
- Préserver les séries de données climatiques (4).
- Garantir l'accès aux données et produits climatiques (10).
- Coordonner les communautés internationales et leur interaction avec les utilisateurs (10).
- Répondre aux besoins en nouvelles mesures (11).

Plus concrètement, un certain nombre de ces actions climat du CEOS impliquent le CNES, qui s'est engagé à y consacrer ses meilleurs efforts. Nous les détaillons ci-dessous en les classant par milieu terrestre.

#### **V. 3.1. Actions « atmosphère »**

\* A3 : Investigation des propriétés des nuages en utilisant les données combinées des imageurs et des sondeurs verticaux Calipso et Cloudsat (avec NASA, leader, NOAA, Eumetsat, DLR, CSA, priorité 1). Cette action implique pour le CNES les missions Parasol et Calipso, les travaux du pôle Icare pour la distribution systématique de produits sur les nuages (Parasol, Modis, Calipso, Cloudsat) et pour l'exploitation scientifique de ces produits.

\* A4 : Amélioration de la mesure des précipitations et mise en place de GPM (avec NASA et JAXA, leaders, NOAA, DLR, ISRO et CAST, lien avec la « Constellation précipitations », priorité 1). Cette action implique, pour le CNES, les discussions avec l'agence spatiale indienne, l'ISRO, en vue d'un partenariat Megha-Tropiques/GPM et les travaux scientifiques des laboratoires français sur la mesure des précipitations depuis l'espace.

\* A9 : Replanification de l'instrument APS (monitoring des aérosols) retiré de NPOESS (avec NOAA, leader, et DLR, priorité 1). Cette action inclut, pour le CNES, l'étude de phase 0 3MI (instrument de surveillance des aérosols dans la lignée de Polder et Parasol) et les discussions correspondantes avec la NOAA.

#### **V. 3.2. Actions « océans »**

\* O4 : Constellation « Topographie des océans », incluant Jason-Follow-on et une mission d'altimétrie à large fauchée (avec NOAA et Eumetsat, leaders, NASA, ESA, priorité 1). Cette action inclut les discussions internationales du CNES menées dans la constellation sur la suite du programme Jason et la phase 0 Water-SWOT en cours sur l'altimétrie interférométrique à large fauchée, en coopération avec la Nasa.

\* O5 : Coopération CNES-ISRO pour la continuité de l'altimétrie en orbite polaire et mission Sentinelle-3 (avec ISRO, ESA et CAST, priorité 1). Cette action inclut la mission Saral d'altimétrie, mission conjointe CNES-ISRO, qui contribuera à la continuité des mesures en

altimétrie océanique. Elle inclut également l'assistance à maîtrise d'ouvrage fournie par le CNES à l'ESA pour la mission Sentinelle-3.

\* O14 : Construction d'un jeu de données d'états de mer de durée décennale, combinant données altimétriques et SAR (priorité 2).

### **V. 3.3. Actions « terres émergées »**

\* T1 : Constellation « Surveillance des terres émergées » (avec USGS leader, CONAE, INPE, ISRO, JAXA, NASA, CAST, priorité 1). Cette action concerne plusieurs ECV (lacs, couverture neigeuse, glaciers, occupation des sols...). Elle vise à combler le trou actuel en données de type Landsat et à intégrer les données à haute résolution spatiale de multiples satellites, parmi lesquels SPOT. Elle inclut également le projet actuel de Service d'observation des grands lacs par satellite (SOLS) du Legos et de Postel pour le compte du CNES.

### **V. 3.4. Actions transverses (celles de priorité 1)**

\* C4 : Les agences spatiales du CEOS ajusteront leurs procédures internes relatives à la planification des missions et aux processus opératoires de façon à respecter les principes de la surveillance du climat du GCOS.

\* C6 : Le CEOS s'inspirera des principes de la surveillance du climat du GCOS et des recommandations visant les ECV concernées lors de la définition des critères servant aux études des Constellations du CEOS à partir de 2006.

\* C15 : Les agences spatiales du CEOS encourageront le financement de la recherche sur le changement climatique pour les équipes qui se chargent d'analyser les séries climatiques, de retraiter les variables climatiques et d'entreprendre des réanalyses.

\* C20 : Les agences spatiales du CEOS feront leur possible pour garantir un accès complet, facile et sans retard aux produits relatifs au climat, y compris pour les pays en développement.

La prise en compte par le CNES de ces diverses actions climat du CEOS de première priorité est déjà bien engagée à la mi-2008.

