

Bilan des recherches 2000 - 2005

Outre le développement de recherches d'envergure classique portant sur des questions très circonscrites, les programmes nationaux, associés aux moyens de l'INSU, ont permis la mise en place de projets ambitieux comme Fastex, Map, Pomme, Escompte, Amma... Ces actions d'envergure, caractérisées par une problématique scientifique bien ciblée, ont demandé une approche multidisciplinaire et des moyens d'observation et d'expérimentation lourds, associant le plus souvent un volet de modélisation numérique très conséquent. Elles ont exploré et relié des échelles de temps et d'espace très variées, de la seconde/minute aux millénaires, de la cellule au globe terrestre. Par leur ampleur, elles ont nécessité une programmation pluriannuelle et la collaboration de plusieurs organismes de recherche nationaux. Enfin, la plupart se sont intégrées dans des actions internationales, en particulier européennes, dans lesquelles la communauté française a pu avoir une position prépondérante.

Par-delà l'étude des processus fondamentaux et de leur couplage, la communauté s'est également intéressée au transfert de ses compétences, afin de répondre à la demande sociétale en matière de prévision et de gestion durable, en développant des applications opérationnelles.

Les projets présentés dans ce document ont été choisis parmi les plus représentatifs des orientations scientifiques et les plus illustratifs de la pertinence des moyens mis à la disposition de la communauté.

I. Au niveau national

I.1. De grands projets

Afin d'illustrer l'intérêt d'une programmation pluriannuelle et de la nécessaire collaboration des organismes de recherche nationaux, les trois projets présentés ci-dessous ont été sélectionnés parce qu'ils sont organisés autour d'une ou plusieurs campagnes ambitieuses d'observation sur le terrain.

Escompte (Expérience sur site pour contraindre les modèles de pollution atmosphérique et de transport d'émissions)

Soutenue par le ministère de l'Environnement et du Développement Durable (MEDD), par différents établissements publics (Ademe, CNES, CNRS/INSU, Météo-France) et par la région Paca, la campagne Escompte s'est déroulée dans le cadre de plusieurs programmes nationaux dont le Programme national de chimie de l'atmosphère (PNCA-INSU) et le Programme de recherche inter-organismes pour une meilleure qualité de l'air à l'échelle locale (Primequal-MEDD). Son but était de rassembler les meilleurs spécialistes, pendant deux mois (juin-juillet 2001) en un même lieu (la région Berre-Marseille), afin de réaliser des expériences/mesures permettant à terme de mieux contraindre les modèles de pollution atmosphérique et de transport d'émissions.

De nombreux instruments (au sol, en avion et sous ballon) ont été déployés par plusieurs laboratoires français et étrangers afin de compléter les observations des associations de surveillance de la qualité de l'air (Airmarex et Airfobed). Un total d'environ 120 scientifiques a participé à cette campagne.

Parmi les principaux résultats, on peut noter la production d'une base de données détaillée des émissions de polluants primaires, ainsi que de la composition et de la physique de l'atmosphère, lors d'épisodes de pollution photochimique. Cette base de données est hébergée par Medias-France. Elle permet d'étudier les processus à l'œuvre dans la pollution urbaine et périurbaine comme :

- le rôle essentiel des conditions météorologiques sur la pollution, par le transport des particules primaires (émises localement) et par la formation et le transport des particules secondaires (formées à partir des composés organiques volatils anthropiques et biogéniques) ;
- le rôle des vitesses de production d'ozone, qui bien qu'élevées ne produisent pas de pics de pollution importants, ce qui pourrait indiquer des puits non encore identifiés.

Elle sert aujourd'hui de référence pour valider les modèles de pollution atmosphérique travaillant aux échelles locale et régionale et contribuer ainsi à leur amélioration.

Risques de crues-éclairs en région Cévennes–Vivarais

Le soutien conjoint du Programme atmosphère-océan à multi-échelles (Patom) et du Programme national de recherche en hydrologie (PNRH) a conduit à l'élaboration en 1999 d'une opération-pilote centrée sur l'étude des phénomènes de crues-éclairs et mise en œuvre principalement à partir de l'Observatoire hydrométéorologique méditerranéen Cévennes-Vivarais (OHM-CV), labellisé Observatoire de recherche en environnement (ORE) en 2002. Ce projet a également bénéficié du soutien de l'Action concertée incitative (ACI) « Prévention des catastrophes naturelles », de l'ACI « Aléas et changements globaux » et de plusieurs projets européens. Son caractère pluridisciplinaire, par les domaines scientifiques abordés ainsi que par les méthodes d'investigation employées (observation et modélisation), a permis de créer une réelle synergie nationale autour des questions scientifiques liées à la compréhension des processus hydrométéorologiques associés à ces situations extrêmes.

Pomme (Programme océan multidisciplinaire méso-échelle)

Soutenu par le CNRS/INSU, le Shom, l'Ifremer et Météo-France dans le cadre des programmes Patom et Proof (Processus biochimiques dans l'océan et flux), la campagne Pomme a eu pour objectifs principaux :

- de comprendre le rôle de l'échelle kilométrique (méso-échelle) sur les processus de subduction des eaux de surface et de subsurface (eaux modales) et sur la floraison planctonique printanière ;
- de déterminer les processus régulant les caractéristiques physiques et biogéochimiques des masses d'eaux modales et le devenir, à l'échelle annuelle, de la matière biogène subductée et exportée.



