

Conférence de presse
1^{er} juin 2007

Bilan et Prospective

Océan Atmosphère



Légendes de la mosaïque de couverture :

(haut, gauche) : Deuxième campagne océanographique (Pomme 1) du programme Pomme. © CNRS Photothèque, Photographes : Peggy Rimmelin et Camila Fernandez

(haut, droite) : Vue de la zone industrielle à partir de la station de Aifobep (Martigues). © CNRS Photothèque/Escompte, Photographe : Rémi Lengereau

(bas, gauche) : Arrivée d'un courant de densité "tracé" par les particules du sol qu'il soulève au fur et à mesure de sa progression, à Hombori au Mali. Ce phénomène, de nature convective, porte le nom de haboob. © CNRS Photothèque, Photographes : Françoise Guichard et Laurent Kergoat

(bas droit) : Île des Pétreles (piste du Lion) en fin de saison d'été austral, près de la base française de Dumont d'Urville. © CNRS Photothèque, Photographes : Jean Duprat et Cécile Engrand

Sommaire

Contexte général	1
Bilan des recherches 2000 – 2005	2
Au niveau national	2
De grands projets	2
Des recherches davantage circonscrites	3
Des applications opérationnelles	6
Au niveau international	7
Prospective 2006 – 2011 : 15^{de} nouveaux enjeux scientifiques	12
La demande sociétale	12
Cinq enjeux scientifiques majeurs	13
Trois objectifs intégrateurs	13
Réduire les incertitudes sur la modélisation du Système Terre	13
Analyser les processus et flux aux interfaces	14
Étudier les impacts des changements globaux	15
Trois zones atelier à privilégier	16
La région méditerranéenne	16
Les régions polaires	16
Les régions tropicales	17
Prospective 2006 – 2011 : une nouvelle organisation et de nouveaux moyens pour la recherche	18
Des programmes structurants, au niveau national et international	18
Des systèmes et moyens d'observation	19
Les plates-formes d'observation	19
L'instrumentation	21
Les services labellisés INSU	22
L'exploitation des données multi-sources	22
Le calcul intensif	23
Des ressources humaines	23
Bilan des effectifs	23
Effectifs chercheurs	24
Effectifs ITA et IATOS	24
Conclusions	25
Des moyens financiers	25
Annexes	26
Les observatoires des sciences de l'Univers	26
Les unités de recherche	26
Les unités supports	27
Les réseaux et groupements d'intérêt	28
Les services nationaux labellisés	28
La flotte océanographique civile nationale	29
Les avions utilisés par la communauté OA	30
Résumé des conclusions du colloque de Lille (2005)	30
Objectifs scientifiques majeurs	30
Comment les mettre en oeuvre ?	31
Outils et moyens : quelles priorités ?	31
Sigles et acronymes	32

L'Institut National des Sciences de l'Univers

L'INSU a pour mission d'élaborer, de développer et de coordonner les recherches d'ampleur nationale et internationale qui sont menées, dans le domaine des sciences de l'Univers, au CNRS et dans les établissements publics relevant de l'éducation nationale.

Ces recherches abordent des champs d'investigation très vastes, qui vont de l'astronomie-astrophysique à l'étude de l'intérieur de la Terre, en passant par l'étude de sa surface et des fluides qui l'enveloppent.

L'INSU est donc un institut multidisciplinaire qui, sur des sujets de recherche communs relevant de la thématique « Planète-Univers », permet de fédérer une force de frappe très importante, regroupant des personnels (chercheurs, ingénieurs, techniciens), mais aussi les moyens techniques associés et les financements nécessaires. L'INSU est organisé en quatre sections : « Astronomie-Astrophysique », « Océan-Atmosphère », « Sciences de la Terre » et « Surfaces et Interfaces Continentales ».

Une des caractéristiques de l'INSU est d'avoir très fortement développé l'approche inter-organismes. C'est particulièrement vrai pour la section Océan-Atmosphère (OA), qui a depuis longtemps mis en place des collaborations avec Ifremer, Météo-France, le CEA, le CNES, l'IPEV, le MEDD, l'Ademe, l'IRD, etc. Ces organismes participent très activement à la mise en oeuvre des campagnes et des moyens lourds (avions, ballons, bateaux, etc.), à l'élaboration et au suivi des programmes scientifiques et des chantiers majeurs, à la mise en place de centres d'expertise, de bases de données, etc.).

Contexte général de la recherche française dans le domaine « Océan-Atmosphère »

La mission de la communauté scientifique « Océan-Atmosphère », coordonnée nationalement par l'INSU (*cf. encart*), est d'étudier, comprendre et modéliser le fonctionnement de l'océan, de l'atmosphère et de leur couplage et évolution à différentes échelles de temps et d'espace. Elle est aussi de proposer des réponses aux très fortes demandes sociétales concernant les impacts de l'activité humaine sur notre planète, et plus particulièrement sur le changement climatique, la biodiversité, la composition chimique de l'atmosphère, la pollution, les ressources halieutiques, la gestion durable...

