HAL
open science

Les ORE, nouveaux observatoires de recherche sur l'environnement

Franck Roux, Gilles Bergametti, Bruno Hamelin

To cite this version:

Franck Roux, Gilles Bergametti, Bruno Hamelin. Les ORE, nouveaux observatoires de recherche sur l'environnement. La Météorologie, 2003, Observation, 40, pp.10-107. 10.4267/2042/36273 . hal-02330284v2

HAL Id: hal-02330284

https://hal.science/hal-02330284v2

Submitted on 9 Feb 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Les ORE, nouveaux observatoires de recherche sur l'environnement

Frank Roux[1], **Gilles Bergametti**[2] **et Bruno Hamelin**[3]

(1) Laboratoire d'aérologie - CNRS et université Paul-Sabatier
14, avenue Edouard-Belin - 31400 Toulouse
frank.roux@aero.obs-mip.fr
(2) Laboratoire inter-universitaire des systèmes atmosphériques - Créteil
(3) Centre européen de recherche et d'enseignement de géosciences de l'environnement - Aix-en-Provence

Résumé

Les observatoires de recherche sur l'environnement (ORE) ont pour mission de produire pour la recherche des observations systématiques et durables, à des fins de surveillance de l'évolution de l'environnement du globe. Cet article présente brièvement quatre ORE qui concernent la météorologie, l'hydrologie et le changement climatique.

Abstract

New observatories for environmental research

Observatories for environmental research are designed to produce systematic long-term observations of changes in the global environment. This paper briefly describes four observatories in the fields of meteorology, hydrology and climate change.

La surveillance de la planète

La Terre est un système complexe qui évolue sous l'effet de l'interaction permanente de nombreux processus physiques, chimiques et biologiques dont les constantes de temps et d'espace sont extrêmement variées. Depuis le début du XXe siècle, des perturbations liées aux activités humaines (agriculture, industrie, transports, urbanisation, etc.) viennent s'ajouter aux processus naturels. Aujourd'hui, la communauté scientifique doit à la fois comprendre le fonctionnement des processus naturels et évaluer l'impact anthropique, afin de mieux prévoir l'évolution future de l'environnement. Elle doit aussi élaborer les outils permettant d'estimer les risques nouveaux ou accrus pour l'homme qui résultent en retour des perturbations anthropiques. Les principaux enjeux sont bien connus : ils concernent l'évolution du climat, la désertification, les ressources en eau, la préservation de la biosphère continentale et la biodiversité, le devenir de l'environnement marin, tous domaines où la pression anthropique est susceptible d'introduire des perturbations importantes à l'échelle de quelques dizaines d'années. Comprendre le fonctionnement d'un tel système est donc un enjeu scientifique majeur qui nécessite de combiner différentes approches incluant observations in situ et par télédétection, mesures de surface, aéroportées et spatiales, simulation expérimentale et modélisation numérique. Cette panoplie d'outils doit permettre aussi bien l'étude des phénomènes rapides (quelques heures) que celle des processus plus lents (quelques années).

Alors qu'il existait depuis très longtemps une solide tradition d'observation continue dans le domaine de la Terre interne, en volcanologie, sismologie, géomagnétisme et gravimétrie, l'observation des enveloppes externes de la Terre était paradoxalement restée peu développée pour certains paramètres. Aussi, le colloque de prospective de la division « Océan- atmosphère » de l'Institut national des sciences de l'univers (Insu) du CNRS, qui s'est tenu à Hourtin en 1993, a-t-il mis clairement en évidence le besoin, au sein du dispositif de recherche, de moyens d'observation systématique et durable de paramètres-clés. En effet, les tendances d'évolution à moyen terme n'étaient pas correctement appréhendées, ce qui limitait à la fois la compréhension des processus et la qualité de leur représentation dans les modèles numériques. En conséquence, dans le domaine de l'océan et de l'atmosphère, l'Insu a progressivement mis en place depuis cette date des Services d'observation (SO), pour la plupart au sein des observatoires des sciences de l'univers et souvent dans le cadre d'un partenariat entre plusieurs

organismes. La mission des SO est de fournir à la recherche des données continues et de qualité, ainsi que de documenter les tendances de certains indicateurs de l'évolution de ces milieux (par exemple, la concentration atmosphérique en dioxyde de carbone ou le niveau des océans).

Le colloque de Brest, qui s'est tenu en 2000, a permis de faire un bilan de l'apport de ce dispositif d'observation, en termes de recherche et de surveillance, et d'évaluer les difficultés que pouvait poser sa mise en œuvre pratique. Les SO labellisés par l'Insu sont clairement apparus comme une composante essentielle de la démarche de recherche, au même titre que les grandes campagnes ou les instruments lourds. De même, plusieurs de ces SO fournissent les données nécessaires pour répondre aux engagements pris par la France dans le cadre de conventions internationales pour la surveillance de l'environnement du globe (par exemple, la surveillance de l'ozone stratosphérique). La mise en place des SO est donc une réussite, les deux missions initialement définies - production de données pour la recherche et surveillance de l'évolution de l'environnement – étant très correctement assurées. Cependant, la gestion de ces services, en termes humains et financiers, s'avère assez lourde et, actuellement, leur pérennité n'est pas complètement assurée.