Bouée Marisonde lors de la deuxième campagne océanographique (2001) du programme Pomme entre les Açores et la péninsule Ibérique. © CNRS Photothèque

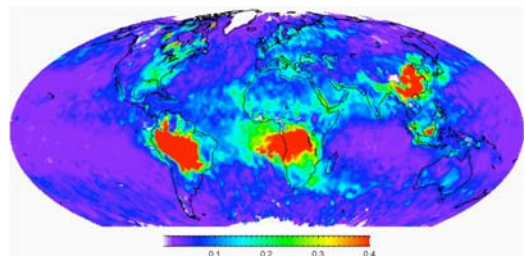
La zone d'étude se trouve dans l'Atlantique Nord-Est à mi-chemin entre les Açores et la péninsule Ibérique (38°N - 45°N). Pomme a permis de préciser la variabilité saisonnière océanique tant physique que biogéochimique dans les couches supérieures de l'océan dans cette région. Cette campagne a donné lieu à un numéro spécial du *Journal of Geophysical Research* en 2005 avec plus d'une vingtaine d'articles. La communauté est maintenant fortement impliquée dans la synthèse finale : elle participe à l'analyse du jeu de données très complet recueilli sur le terrain (une base de données a été créée) et développe des outils de simulation numérique couplée dynamique-biogéochimie, à haute résolution (quelques kilomètres) afin de progresser dans la compréhension des échanges de CO₂ entre l'océan et l'atmosphère et du rôle de la biomasse planctonique dans ces processus. Des résultats nouveaux devraient sortir dans les deux ans à venir.

1.2. Des recherches davantage circonscrites

En complément des grandes actions structurantes nationales, les programmes de l'INSU - section OA ont toujours tenu à soutenir des projets de plus faible ampleur, demandant une programmation plus modeste et un financement relativement léger et posant des questions ciblées et pointues dont l'impact scientifique est plus immédiat mais dont la portée peut être toute aussi importante et fondamentale. Développées dans le cadre de quatre programmes nationaux, ces actions complémentaires ont permis d'obtenir plusieurs résultats scientifiques marquants au cours de ces dernières années.

Concernant le programme national chimie de l'atmosphère (PNCA)

Le PNCA a fortement accompagné le développement et la validation des deux grands modèles atmosphériques Mocage et LMDz-Inca et a permis de fédérer la communauté nationale des modélisateurs. Ces modèles maintenant opérationnels constituent des outils de référence pour un certain nombre d'études en cours actuellement : étude du rôle de la stratosphère et de la biosphère sur le climat, prévision de la qualité



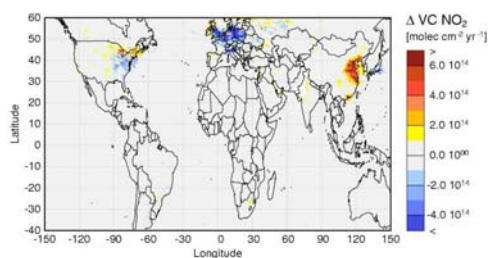
Épaisseur optique des aérosols de petites tailles ($r < 0,5\mu\text{m}$) produits par la pollution et les feux de forêts, mesurée en sept. 2005 par l'instrument Polder à bord du microsatellite Parosol. Cette grandeur est proportionnelle à la quantité totale de ces aérosols dans la colonne d'air. © CNES, LOA, LSCE/IPSL, Icare

de l'air, étude du bilan de l'ozone à l'échelle globale et de sa sensibilité aux précurseurs.

Des expériences en soufflerie, utilisant des échantillons de sol récoltés sur différents continents, ont montré que le soulèvement de particules fines par érosion éolienne n'est possible qu'à partir d'un seuil énergétique, qui est d'autant plus faible que la taille des particules augmente. Par ailleurs, des études de terrain ont montré que les propriétés de surface des aérosols contrôlaient leur hygroscopicité, agissant ainsi sur la formation et le lessivage des noyaux de condensation propices à la formation des nuages.

Pollution atmosphérique : en Chine, les concentrations en dioxyde d'azote ont augmenté de 50% depuis 1996

[05-09-2005]



Cartographie des variations annuelles moyennes de la concentration du dioxyde d'azote (NO_2) dans la troposphère mesurée, de 1996 à 2002, par le spectromètre optique GOME embarqué sur le satellite ERS-2 de l'Agence spatiale européenne.

En analysant les observations de deux instruments embarqués sur satellites, une équipe internationale à laquelle une chercheuse du Service d'Aéronomie de l'IPSL (CNRS, UPMC, UVSQ) est associée vient de dresser une carte des variations, au cours des années 1996-2004, des concentrations du dioxyde d'azote. Ce gaz, émis dans les processus de combustion, joue un rôle fondamental dans la production de l'ozone troposphérique toxique pour les hommes et les animaux. Les chercheurs ont montré que les concentrations des oxydes d'azote décroissent dans certaines régions d'Europe et d'Amérique du Nord alors qu'elles augmentent très rapidement dans les régions industrialisées de Chine. Ainsi, l'augmentation de 50% observée dans ces régions depuis 1996 est largement supérieure aux statistiques officielles d'émissions. (Nature, 1er septembre 2005)

Pour en savoir plus : <http://www.insu.cnrs.fr/web/article/art.php?art=1525>

Concernant le programme atmosphère et océan multi-échelles (Patom)