## **V.4. Autres actions du CNES dans la perspective de la surveillance du climat**

### **V.4.1. Actions « climat SBA » du CEOS**

Suite au changement de leaders intervenus début 2008 au CEOS (désormais piloté par la NOAA), d'autres types d'actions ont été mises en place, en lien avec le Plan de travail du Group on Earth Observation (GEO), en les répertoriant suivant les « Societal Benefit Area » (SBA) du GEO. Ainsi, pour la partie « climat », deux nouvelles actions ont été récemment confiées au CNES :

Action 1 : Rendre compte au CEOS de l'avancement des trois études de phase 0 en cours au CNES sur des instruments qui constituent des capteurs climatiques potentiels : Post-IASI (successeur du sondeur infrarouge hyperspectral IASI dans le cadre du programme Post-EPS d'Eumetsat), 3MI (polarimètre multispectral et multidirectionnel pour le monitoring des aérosols, candidat potentiel pour les programmes Post-EPS d'Eumetsat et NPOESS de la

NOAA) et Water/SWOT (mission d'altimétrie océanique et hydrologique à large fauchée et à haute résolution spatiale en coopération avec la NASA).

Action 2 : Rendre au compte au CEOS de l'avancement des travaux sur le simulateur du lidar Calipso et de son apport pour l'amélioration de la représentation des nuages dans les modèles climatiques. Ces travaux sont menés dans le cadre du projet CFMIP (Cloud Feedback Model Intercomparison Project) à l'Institut Pierre-Simon Laplace, avec le soutien du CNES et l'aide du pôle Icare qui distribue les produits Calipso.

#### **V.4.2. Participation aux groupes mondiaux d'interétalonnage satellitaire GSICS et CEOS WGcal/val**

En 2005, l'OMM et le CGMS ont créé le GSICS (Global Space-based Intercalibration System), dont le but est d'assurer, via des étalonnages et interétalonnages, la comparabilité des mesures satellitaires pour la météorologie, le climat et l'environnement effectuées par divers instruments et divers programmes (opérationnels, mais pas seulement) de satellites, et de relier ces mesures spatiales à des références absolues. Cet objectif permettra d'optimiser l'utilisation des mesures satellitaires pour l'étude du climat et du changement climatique, mais aussi pour la prévision numérique du temps. Le GSICS est devenu une composante du Global Observing System de l'OMM et va prendre de l'importance dans le cadre du GEOSS. Le CNES est membre du GSICS, dans lequel il apporte son expertise pour l'étalonnage des capteurs infrarouges (notamment avec Iasi) et des capteurs visibles (avec sa base de données d'étalonnage SADE).

De son côté, le CEOS a mis en place un groupe spécialisé dans les questions d'étalonnage et de validation (cal/val), le WG cal/val, qui s'efforce notamment de définir des recommandations et des pratiques applicables à toutes les agences spatiales en matière d'étalonnage des instruments spatiaux.

#### **V.4.3. Le rôle des pôles de compétence thématique**

Avant même la publication des rapports GCOS et CEOS, le dernier séminaire de prospective scientifique du CNES (2004) mettait déjà l'accent sur la nécessaire continuité des mesures en observation de la Terre. Dans cet esprit, le CNES a mis en place, en partenariat avec d'autres organismes nationaux, des **pôles de compétence thématique** qui constituent une initiative tout à fait pertinente en matière de climat puisqu'elle vise à assurer l'élaboration et la mise à disposition de bases de données, d'origine spatiale ou in situ, en associant la communauté scientifique sur des thématiques qui recouvrent en partie les diverses ECV du GCOS : aérosols, nuages, rayonnement et vapeur d'eau (pôle Icare), chimie atmosphérique (pôle Ether), surfaces continentales (pôle Postel), altimétrie océanique (le centre de mission SALP, qui n'est cependant pas un réel pôle thématique). Certaines des bases de données de ces pôles s'apparentent de très près aux FCDR (Fundamental Climate Data Record) et aux produits climatiques définis par le GCOS. Le CNES va donc s'efforcer de faire de la production de telles séries climatiques conformes aux recommandations internationales un objectif à part entière des pôles, dans leur thématique respective et, au minimum, pour les missions spatiales du CNES. Pour en savoir plus sur les pôles de compétence thématique :

- ICARE : <http://www.icare.univ-lille1.fr/>
- ETHER : <http://ether.ipsl.jussieu.fr/>
- POSTEL : <http://postel.mediasfrance.org/>
- SALP : <http://smsc.cnes.fr/SALP/Fr/>