Les observatoires de recherche sur l'environnement

Le ministère de la Recherche a souhaité renforcer et amplifier les systèmes d'observation en place à l'Insu et dans d'autres établissements publics à caractère scientifique et technique, en lançant en décembre 2001 l'appel d'offres pour la création des Observatoires de recherche sur l'environnement (ORE). Ce nouveau label est largement inspiré des finalités des SO de l'Insu, en particulier pour la nécessaire dimension temporelle qui caractérise l'étude scientifique de l'environnement. Il vise à associer plus systématiquement plusieurs organismes à chaque système d'observation, à renforcer les services existants, à en garantir la pérennité et, surtout, à en étendre le concept vers des domaines scientifiques auparavant négligés comme l'hydrologie continentale, la gestion des ressources et des déchets ainsi que l'écologie fonctionnelle (souvent regroupés maintenant sous le terme générique de « surfaces continentales »).

Parmi les trente projets retenus parmi les réponses à l'appel d'offres de cette première année de lancement, les SO déjà labellisés par l'Insu ont été reconnus dans leur très grande majorité, ce qui permettra d'assurer leur maintien (tableau 1). De plus, huit nouveaux ORE ont été proposés dans le domaine de l'atmosphère, de l'océan et du climat, pour couvrir des domaines mal appréhendés par le dispositif existant comme les océans, les glaciers, l'hydrologie, la chimie atmosphérique, etc. (tableau 2).

Tableau 1 - Caractéristiques des Services d'observation labellisés Insu et proposés comme ORE.

Services d'observation labellisés Insu et proposés comme ORE	Mission	Laboratoire	Responsable (s)	Organismes associés	Site Internet
Caraus *[Carbone austral]*	Suivi des échanges océan-atmosphère de gaz carbonique	Laboratoire de biogéochimie et chimie marines (Paris)	N. Metzl et A. Poisson	Insu, Ipev	www.lbcm.jussieu.fr/Oiso/AccueilOiso.htm
Idaf *[International global atmospheric chermistry (Igac) - Deposition of biogeochemically important trace species (Debits) - Afrique]*	Réseau de suivi de la composition des dépôts atmosphériques en Afrique	Laboratoire d'aérologie (Toulouse)	J.-P. Lacaux	Igac, Insu, IRD, OMM	medias.obs-mip.fr/idaf/
Mozaic *[Measurement of ozone, water vapour, carbon monoxyde and nitrogen oxydes by Airbus in service aircraft]*	Suivi de la composition atmosphérique par des avions commerciaux	Laboratoire d'aérologie (Toulouse)	J.-P. Cammas	Airbus, Air France, Austrian Airlines, Insu, Lufthansa, Météo-France	www.aero.obs-mip.fr/mozaic/
NDSC *[Network for the detection of stratospheric change]*	Réseau de suivi de la composition de la stratosphère	Service d'aéronomie (Verrières-le-Buisson)	P. Keckhut	Ademe, Cnes, Insu, Ipev, MEDD, Union européenne, ESA, Nasa, Sparc/WRCP	www.ipsl.jussieu.fr/services/Observations/NDSC/Objectifs.html
ORA *[Observatoire de recherche sur les aérosols]*	Réseau de suivi des propriétés des aérosols atmosphériques	Laboratoire d'optique atmosphérique (Lille)	P. Goloub	Cnes, Insu, Nasa	www.loaser.univ-lille1.fr/photons/
Ramces *[Réseau atmosphérique de mesure des composés à effet de serre]*	Réseau de suivi du contenu atmosphérique en gaz à effet de serre	Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement (Gif-sur-Yvette)	P. Ciais et M. Ramonet	CEA, Insu, Ipev	www.ipsl.jussieu.fr/services/Observations/RAMCES/Objectifs.htm
Rosame *[Réseau d'observation sub-antarctique et antarctique du niveau de la mer]*	Réseau de suivi du niveau de la mer	Laboratoire d'études en géophysique et océanographie spatiales (Toulouse)	C. Le Provost et L. Testut	Ifremer, Insu, Ipev	www.omp.obs-mip.fr/omp/umr5566/francais/obs/rosame/index.htm