Le concept « d'observations ciblées » (localisées dans le temps et dans l'espace) a été testé pour la première fois durant la campagne internationale Fastex (Front and atlantic storm-track experiment) dans l'optique d'améliorer la prévision des cyclogenèses en Atlantique Nord. Le Patom a suscité un projet fédérateur (Monumeeep) dédié à l'observation ciblée des cirrus et utilisant les compétences de la communauté en modélisation et observation, de l'échelle microphysique à l'échelle globale. Dans ce contexte, le recoupement de différents jeux de données, obtenus aux latitudes tropicales et tempérées des hémisphères nord et sud, et l'utilisation simultanée d'instruments spatiaux (Polder), aéroportés (CPI, CVI, néphélomètre polaire) ou au sol (lidar/radar/radiomètre) ont permis l'acquisition de nouvelles connaissances sur les caractéristiques radiatives et microphysiques des cristaux de glace constituant les cirrus, tant visibles que subvisibles. Les répercussions en terme de modélisation, déjà tangibles à méso-échelle, devraient à court terme se propager vers la grande échelle.

Concernant le programme national d'étude de la dynamique du climat (PNEDC)

La participation des équipes françaises au programme international WOCE (World ocean climate experiment) a été importante et a permis de nombreuses avancées concernant l'Atlantique.

Tout d'abord, la synthèse des études régionales a conduit à la production d'un nouveau schéma de circulation, pour l'eau profonde allant de l'Atlantique Nord à l'Atlantique Sud, qui met en évidence une séparation du courant de bord ouest et indique qu'une partie importante de l'export des masses d'eau vers le Sud se fait par un courant profond de bord Est. Certains aspects des trajets de masse d'eau ainsi mis en évidence sont en désaccord avec les modèles globaux actuels à basse résolution, mais en accord avec le modèle français Clipper pour les courants zonaux alternés observés dans le bassin du Brésil.

Le comportement de la variabilité atmosphérique dans la région Atlantique Nord – Europe a pu être caractérisé : il apparaît ainsi que les différents régimes climatiques ont été remarquablement stables au cours des 50 dernières années et que le déplacement apparent vers l'est des centres d'action de l'oscillation Nord Atlantique s'explique par une augmentation de la fréquence d'occurrence du régime positif de l'oscillation Nord Atlantique (NAO+) et non par un changement de structure spatiale.

Il convient d'insister sur le démarrage d'un projet pluriannuel ambitieux d'observation dans l'Atlantique Nord dont l'objectif est de fournir l'ensemble des observations nécessaires, sur une période décennale, pour décrire l'évolution lente de l'océan et valider les modèles climatiques dans cette région (réseau dense de flotteurs Argo, sections SSS répétées (Sea surface salinity), couverture altimétrique depuis l'espace, sections hydrologiques Ovide, etc.).

D'autres résultats marquants sont également à mettre à l'actif du PNEDC :

- Une analyse statistique fine de séries climatiques a permis de détecter la part due à l'homme (signal anthropique) dans l'élévation de la température sur le territoire français durant les 30 dernières années. Ce travail de détection du signal climatique anthropique s'est également intéressé au dernier millénaire (archives historiques) afin d'évaluer la variabilité climatique naturelle intervenue avant la révolution industrielle.
- À plus grande échelle de temps, l'étude de l'évolution du climat européen pendant les événements de « Heinrich » et « Dansgaard et Oeschger » qui marquent le cours de la dernière période glaciaire a permis de montrer que les événements d'Heinrich étaient caractérisés en Europe par des épisodes brefs (quelques siècles) extrêmement arides et froids.
- Disposant d'enregistrements de tout premier plan dans la glace, dans l'océan et sur les continents, la communauté a entrepris l'effort de resituer ces enregistrements dans un cadre chronologique commun, reposant sur les datations C14, sur le couple U-Th, sur les données paléomagnétiques et sur la courbe du méthane, afin d'en préciser le scénario climatique complet. La prise en compte des données isotopiques dans le modèle Climber a permis de réduire très précisément l'incertitude sur l'estimation de la durée des événements d'Heinrich.

Concernant le programme processus biochimiques dans l'océan et flux (PROOF)

Les campagnes internationales Biosope (Biogeochemistry and optics south Pacific experiment) dans le Pacifique et Keops (Kerguelen compared study of the ocean and the plateau in surface water) dans l'Océan Austral ont obtenu des résultats importants. Biosope a permis de montrer pour la première fois que des bactéries anoxygéniques photohétérotrophes sont fortement impliquées dans la synthèse de carbone particulaire dans la zone centrale (la gyre) du Pacifique Sud. Ces résultats pourraient apporter une réponse au paradoxe actuel que constitue la faiblesse supposée des taux de fixation de carbone par rapport aux processus de respiration dans ces vastes zones océaniques très appauvries en plancton (zones oligotrophes). Quant à Keops, elle a permis de montrer que l'enrichissement naturel et régulier en fer des eaux superficielles du plateau de Kerguelen dans l'Océan Austral était responsable d'un puits (d'une consommation) de CO₂ au moins deux fois plus important que le puits consécutif à des fertilisations artificielles et discontinues. Associé à d'autres différences majeures, ce résultat conduit à remettre en cause, au moins partiellement, l'intérêt des fertilisations artificielles pratiquées depuis dix ans comme méthodologie de référence pour observer, comprendre puis modéliser la réponse de l'océan à des apports en fer.

Ces dernières années, la communauté française a été leader dans l'extraction de grandeurs biogéochimiques autres que la concentration en « chlorophylle a » à partir de mesures satellitaires de la couleur de l'océan (SeaWiifs, Meris, Modis). Très prometteuses et originales, ces extractions concernent aussi bien l'estimation des grands groupes fonctionnels de phytoplancton que la quantification de la matière dissoute et particulaire ou encore la détermination d'abaques permettant de recalculer la distribution des tailles des particules marines.