Cette communauté est donc confrontée à un double défi :

- répondre à des questions scientifiques exigeant une forte interdisciplinarité ;
- transférer dans le domaine opérationnel les savoir-faire acquis.

Au cours des dernières années, cette communauté, qui implique de nombreux organismes de recherche¹, a mis en place des actions d'envergure, tant au niveau national qu'international, qui ont contribué à apporter des éléments de réponse aux enjeux scientifiques mis en avant lors de son précédent exercice de bilan et prospective (colloque de Brest, 2000). Ces actions sont détaillées dans la partie « Bilan ».

Ces enjeux n'ont pas été remis en cause lors du dernier exercice de bilan et prospective qui s'est déroulé fin 2005 (colloque de Lille). Ils ont cependant été examinés sous une perspective différente, afin de prendre en compte les interrogations des citoyens notamment sur les risques naturels et sur les impacts actuels et futurs des perturbations induites par les activités humaines. Les principaux enjeux des recherches à venir et les opérations et programmes à mettre en oeuvre pour les 5 à 10 prochaines années sont mis en relief dans la partie « Prospective ». Face à l'évolution rapide de la recherche dans le domaine des changements globaux, cette prospective est elle-même évolutive. On notera, depuis 18 mois, un renforcement de la dynamique européenne, tant dans le domaine du changement chimique et biogéochimique que dans le domaine climatique, ainsi que l'ouverture à l'interdisciplinarité impliquant de franchir les frontières des programmes INSU.

Enfin, la nouvelle structuration mise en place à l'INSU en 2006 par la section « Océan-Atmosphère » (dite OA) pour accroître les performances des recherches dans le domaine « Océan-Atmosphère » (programmation, systèmes et moyens d'observation, ressources humaines) est décrite brièvement dans la dernière partie.

Le document complet, qui fait suite au colloque de Lille et décrit en détail l'ensemble des résultats obtenus depuis 2000 et les voies de recherche que la communauté OA explorera durant la décennie à venir, peut être :

- obtenu auprès de Dominique Armand (01 44 96 43 68, dominique.armand@cnrs-dir.fr)
- téléchargé à l'URL : <http://www.insu.cnrs.fr/web/article/art.php?art=2171>

¹ Principaux organismes contributeurs : Ademe, CEA, CNRS, CNES, Ifremer, IRD, IPEV, MEDD et Météo-France
Autres organismes associés : Arkema, EDF, INRA, Inria, Shom...

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

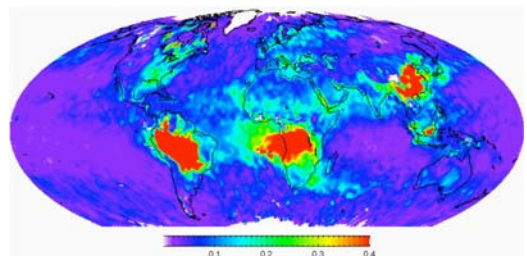
La zone d'étude se trouve dans l'Atlantique Nord-Est à mi-chemin entre les Açores et la péninsule Ibérique (38°N - 45°N). Pomme a permis de préciser la variabilité saisonnière océanique tant physique que biogéochimique dans les couches supérieures de l'océan dans cette région. Cette campagne a donné 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



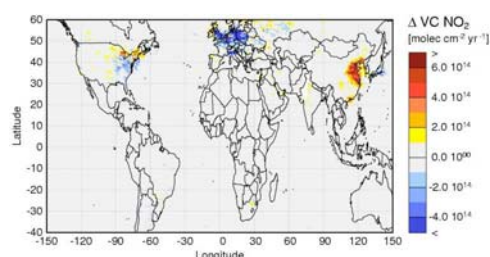
Épaisseur optique des aérosols de petites tailles ($r < 0,5\mu\text{m}$) produits par la pollution et les feux de forêts, mesurée en sept. 2005 par l'instrument Polder à bord du microsatellite Parosol. Cette grandeur est proportionnelle à la quantité totale de ces aérosols dans la colonne d'air. © CNES,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

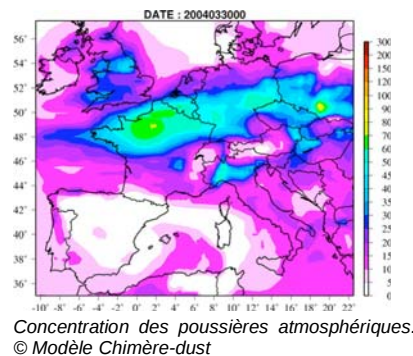
Sim (Safran-Isba-Modcou)

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.

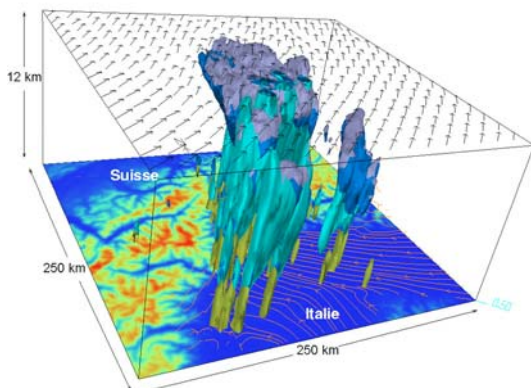
Prev'Air (Prévisions et observations de la qualité de l'air)

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 Chimere (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...).