Intitulé	Mission	Laboratoire	Responsable (s)	Organismes associés	Site Internet
Beam [*Biophysicochimie de l'eau atmosphérique et modifications anthropiques*]	Station de suivi microphysique et chimique au sommet du puy de Dôme	Laboratoire de météorologie physique (Clermont-Ferrand)	A. Flossmann	Insu, Région Auvergne	wwwobs.univ-bpclermont.fr/atmos/mesuresyst.html
Catch [*Couplage de l'atmosphère tropicale et du cycle hydrologique*]	Suivi de la variabilité climatique et hydrologique associée à la mousson de l'Afrique de l'Ouest	Laboratoire d'étude des transferts en hydrologie et environnement (Grenoble)	T. Lebel	IRD, Organismes africains	www.lthe.hmg.inpg.fr/catch/
Cesoa [*Climat et soufre océanique austral*]	Suivi du cycle atmosphérique du soufre aux moyennes et hautes latitudes australes	Laboratoire de glaciologie et de géophysique de l'environnement (Grenoble)	M. Legrand	Ifremer, Insu, Ipev	
Mozart [*Mesures d'ozone à partir d'avions régionaux et de trains à grande vitesse*]	Suivi de la composition atmosphérique par des observatoires d'altitude, des avions régionaux et des trains à grande vitesse	Laboratoire d'aérologie (Toulouse)	R. Delmas	Insu, Météo-France	www.aero.obs-mip.fr/mozaic/image/mozart_cart2.jpg
OHM-CV [*Observatoire hydrométéorologique méditerranéen Cévennes-Vivarais*]	Suivi des caractéristiques météorologiques et hydrologiques des pluies méditerranéennes intenses	Laboratoire d'étude des transferts en hydrologie et environnement (Grenoble)	G. Delrieu	Insu, LCPC, Météo-France, services d'annonce des crues	www.ohmcv.net/
Pirataramis [*Pilot research moored array in the Tropical Atlantic - Altimétrie sur un rail atlantique et mesures in situ*]	Suivi de la variabilité climatique de l'Atlantique tropical	Centre IRD (Brest) et Laboratoire d'océanographie dynamique et de climatologie (Paris)	J. Servain et S. Arnault	Cnes, Insu, IRD, Météo-France	www.ifremer.fr/orstom/pirata/piratafr.html
Glacioclim [*les glaciers, un observatoire du climat*]	Suivi des glaciers alpins	Laboratoire de glaciologie et de géophysique de l'environnement (Grenoble)	C. Vincent et P. Wagnon	Insu, IRD	www.lgge.ujf.fr/equipes/glaciers/DonneesDisp/ServiceObs/home.html
SSS [*Sea surface salinity*]	Suivi de la salinité de surface des océans	Laboratoire d'études en géophysique et océanographie spatiales (Toulouse)	T. Delcroix	Insu, IRD	

Tableau 2 - Caractéristiques des nouveaux ORE dans le domaine « Océan, atmosphère et climat ».

Les systèmes d'observation envisagés pour la surveillance de la composition de l'atmosphère et la compréhension de son fonctionnement ont pour objectif de fournir des données continues sur les différentes phases atmosphériques (gaz à l'état de traces, aérosols, eau atmosphérique) et sur les différents couches verticales (couche limite, troposphère libre, stratosphère). Ils ont pour vocation de fournir les éléments nécessaires à une recherche de qualité sur des questions aussi essentielles que l'évolution du climat sous l'effet des émissions anthropiques, l'évolution de la couche d'ozone, la pollution photo-oxydante, les épisodes de pluies intenses, etc. Ils sont donc nettement orientés vers le suivi de paramètres ou d'espèces qui jouent un rôle clé au regard des évolutions attendues de la composition de l'atmosphère, en particulier sous l'effet du changement climatique. Il s'agit principalement des gaz à effet de serre, des photo-oxydants, de l'ozone stratosphérique, des aérosols, des nuages et des précipitations.

Ces dernières années, l'océanographie a fortement bénéficié de la disponibilité d'observations nouvelles en surface, en profondeur et par télédétection spatiale. Par ailleurs, le développement de la modélisation numérique et l'assimilation de données conduisent à la mise en place d'une océanographie opérationnelle, organisée d'une manière similaire à la prévision météorologique. Dans ce contexte particulier, les observations systématiques de variables clés comme la salinité des eaux de surface ou d'indicateurs d'évolution comme le niveau de la mer sont essentielles pour mieux comprendre les modifications à moyen terme des caractéristiques de l'océan mondial. Enfin, l'océan joue un rôle essentiel dans les cycles biogéochimiques du système climatique. C'est notamment le cas pour le CO_2, via le cycle du carbone dans l'océan. La compréhension du couplage entre processus physiques, chimiques, biologiques et sédimentaires dont les constantes de temps sont très différentes (et variables pour certaines d'entre elles) requiert une connaissance fine des flux échangés à l'interface océan-atmosphère et un suivi des phénomènes dans la colonne d'eau, pour différentes régions océaniques. Le cas particulier de l'environnement littoral est plus complexe en raison des relations existant entre les domaines côtier et océanique et de la très importante influence humaine. L'existence en France d'un réseau de stations marines permet d'appréhender ses spécificités.

L'évolution des glaciers est un indicateur de la variabilité et des tendances climatiques, pour le passé comme pour le futur. Le bilan de masse des glaciers

alpins est le résultat de l'accumulation des précipitations de neige et de glace en hiver et de leur fonte en été. L'analyse de ces bilans pour les cinquante dernières années a montré qu'il est possible d'en déduire l'évolution des précipitations hivernales et des bilans énergétiques en haute montagne. Les observations des fluctuations glaciaires (variations d'épaisseur, de longueur et de vitesse) permettent aussi d'étalonner et de valider les modèles d'écoulement, et d'estimer les risques naturels d'origine glaciaire (chutes de séracs, poches d'eau intraglaciaires, lacs pro-glaciaires).