Fertiliser les océans : la fin d'une utopie ?

[25-04-2007]



Installation d'une pompe à particules immergeable sur le câble du Marion Dufresne. © KEOPS / CNRS 2007.

La campagne océanographique internationale KEOPS soutenue par l'INSU avec le soutien logistique de l'IPEV s'est déroulée début 2005, à bord du Marion Dufresne au voisinage des îles Kerguelen dans l'océan Austral. Grâce à une approche originale, l'équipe de scientifiques dirigée par Stéphane Blain, chercheur au Laboratoire d'océanographie et de biogéochimie de Marseille (LOB/COM, CNRS / Université Aix-Marseille 2), a révélé que la voie biologique de capture du carbone atmosphérique par l'océan est beaucoup plus sensible à l'apport naturel de fer dans l'eau, qu'à une addition artificielle. Publié dans la revue Nature le 26 avril 2007, ce résultat met clairement en doute l'efficacité annoncée des manipulations de géo-ingénierie visant à réduire la concentration en gaz carbonique atmosphérique par fertilisation des océans via un ajout de fer.

Pour en savoir plus : <http://www.insu.cnrs.fr/web/article/art.php?art=2153>

I.3. Des applications opérationnelles

L'objectif prioritaire de la communauté est de faire progresser la connaissance du fonctionnement de l'environnement de la Terre, en s'intéressant en premier lieu aux processus fondamentaux et à leur couplage. Cependant, cette recherche ne peut rester isolée de la demande sociétale ; elle doit nécessairement avoir des liens avec les questionnements des sphères politique et économique, et plus généralement du « public », concernant la prévision de l'état de notre planète (climat, pollution atmosphérique, etc.) et la gestion durable de notre environnement (ressources vivantes, conséquence des accidents météorologiques, qualité de l'eau, etc.). Suite au progrès des connaissances et des moyens technologiques (telle la puissance des ordinateurs) et à l'évolution des relations entre science et société, une partie de la communauté s'est donc investie dans le transfert de compétences et de résultats académiques vers le domaine opérationnel, comme l'atteste la réussite de quelques projets ambitieux.

Mercator-Océan

Le Groupement d'intérêt public (GIP) Mercator-Océan est un projet pré-opérationnel d'analyse et de prévision de l'état physique de l'océan hauturier (hauteur de la mer, marées, courants, etc.), créé en avril 2002 par six organismes français (CNES, CNRS, Ifremer, IRD, Météo-France et Shom), suite à une initiative des chercheurs remontant à 1995 qui s'était concrétisée par un processus de transfert de savoirs et d'outils entre laboratoires de recherche et équipes opérationnelles. Le modèle numérique d'océan OPA et les méthodes d'assimilation de données, qui sont au cœur du système d'analyse et de prévision de Mercator-Océan, ont été développés dans les laboratoires de recherche français, grâce notamment à l'expérience acquise dans le cadre de projets nationaux de modélisation à haute résolution de l'Atlantique comme Clipper.

Un partenariat original a été mis en place entre les laboratoires de recherche et le GIP. Un Groupe Mission, similaire à ceux accompagnant les projets spatiaux, a été constitué avec pour objectifs de coordonner la recherche fondamentale nécessaire à l'évolution des systèmes, de participer à la validation des produits et de faciliter les transferts entre la recherche et Mercator-Océan. Ces transferts sont constants. Le GIP Mercator-Océan, en répondant à l'attente de ses membres, est ainsi devenu un partenaire incontournable de l'océanographie pré-opérationnelle en Europe dans le cadre GMES (Global monitoring for environment and security).

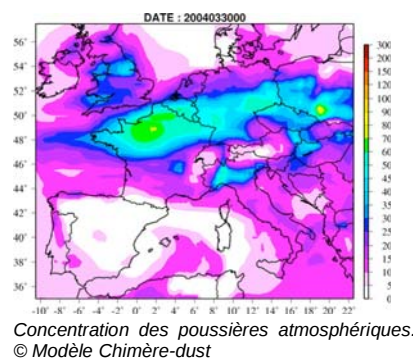
Sim (Safran-Isba-Modcou)

Une modélisation hydrométéorologique de la France, fondée sur le modèle Sim, a été développée dans le cadre d'un projet soutenu par le PNRH. Sim permet de modéliser les bilans hydriques et énergétiques de surface et les débits des grands fleuves, à partir des forçages météorologiques observés et analysés par le modèle Safran sur une grille régulière (mailles de 8 km x 8 km) couvrant l'ensemble de la France. Un des intérêts de Sim est de simuler le cycle continental de l'eau avec un schéma de surface (modèle Isba) couplé à une modélisation atmosphérique et hydrologique (modèle Modcou) à l'échelle régionale. Le système a montré une bonne capacité à simuler les débits journaliers des grands bassins ($S > 1000 \text{ km}^2$) sur de longues périodes de temps. Ainsi, les premières évaluations de l'abondance/importance des diverses composantes du cycle de l'eau (évaporation, ruissellement, neige, eau du sol...) ont pu être établies et mises en relation avec les contextes météorologiques et hydrologiques.

À la suite de ces développements, le modèle Sim a été transféré vers les services opérationnels pour le suivi en temps réel du bilan hydrique de surface et des débits des grands fleuves. Cette application est en œuvre depuis début 2004. En complément de son intérêt pour la surveillance de la ressource en eau et du statut hydrique des sols du territoire français, Sim va permettre de mieux initialiser les réservoirs de surface des modèles météorologiques de méso-échelle tels que Mésio-NH et Arome.

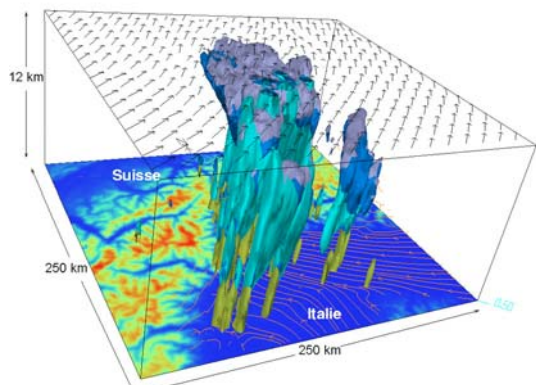
Prev'Air (Prévisions et observations de la qualité de l'air)

Concernant la qualité de l'air, le PNCA est à l'origine du soutien scientifique au développement d'une plate-forme expérimentale (Pionner) proposé par un consortium de plusieurs laboratoires autour des modèles Chimère (IPSL-CNRS) et Mocage (Météo-France). L'objectif était la mise au point de modèles de pollution atmosphérique à différentes échelles. Avec le soutien du MEDD et de l'Ademe, le transfert à l'opérationnel a finalement abouti au système « Prev'Air », géré par l'Ineris, de prévision opérationnelle de l'évolution de l'abondance de l'ozone et des oxydes d'azote. La plate-forme est en



évolution constante dans les laboratoires du consortium et sera l'un des éléments du programme international GMES d'étude de la Terre en ce qui concerne la thématique « pollution de l'air ».

Arome



Simulation par le modèle Mésoscale-NH à haute résolution spatiale de la ligne de grains observée le 17 septembre 1999, lors de la campagne MAP. © LA/OMP

Le modèle atmosphérique Mésoscale-NH (code informatique) résulte d'un étroite partenariat entre Météo-France, le CNRS et les universités. Conçu comme un modèle de recherche, il intègre l'état de l'art en matière de paramétrisations physiques et son utilisation intensive dans les grandes campagnes organisées par la communauté (Fastex, Map...) a permis de mettre en évidence qu'un gain de prévisibilité était possible aux échelles kilométriques. Ces résultats ont pesé sur les choix stratégiques de Météo-France et ont contribué à la définition du projet Arome, dont l'objectif est la mise en place en 2008 d'un nouveau modèle de prévision météorologique, opérationnel à l'échelle kilométrique et basé sur Mésoscale-NH. Ainsi, avec Arome, la représentation du cycle de l'eau sera largement fondée sur les paramétrisations physiques et microphysiques

développées par les chercheurs. Il y a donc un transfert effectif de savoir-faire et de connaissances au profit de l'opérationnel. Ce transfert ne se limite pas à l'échange de codes numériques. Il implique également une participation des chercheurs à des actions de formation auprès des utilisateurs des services opérationnels. Il est exemplaire d'une coopération féconde entre la recherche académique et les missions finalisées d'un grand organisme.

II. Au niveau international

Que ce soit par le biais d'expériences de terrain, de mesures en laboratoire, de la modélisation climatique, de réseaux de surveillance, de services ou de sites d'observation, la dynamique impulsée par les actions soutenues par l'INSU a permis à la communauté française « océan-atmosphère » d'ouvrir les programmes nationaux à la collaboration internationale tout en gardant la maîtrise des projets et d'être à l'initiative et leader de nombreux projets européens dont certains sont détaillés ci-dessous.

Map (Mesoscale alpine programme)

Le programme Map visait à améliorer la connaissance et la prévision des précipitations et de la circulation atmosphérique au voisinage d'une chaîne montagneuse, thèmes internationalement reconnus comme prioritaires, en particulier par l'OMM.

Initié par Météo-Suisse, Map a rapidement mobilisé les services météorologiques et agences scientifiques des pays alpins. Le soutien immédiat et significatif du Patom s'est avéré déterminant pour convaincre d'autres partenaires (Canada, États-Unis, Grande-Bretagne) d'apporter une importante participation. Map a donné lieu à l'automne 1999 à une vaste campagne expérimentale conduite sur l'ensemble du massif alpin sous un co-leadership franco-américain. Au total, 14 pays et environ 200 chercheurs et collaborateurs techniques se sont mobilisés durant plusieurs années pour réaliser les objectifs de ce programme.

Map a permis de recueillir une documentation sans précédent des écoulements alpins et de mettre ainsi en évidence leur profonde et complexe altération induite par les caractéristiques du relief. La distribution spatio-temporelle des précipitations a pu être analysée. Map a également permis de tester les nouveaux modèles numériques en cours de développement qui préfigurent la nouvelle génération des modèles de prévision du temps, il est depuis lors avéré que les modèles de résolution kilométrique apportent un gain de prévisibilité, tant pour les épisodes de foehn que pour les précipitations intenses.