Les paragraphes qui suivent donnent un bref aperçu de quatre ORE dont deux sont proches des préoccupations météorologiques, Beam et OHM-CV, et deux sont liés à la thématique du changement climatique, NDSC et Ramces.

L'observation des nuages par Beam

L'ORE « Biophysicochimie de l'eau atmosphérique et modifications anthropiques » (Beam) est consacré à l'étude de l'eau atmosphérique, en particulier sous la forme condensée (liquide ou glace) dans les nuages, et à son interaction avec les différents gaz et aérosols présents dans l'air. Cette action de recherche est justifiée par les incertitudes que génère notre méconnaissance des processus microphysiques et multiphasiques sur l'évolution du climat et de la composition de l'atmosphère. Les études in situ sont en effet limitées par la nécessité d'utiliser des avions de recherche pour accéder aux systèmes nuageux. L'installation d'une station consacrée à cet objectif au sommet du puy de Dôme (altitude 1 465 m), où les nuages sont fréquents et l'environnement peu perturbé, est donc véritablement originale. Cette station a pour fonction l'étude systématique de l'influence des phénomènes météorologiques, microphysiques (relatifs aux hydrométéores), chimiques et radiatifs sur l'évolution des caractéristiques de l'atmosphère, en réponse aux activités humaines.

L'étude des processus mis en jeu nécessite de déterminer l'impact du lessivage, du dépôt et de la photolyse sur les caractéristiques chimiques de l'air et des hydrométéores, ainsi que de mesurer la taille des gouttelettes nuageuses et des aérosols. Outre la mise en évidence de tendances à long terme, ces données serviront aussi au développement et à la validation de paramétrisations pour les modèles numériques de transport et d'évolution de la chimie atmosphérique et du climat à échelle régionale ou globale.

Le parc instrumental de l'ORE Beam est constitué de plusieurs éléments(figure 1). Des mesures météorologiques (pression, vent, température et humidité de l'air sur place ; profil de vent par sodar et radar ST depuis l'Observatoire de physique du globe de Clermont-Ferrand) fournissent les informations d'environnement. Un ensemble d'instruments effectue de façon continue des observations chimiques avec des capteurs d'ozone, de monoxyde de carbone, de dioxyde de soufre, d'oxydes d'azote ; des observations radiatives avec des capteurs de rayonnement (global et ultraviolet) et du taux de photolyse du dioxyde d'azote ; des observations microphysiques avec un capteur mesurant la teneur en eau, le coefficient d'extinction et le rayon effectif des gouttelettes nuageuses.

Lors de campagnes spécifiques, des instruments plus lourds peuvent être installés dans une soufflerie qui aspire l'air extérieur : compteurs d'hydrométéores (néphélomètre polaire, FSSP, 2D-C) et prise isocinétique pour alimenter des capteurs déterminant la teneur de l'air en vapeur d'eau et en espèces chimiques, etc.

L'observatoire hydrométéorologique OHM-CV

En automne, le Sud-Est de la France subit des précipitations intenses, avec des cumuls journaliers dépassant fréquemment 200 mm. Bien que ces pluies se produisent lors de situations météorologiques assez bien typées à grande échelle, leur prévisibilité est encore très limitée en termes de durée, de localisation et d'intensité, en raison de la complexité des processus météorologiques d'échelle fine mis en jeu. Au plan de l'hydrologie, ces pluies donnent souvent lieu à des crues violentes et rapides, qualifiées de « crues-éclair », à très fort impact socio-économique (par exemple Nîmes en 1988, Vaison-la-Romaine en 1992, l'Aude en 1999, le Gard et l'Hérault en 2002). La localisation des pluies et la mesure de leur intensité en temps réel sont des enjeux capitaux. De plus, il faut améliorer nos connaissances sur le comportement hydrologique des bassins versants urbains ou montagneux soumis à ces pluies. Le principal facteur limitant les progrès de la recherche dans ce domaine est le manque de données d'observation. À cet égard, on peut évoquer la multiplicité et la déconnexion des services à vocation opérationnelle, les différents modes de collecte, de traitement, d'archivage et de disponibilité des mesures, l'hétérogénéité spatiale et temporelle de la couverture hydrométéorologique et la sous-utilisation de certains capteurs.

Pour répondre à ces questions, l'Observatoire hydrométéorologique méditerranéen Cévennes-Vivarais (OHM-CV)

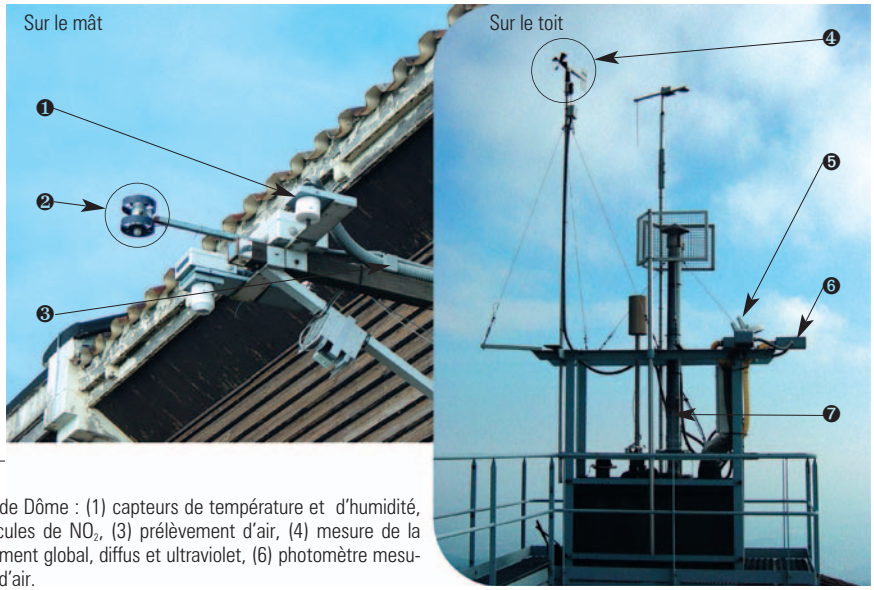

Figure 1 - Équipement de l'ORE Beam au sommet du puy de Dôme : (1) capteurs de température et d'humidité, (2) radiomètre mesurant le taux de photolyse des molécules de NO_2, (3) prélèvement d'air, (4) mesure de la direction et de la vitesse du vent, (5) capteurs de rayonnement global, diffus et ultraviolet, (6) photomètre mesurant l'épaisseur optique de l'atmosphère, (7) prélèvement d'air.

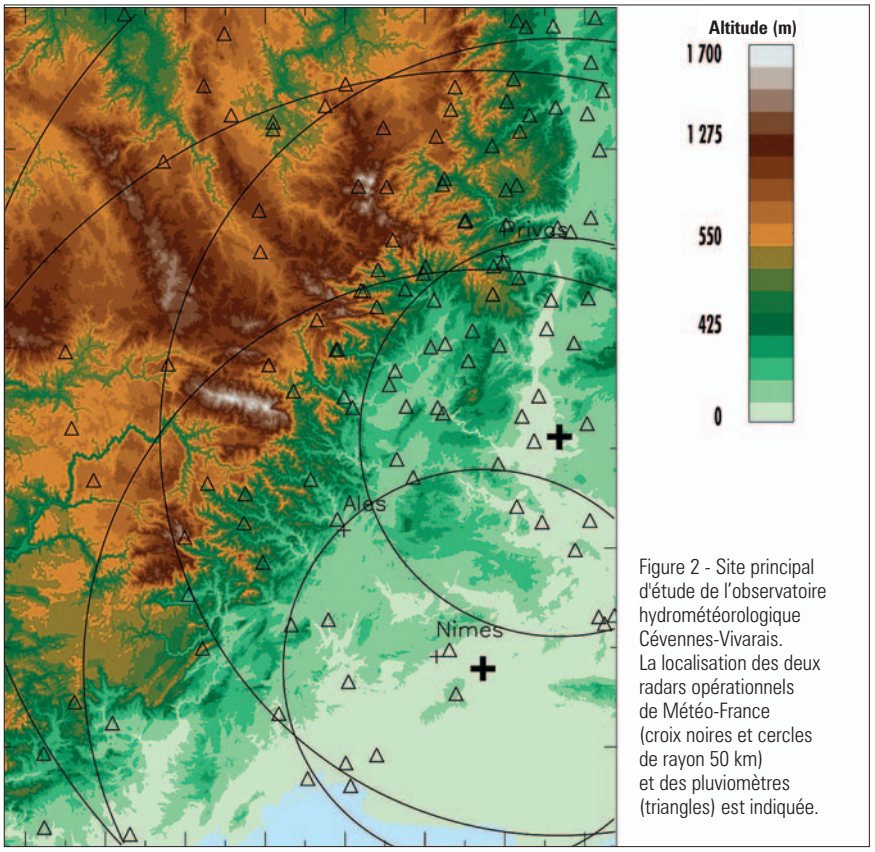

Figure 2 - Site principal d'étude de l'observatoire hydrométéorologique Cévennes-Vivarais. La localisation des deux radars opérationnels de Météo-France (croix noires et cercles de rayon 50 km) et des pluviomètres (triangles) est indiquée.

s'appuie sur trois tâches d'observation complémentaires (figure 2) :

• L'observation détaillée et durable dans la région Cévennes-Vivarais au moyen d'un réseau d'observation reposant sur l'instrumentation opérationnelle disponible, avec évolution de l'utilisation de certains capteurs mis en œuvre et renforcement des réseaux existants. Une action est également menée pour collecter, homogénéiser, critiquer, valider, archiver et mettre à disposition les informations dispersées. La collecte a débuté en 2000, elle concerne une région d'environ 160 km sur 200 km, centrée sur les bassins versants de l'Ardèche et des Gardons. Il est prévu de poursuivre cet effort sur une période minimale de dix ans afin d'échantillonner un ensemble d'épisodes pluvieux suffisamment large avec un réseau d'observation ayant une base stable.