Scout-03 (Stratospheric climate links with emphasis on the upper troposphere and lower stratosphere)

Des efforts importants ont été déployés dans les années 1990 par l'Union Européenne pour fédérer la communauté scientifique en organisant de grandes campagnes d'étude des processus entrant en jeu dans

la formation du trou d'ozone : EASOE (European arctic stratospheric ozone experiment), Theseo (Third european stratospheric experiment on ozone), etc. Grâce notamment aux lancements des ballons du CNES et aux avions de recherches atmosphériques (INSU, Météo-France et CNES), la communauté française a pu se structurer et jouer un rôle majeur dans ces campagnes. Elle a ainsi pu être le leader d'un projet tel qu'Hibiscus-Troccinox qui a notamment mis en évidence la grande variabilité des concentrations d'ozone et de dioxyde d'azote dans la zone de transition entre troposphère et stratosphère (de 14 à 20 km) dans les régions tropicales. Ainsi, le maximum marqué d'oxydes d'azote (NO_x) sur l'Amérique du Sud et son appauvrissement rapide quand on se déplace au-dessus du Pacifique semblent s'expliquer par une combinaison du transport horizontal et par la présence d'une source continentale locale liée aux orages. Cette structuration a également permis à la communauté de prendre une place prépondérante dans le projet Scout du 6^e PCRD, notamment en s'impliquant dans la campagne d'étude de la haute troposphère et de la basse stratosphère qui s'est déroulée en Afrique, en synergie avec la campagne Amma.

Introp (Interdisciplinary tropospheric research)

Cette action, dont la conduite est assurée par la France dans le cadre de l'European Science Fondation (ESF), regroupe des études en laboratoire, des campagnes de mesure et de la modélisation atmosphérique afin d'apporter les éléments nécessaires à la compréhension de phénomènes atmosphériques liés à la qualité de l'air et au climat (formation et vieillissement des aérosols, oxydation de polluants complexes ou simulation de l'évolution de la composition atmosphérique). Introp favorise à l'échelle européenne les échanges d'informations et de personnels, mais aussi l'organisation de réunions d'experts, notamment sur des questions clés (oxydation de polluants et physico-chimie des aérosols). En cela, Introp permet d'organiser la communauté afin qu'elle mutualise ses efforts, en particulier sur l'ensemble des actions liées aux études en laboratoire et au maintien du développement des connaissances de base (processus chimiques et physico-chimiques), qui sont indispensables au développement des futurs outils de simulation opérationnelle. Cette action Introp favorise donc une structuration des équipes françaises et européennes.

Mersea (Marine environment and security for the European area)

La France a la responsabilité du projet européen Mersea du 6^e PCRD pour le développement d'un système pré-opérationnel de surveillance et de prévision des courants, des cycles biogéochimiques et des écosystèmes océaniques, de l'échelle globale à l'échelle régionale et pour des pas de temps allant de la journée à quelques mois. Ce projet, qui a démarré en 2004 et dans lequel le GIP Mercator-Océan joue un rôle important, est placé sous la coordination de l'Ifremer, le CNRS pilotant le volet recherche. Au cœur du système, la synthèse d'information *via* l'assimilation des données spatiales et *in situ* dans des modèles d'océan permet de répondre aux demandes de clients essentiellement institutionnels en termes d'analyse, de prévision et de définition de produits et de services. Le modèle global à très haute résolution actuellement développé par le GIP Mercator-Océan sera complété par un ensemble coordonné de modèles régionaux qui devrait permettre de faire progresser la prévision en milieu côtier. Ce système intégré a vocation à devenir la composante océanique de GMES.

Eur-Oceans

Grâce au rôle structurant des programmes de l'INSU en biogéochimie marine, la communauté française a rapidement eu une excellente visibilité internationale, en particulier dans le cadre des grandes campagnes océanographiques du programme international Joint global ocean flux study (JGOFS). Les relations étroites existant entre plusieurs champs d'expertise (modélisation, observation, expérimentation, chimie et biologie) ont permis de mettre sur pied des actions fédérées et ambitieuses dans le cadre de projets européens, en particulier dans l'Océan Austral et dans les régions oligotrophes de l'océan mondial, qui ont conduit à la création du réseau d'excellence Eur-Oceans du 6^e PCRD, dont le leadership est français (IUEM et LOV). Ce réseau, qui fait le lien entre la biogéochimie marine (cycle du carbone et des éléments majeurs), l'écologie (fonctionnement des écosystèmes marins) et les ressources halieutiques, reflète le niveau de maturité de la communauté française, capable d'engager ce type de couplage complexe, grâce notamment à la modélisation.

Amma (Analyses multidisciplinaires de la mousson Africaine)

D'importants efforts de recherche ont été déployés ces dernières années pour étudier la variabilité interannuelle et inter-décennale de la mousson en Afrique de l'Ouest. Cela a permis de montrer que les variations interannuelles marquées des dernières décennies ont eu pour conséquence des années extrêmement sèches, qui ont aggravé l'impact environnemental et socio-économique du déficit hydrique régional. Une telle variabilité soulève des questions essentielles pour le développement durable de toute la

région. Afin d'y répondre, la communauté soutenue par les organismes a mis en place un ambitieux programme trans-disciplinaire et multi-échelles, le programme Amma dont les deux objectifs majeurs sont les suivants :

- améliorer la compréhension de la mousson de l'Afrique de l'Ouest et de son influence sur l'environnement physique, chimique et biosphérique aux échelles régionale et globale ;
- relier la variabilité du climat aux impacts sur la santé humaine, les ressources en eau et la sécurité alimentaire des nations d'Afrique de l'Ouest, et définir les stratégies de surveillance appropriées.