• L'observation « post crise » dans le cas de crues extrêmes touchant les petits bassins versants peu ou non jaugés. Cette approche est indispensable pour mieux comprendre les processus hydrologiques en jeu, comme la dynamique de réponse des bassins versants et l'influence de l'occupation des sols, des caractéristiques pédologiques, géologiques et morphologiques des bassins.

• L'exploitation de l'archive historique sur les pluies intenses qui se sont produites dans le passé et sur les crues-éclair associées, pour effectuer un inventaire, valoriser les informations relatives aux deux derniers siècles et affiner les estimations des crues fortes à extrêmes.

Le réseau pérenne d'observation des précipitations comprend environ 200 pluviographes gérés par plusieurs organismes et les radars météorologiques de Météo-France à Nîmes, Bollène et Sembadel. Il est prévu de renforcer ces moyens par des radars locaux (bande X, diversité de phase et de polarisation) en cours de développement. On s'appuiera également sur les applications météorologiques du GPS pour l'estimation de la vapeur d'eau atmosphérique.

Les données de la cinquantaine de limnigraphes[1] actuellement déployés sont collectées et analysées afin d'évaluer leur potentiel pour l'estimation des débits sur les bassins versants considérés. La densification du réseau de mesure limnimétrique sur le bassin de l'Ardèche est à l'étude et des actions de recherche sont conduites pour développer les techniques de mesure des débits par télédétection : vitesses de surface par imagerie vidéo ou par radar Doppler, bathymétrie par *ground penetrating radar*.

Trois bases de données sont en cours de création : au Laboratoire d'étude des transferts en hydrologie et environnement (LTHE) pour l'observation détaillée et pérenne dans la région Cévennes-Vivarais, au Centre d'enseignement et de recherche sur l'eau, la ville et l'environnement (Cereve) pour l'observation « post crise » et au Centre national du machinisme agricole, du génie rural, des eaux et des forêts (Cemagref) pour l'archive historique. Elles seront fédérées aussi bien pour les choix de développement que pour les modes d'accès (liens sur les sites web, par exemple). Les données « recherche » issues des périodes d'observation intensive seront mises sans restriction à disposition de l'ensemble de la communauté. L'accès aux données opérationnelles sera possible pour les laboratoires de recherche partenaires du projet. La liste de ces partenaires sera révisée périodiquement par un comité de coordination associant les représentants des organismes fournisseurs de données et les responsables de l'ORE OHM-CV.

Le suivi de la stratosphère par NDSC

L'ORE NDSC est la composante française du Réseau international de surveillance de la stratosphère terrestre (en anglais Network for the Detection of Stratospheric Change, NDSC), placé sous l'égide d'organisations internationales comme l'Organisation météorologique mondiale (OMM), le Programme des Nations unies pour l'environnement, le Programme international géosphère-biosphère et la Commission internationale de l'ozone. Ses objectifs scientifiques sont :

- de quantifier la variabilité naturelle de la structure physique et de la composition chimique de la stratosphère et de fournir les bases expérimentales d'une modélisation numérique ;
- de mettre en évidence toute évolution des variables stratosphériques induites par les activités humaines ;
- d'établir une base de données indépendantes permettant une validation permanente des mesures satellitaires.

Les sites NDSC sont répartis aux différentes latitudes. Six d'entre eux associent des ballons sondes pour mesurer les profils d'ozone, de vapeur d'eau et de température, des mesures par lidar pour l'ozone, la température et les

(1) Un limnigraphe est un instrument mesurant le niveau d'un plan d'eau ou d'un cours d'eau.

aérosols et des mesures de l'ozone et de composés minoritaires par un ensemble de spectromètres (dans les canaux visible et ultraviolet, à microondes et à transformée de Fourier en infrarouge) et de spectrophotomètres. Après validation, les mesures sont stockées dans deux banques de données, aux États-Unis par la NOAA et en Norvège par le Nilu.

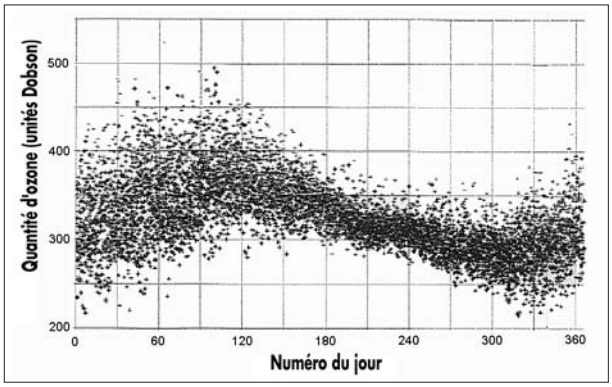

Figure 3 - Variation saisonnière de la colonne totale d'ozone obtenue à partir de 20 années de mesures Dobson quotidiennes à l'observatoire de Haute-Provence. L'axe des abscisses correspond aux 365 jours de l'année. Les valeurs mesurées varient entre 250 et 450 unités Dobson, amplitude caractéristique des moyennes latitudes de l'hémisphère nord. On constate que l'épaisseur de la couche d'ozone est maximale au début du printemps.

Les équipes françaises impliquées dans NDSC gèrent la « station alpine européenne » qui comprend l'observatoire de Haute-Provence (figure 3), l'observatoire de Bordeaux, la station du plateau de Bure et la station scientifique internationale du Jungfraujoch en Suisse. Il faut également ajouter les sites de mesure de Villeneuve d'Ascq, près de Lille, et de Villard Saint-Pancrace, près de Briançon, les seuls sur le territoire français à être équipés de spectroradiomètres UV, et la station de l'île de la Réunion, dans l'océan Indien, associant des mesures par radiosondage, par lidar et par radiomètres. De plus, le site de Dumont d'Urville en terre Adélie (Antarctique), dont la logistique est assurée par l'Institut Paul-Emile Victor, associe pour des mesures chimiques dans la stratosphère un lidar, un spectromètre ultraviolet-visible et un site de sondages d'ozone.

Les laboratoires français participants sont le Service d'aéronomie du CNRS à Verrières-le-Buisson, le Groupe de spectroscopie moléculaire et atmosphérique de l'université de Champagne-Ardennes à Reims, l'observatoire de l'université Bordeaux I à Floirac et le Laboratoire de physique de l'atmosphère de la Réunion.

L'étude des gaz à effet de serre par Ramces

L'ORE Ramces est consacré à l'étude des gaz à effet de serre, en particulier le dioxyde de carbone qui est le principal responsable du changement climatique : sa concentration dans l'atmosphère a augmenté de 30 % au cours du dernier siècle en réponse aux émissions industrielles et aux changements d'occupation des sols, avec des conséquences importantes sur le bilan radiatif terrestre.

Relier les concentrations atmosphériques de CO_2 à la distribution régionale des sources et des puits de carbone est un problème difficile nécessitant d'intégrer les cycles naturels qui régulent l'abondance du CO_2 dans l'air. La perturbation anthropique doit en effet être quantifiée séparément des sources et des puits naturels dont les flux sont parfois très supérieurs. Les deux réservoirs qui contrôlent la teneur en CO_2 dans l'air – l'océan et la biosphère continentale – ont des temps de réponse très différents pour absorber un excès de CO_2 atmosphérique. Le carbone dissous dans l'océan y reste fixé pendant plusieurs centaines d'années, alors que le carbone stocké par les arbres et les sols n'est immobilisé que pour quelques années ou quelques décennies, selon le type d'écosystème. Il est donc indispensable de régionaliser les sources et les puits de CO_2, c'est-à-dire de déterminer quels écosystèmes et quels bassins océaniques stockent ou émettent du carbone. Mais cette estimation est difficile, en raison de la forte hétérogénéité de ces deux réservoirs. En revanche, l'atmosphère est relativement bien mélangée et facile d'accès, ce qui rend possible des mesures de concentration représentatives des flux de surface à grande échelle.

L'observatoire de Haute-Provence

Ramces a pour mission d'effectuer des mesures régulières et précises de CO_2 sur un réseau mondial d'observatoires (figure 4) afin d'en déduire la distribution spatio-temporelle des sources et des puits. Par inversion du transport atmosphérique, il est en effet possible de traduire les gradients de concentration atmosphérique en termes de flux de surface. Des mesures du méthane et du protoxyde d'azote, qui sont aussi des gaz à effet de serre et dont la durée de vie est assez longue pour qu'ils soient dispersés dans l'atmosphère à l'échelle du globe, sont également effectuées. D'autres composés atmosphériques sont mesurés (Radon-222, monoxyde de carbone, isotopes du carbone) pour étudier avec plusieurs traceurs les sources des espèces chimiques et l'origine des masses d'air.

Des mesures en continu existent depuis 1981 sur l'île Amsterdam dans l'océan Indien austral, depuis 1992 à Mace Head sur la côte ouest de l'Irlande et, depuis 2000, à l'observatoire du puy de Dôme. Des prélèvements d'air sont aussi effectués chaque semaine dans douze sites répartis dans le monde et, de manière itinérante, par le navire scientifique *Marion Dufresne* de l'Institut Paul-Émile Victor (Ipev) et par des bateaux commerciaux. Des prélèvements bihebdomadaires sont également effectués par avion pour obtenir des profils verticaux entre la surface et 3000 m d'altitude au-dessus de la forêt d'Orléans. L'ORE Ramces participe activement à la surveillance planétaire