Pour atteindre ces objectifs, Amma met en oeuvre une approche combinant observations spatiales, aéroportées et *in situ*, analyse de données et modélisation numérique sur une large gamme d'échelles spatio-temporelles. Amma est un programme international qui regroupe des chercheurs de disciplines aussi diverses que la météorologie, la climatologie, l'océanographie, la chimie de l'atmosphère, l'hydrologie, l'hydrogéophysique, l'écologie végétale, l'alimentation ou la santé.

D'un point de vue structurel, les organismes français concernés (CNRS/INSU, CNES, Ifremer, IRD, Météo-France) ont mis en place un mécanisme spécifique et original, dénommé API (Action programmée inter-organismes), destiné à assurer la cohérence de l'ensemble des contributions, en concertation avec les programmes nationaux, et à formuler des recommandations aux chercheurs et financeurs. Amma est également soutenu par l'Europe en tant que Projet Intégré du 6^e PCRD, sous coordination CNRS, avec de fortes participations allemandes, britanniques, italiennes et américaines.

Campagne internationale Amma : succès de la première campagne d'observation

[20-04-2006]



Amma, site de prélèvement et d'analyse des aérosols mis en œuvre par le Lisa près de Niamey (Niger). © Amma, CNRS

Campagne internationale Amma : succès de la première campagne d'observations

La première campagne d'observations d'Amma s'est déroulée avec succès de mi-janvier à mi-février. Elle a permis de caractériser les propriétés microphysiques et radiatives des aérosols ainsi que leur dynamique pendant la saison sèche en Afrique de l'Ouest. Cette campagne regroupait plusieurs séries d'observations placées sous la responsabilité de scientifiques britanniques, français, africains et américains, impliquant plus d'une dizaine de laboratoires de différents pays, avec le soutien de la Commission européenne.

Pour en savoir plus : <http://www.insu.cnrs.fr/web/article/rub.php?rub=395>

Le changement climatique (contribution française au GIEC)

La compréhension du fonctionnement climatique du Système Terre repose sur l'utilisation de modèles numériques. En s'appuyant sur un savoir-faire fort, les chercheurs ont réussi à intégrer leurs efforts dans le cadre de collaborations nationales et européennes (projets Enes, Ensemble...).

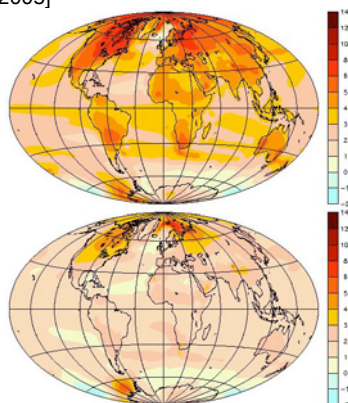
Ainsi, la mise en place d'une stratégie scientifique commune a conduit les équipes françaises de Météo-France et de l'IPSL à produire un ensemble de scénarios climatiques, organisés autour du modèle océanique OPA (et de la réflexion stratégique européenne Prism), qui leur a permis de participer au 4^e rapport du GIEC (Groupe intergouvernemental d'experts sur le changement du climat) présenté à Paris le 2 février 2007. Les simulations effectuées dans ce contexte ont pris en compte plusieurs des hypothèses contrastées émises par le GIEC sur l'évolution des concentrations des gaz à effet de serre et des aérosols sulfatés. Les sorties de ces simulations ont été formatées et mises à la disposition de la communauté scientifique.

Pour ce faire, les modèles utilisés ont fait l'objet de modifications importantes par rapport aux versions précédentes afin d'améliorer le comportement physique du système, à l'aide notamment de la nouvelle paramétrisation de la convection nuageuse dans le modèle de l'IPSL, et de mieux représenter le cycle d'éléments importants du système climatique (eau et carbone).

Un autre aspect important de ces recherches concerne la régionalisation. Un effort a été fait pour prendre en compte l'histoire et l'hétérogénéité des sols, des cultures ou des couverts végétaux dans la maille d'un modèle global. L'utilisation de maillages étirés a permis de mieux cerner la variabilité sur l'Europe. Enfin, un modèle régional couplé sur la Méditerranée a également été développé pour aborder des questions critiques de couplage hydrologie/climat autour de ce bassin.

Réchauffement climatique : les nouveaux résultats des modèles français

[05-09-2005]



Modèle de l'IPSL : en haut, scénario A2 (émissions élevées) et en bas scénario B1 (émissions faibles). Réchauffement (en °C) à la fin du XXI^e siècle (moyenne des années 2090 à 2099) par rapport à la fin du XX^e siècle (moyenne des années 2000 à 2009). © IPCC. IPSL

Dans le cadre de la préparation du prochain rapport du Groupe intergouvernemental d'Experts sur l'Évolution du Climat (GIEC) à paraître en 2007, et à la demande de la Mission Interministérielle sur l'Effet de Serre avec le soutien des organismes de recherche (CNRS, CEA, Météo-France), la communauté climatique française vient de réaliser un exercice de simulation du climat sans précédent. La contribution des équipes françaises à l'élaboration du précédent rapport (2001) avait été limitée à l'exploitation des résultats de quelques simulations (scénarios de croissance régulière de la concentration du gaz carbonique, scénario original prenant en compte le couplage entre le climat et le cycle du carbone, scénarios climatiques régionalisés sur l'Europe, simulation des paléoclimats). C'est la première fois qu'elle participe à la réalisation d'un ensemble important de simulations de scénarios recommandés par le GIEC pour servir de base à l'évaluation des changements climatiques futurs.