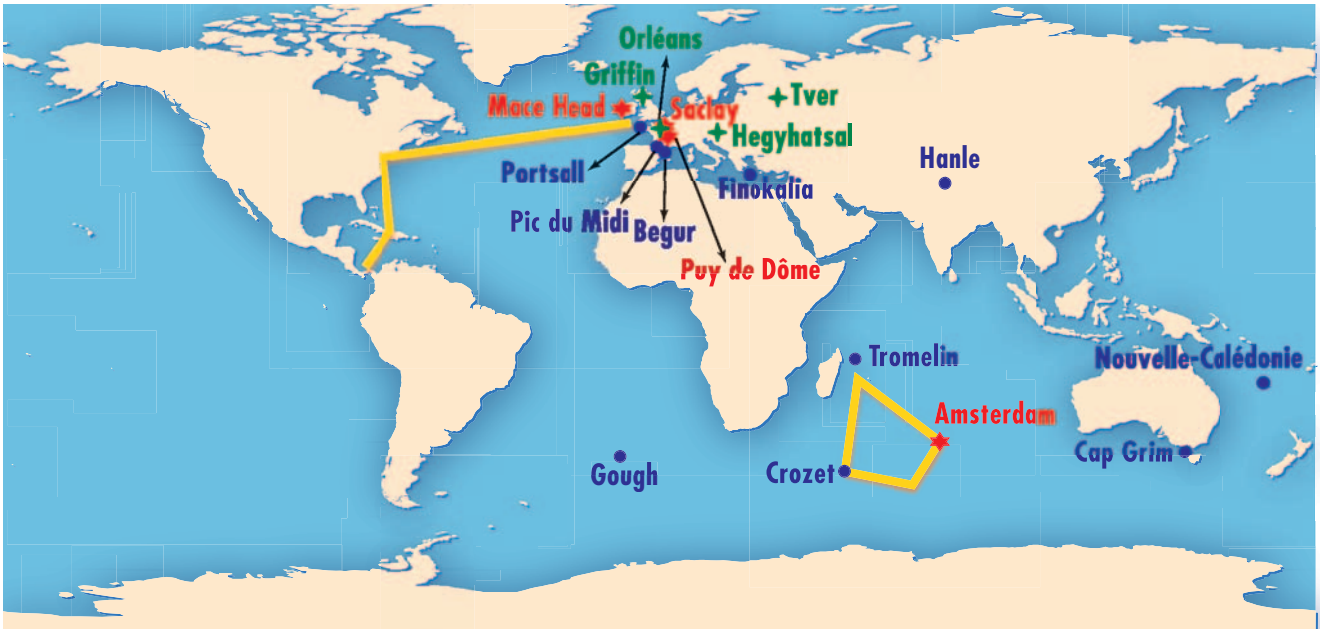

Figure 4 - Le réseau Ramces est constitué de stations de mesure dans les observatoires (étoiles rouges), de sites de prélèvements de surface (points bleus) et aéroportés (croix vertes), et de prélèvements par navires (traits jaunes).

des gaz à effet de serre dans le cadre du réseau de la Veille de l'atmosphère globale de l'OMM et en étroite coopération avec plusieurs partenaires européens ainsi qu'avec les réseaux américain, australien et japonais.

Conclusion

La mise en place des ORE, dont quatre ont été rapidement décrits ici, représente un pas important pour la collecte, la validation et la mise à disposition de mesures indispensables à l'avancée des recherches dans les domaines atmosphérique, océanique et climatique. Les ORE contribueront également aux missions de surveillance de l'environnement du globe auxquelles la France se doit de participer, notamment pour le respect de traités internationaux. Bien évidemment, la mise en œuvre de dispositifs de mesure continue de bonne qualité et la priorité absolue que constitue la pérennité des données vont nécessiter des moyens humains adaptés, tant en nombre qu'en qualité. Les affectations de personnel qui seront effectuées dans ce cadre vont être déterminantes pour l'avenir de ces observatoires. Cela implique également des actions soutenues de formation des personnels et de mise à niveau des moyens de mesure. Cet effort national important pour le renforcement des systèmes d'observation de l'environnement place la France parmi les leaders au niveau international, en parallèle à d'autres initiatives du même ordre prises par les grands pays industrialisés (notamment les réseaux Long-Term Ecological Research (LTER) et International LTER (ILTER) aux États-Unis).

Enfin, pour que l'investissement initial porte ses fruits, il faut veiller à ce que, au-delà de la description des phénomènes observés, ces données soient utilisées de la meilleure façon. En particulier, leur assimilation dans des modèles numériques adaptés est le seul moyen de les relier aux complexes processus naturels et aux perturbations induites par les activités humaines. Il est également nécessaire, quand ce n'est pas encore le cas, de chercher des partenariats internationaux afin d'étendre le champ d'investigation, d'optimiser les traitements et l'archivage des mesures et d'en accroître la diffusion. Les coopérations européennes dans le cadre des nouvelles orientations de la politique de recherche communautaire doivent être tout particulièrement encouragées.

Remerciements

Les coordinateurs des différents ORE ont bien voulu relire ce texte, corriger certaines erreurs et faire des suggestions très constructives. Nous les en remercions vivement ici. Les remarques éditoriales faites sur la première version du manuscrit ont également permis de le rendre plus lisible.