Pour en savoir plus : <http://www.insu.cnrs.fr/web/article/art.php?art=335>

L'étude des paléoclimats

La communauté française travaillant sur la dynamique naturelle du climat agit comme un moteur puissant pour l'élaboration de programmes européens dans le domaine (« 250 kyr », Epica, Pôle-Océan-Pôle, Epica-MIS, projets Euroclimate de l'ESF). Elle a probablement été l'une des premières à réunir expérimentateurs et modélisateurs pour comprendre les processus mis en jeu et aider à l'amélioration des modèles climatiques. Ce leadership doit beaucoup à la structuration nationale, en particulier aux programmes nationaux PNEDC (Programme national d'étude de la dynamique du climat) et Eclipse (Environnement et climat du passé : histoire et évolution), qui a créé les conditions nécessaires au décloisonnement des disciplines (glaciologie, océanographie, surfaces continentales, modélisation).

Dans ce cadre, les périodes interglaciaires sont des laboratoires irremplaçables pour étudier les fluctuations climatiques dans un monde chaud et la France a joué un rôle moteur dans l'acquisition des données glaciologiques correspondantes. Le forage Epica (European project for ice coring in Antarctica) à Dôme C s'est achevé en décembre 2004 à une profondeur de 3270 m, l'âge atteint étant d'au moins 800 000 ans : cette couverture de huit stades interglaciaires ouvre désormais de nouvelles perspectives pour l'étude de ces périodes « chaudes » passées.

Parallèlement, grâce au navire Marion Dufresne et à son carottier géant Calypso (60 mètres) unique au monde, la communauté Images a pu obtenir des enregistrements de sédiments océaniques remontant jusqu'à un million d'années, dont l'étude a été à l'origine de découvertes remarquables concernant la variabilité rapide du climat. Il a ainsi pu être démontré que des événements climatiques brefs et violents (quelques siècles) avaient émaillé (tous les 7500 ans) la dernière glaciation, entraînant des coups de froid intenses et une aridification sur l'Europe de l'Ouest, fortement ressentis par les populations. Dans ce domaine, la France a une position de leader international.

Enfin, la communauté s'est largement mobilisée pour répondre à l'appel d'offre lancé par Euroclimate, dans le cadre de l'ESF, sur les paléoclimats, appel d'offre dont le thème concernait l'étude de l'évolution du climat de la Terre depuis un million d'années. La plupart des projets soumis portaient sur l'étude de carottes de glace, de sédiments océaniques ou de coraux. De nombreuses équipes françaises ont répondu, ce qui montre le dynamisme scientifique de la communauté sur des thèmes nouveaux par rapport aux programmes nationaux existants. En outre, elles faisaient souvent partie des projets sélectionnés, ce qui souligne la reconnaissance de leur expertise et de leur bonne intégration dans le réseau européen.

Les secrets du climat des 740 000 dernières années

[09-06-2004]



Forage EPICA : extraction d'une carotte. © LGGE..

Les derniers résultats du projet EPICA (*European project for ice coring in Antarctica*) auquel participent des équipes du CNRS, du CEA et de l'IPEV sont publiés dans la revue Nature du 10 juin 2004, qui leur consacre sa couverture.

À travers le prisme de trois kilomètres de carottes glaciaires extraites du Dôme C en Antarctique, les chercheurs nous révèlent l'évolution du climat (température et composition atmosphérique) des 740 000 dernières années. Il s'agit de la plus ancienne reconstitution climatique jamais obtenue à partir de carottes glaciaires.

Pour en savoir plus : <http://www.insu.cnrs.fr/web/article/art.php?art=939>

Station antarctique Concordia

Suite à un accord de coopération signé en 1993, la station antarctique Concordia a été installée conjointement par l'Italie (PNRA) et la France (IPEV) au dôme C, sur le site du forage Epica. Avec la station Admunssen-Scott au pôle Sud, c'est la seule station permanente située sur le plateau antarctique. Les caractéristiques de ce site isolé et éloigné des autres stations, à une altitude élevée, reposant sur une épaisse couche de glace et situé à l'intérieur du vortex polaire, en font le lieu privilégié de six grands axes de recherche (allant de la médecine à l'astrophysique en passant par la glaciologie et les sciences de l'atmosphère) retenus par le programme Concordia. Pour accompagner les études portant sur la glaciologie et la chimie de la troposphère et de la stratosphère polaire, un effort important de l'INSU a été consacré à l'équipement de cette station.



Station Concordia. © IPEV

Les Services d'observation

La plupart des Services d'observation (SO) contribuent de façon importante à des réseaux internationaux. Parmi les 16 SO labellisés par l'INSU, on notera par exemple que :

- le SO-IDAF (Igac/Débit/Afrique) participe à la mesure de l'évolution à long terme des concentrations atmosphériques des gaz et aérosols et des précipitations afin d'améliorer les quantifications des apports secs (poussières) et humides (pluies) qui retombent à la surface de la Terre.
- le SO-Mosaic (Measurement of ozone, water vapour, carbon monoxide and nitrogen oxides by Airbus in-service aircraft) contribue aux mesures d'ozone, de vapeur d'eau, de monoxyde de carbone et d'oxydes d'azote dans la troposphère libre à partir d'avions de ligne ; c'est un consortium européen original et exemplaire, soutenu depuis sa création par des projets européens et ayant un partenariat avec Airbus ;
- le SO-Rosame, qui participe au suivi à long terme du niveau moyen des mers en maintenant des marégraphes dans les régions australes, est une contribution essentielle au réseau international Gloss (Global sea level observing system).