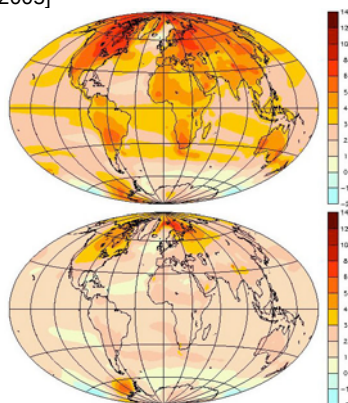
Ainsi, la mise en place d'une stratégie scientifique commune a conduit les équipes françaises de Météo-France et de l'IPSL à produire un ensemble de scénarios climatiques, organisés autour du modèle océanique OPA (et de la réflexion stratégique européenne Prism), qui leur a permis de participer au 4^e 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).

Prospective 2006-2011

De nouveaux enjeux scientifiques

Lors du dernier colloque de prospective de Lille (21-23 novembre 2005), les réflexions ont notamment porté sur la définition des priorités et orientations scientifiques à privilégier, de manière à répondre au mieux à la demande sociétale : cinq enjeux scientifiques majeurs, trois objectifs intégrateurs et trois zones atelier sur lesquelles la communauté devra se concentrer dans les dix prochaines années ont été identifiés.

I. La demande sociétale

La communauté scientifique est de plus en plus sollicitée par les différents acteurs de la société (institutions, industriels et citoyens) pour répondre à leurs interrogations concernant les impacts environnementaux des activités humaines : évaluation de l'intensité du réchauffement climatique, prévision des pics estivaux d'ozone dans et autour des grandes agglomérations, éventuelle recrudescence des événements cataclysmiques eutrophisation des eaux côtières...

Lorsqu'on les rapproche des problèmes scientifiques qui les sous-tendent, ces questions peuvent être posées en des termes différents :

- dispose-t-on des outils opérationnels nécessaires à la surveillance ou à la prévision ?
- quels réseaux et quels types de mesures doit-on mettre en œuvre pour remplir ces tâches ?
- dispose-t-on de l'expertise suffisante pour fournir aux pouvoirs publics les éléments scientifiques permettant d'apprécier l'effet réel de telle ou telle mesure de régulation de la pollution ?
- quelle est la tendance à long terme de tel ou tel phénomène ?
- dispose-t-on d'outils technologiques permettant de limiter, voire d'éviter, les émissions éventuellement dangereuses ?
- quels sont les véritables risques selon les populations ?
- peut-on anticiper des risques futurs liés au développement technologique ?
- quelles sont, aux différentes échelles, les éventuelles conséquences socio-économiques des modifications de l'environnement ?

Ceci nécessite donc la maîtrise d'un ensemble cohérent de trois éléments en interaction :

- une recherche et un développement technologique de pointe ;
- la création de normes et de règles de droit ;
- des systèmes de détection, de surveillance et de contrôle.

Par ailleurs, il est indispensable de disposer d'agents de médiation pour transcrire ces demandes sociétales en questionnements scientifiques perceptibles par la communauté. Un bon exemple de ce type de relais est celui joué par l'Ademe dans de nombreux domaines concernant l'environnement.

La communauté scientifique n'est pas toujours prête à répondre à ces défis, car soit des travaux complémentaires de recherche fondamentale qui n'avaient pas été identifiés sont nécessaires, soit au contraire ces questions considérées comme déjà résolues nécessitent un transfert vers une mise en œuvre opérationnelle plutôt du ressort d'autres instances. Comment peut-elle s'organiser pour répondre à ces demandes ? Quelques pistes de réflexion peut-elle proposer suivant le type de demande et/ou le contexte national ou international, européen notamment ?

Elle doit s'avérer capable de percevoir ces demandes, de les analyser et d'identifier celles pour lesquelles un réel besoin de recherche s'avère nécessaire. Sa mission consiste alors à mener les études amont requises et/ou à élaborer les « prototypes » qui permettront de démontrer la capacité des outils développés à satisfaire la demande, mais également à apporter un soutien en expertise lorsque celui-ci est sollicité par les institutions et à s'assurer que le public est correctement informé du résultat des recherches menées sur ces questions.

II. Cinq enjeux scientifiques majeurs

Depuis 2000, la communauté a mis en place des actions d'envergure qui ont contribué à apporter à ces questions des éléments de réponse qui sont détaillées dans la partie « Bilan ». Les enjeux ne sont pas remis en cause dans l'exercice de prospective actuel, mais sont examinés sous une perspective différente, afin de prendre en compte les interrogations des citoyens, notamment sur les risques naturels ou les impacts actuels et futurs des perturbations induites par les activités humaines. Cinq enjeux majeurs ont été identifiés pour consolider notre connaissance des enveloppes fluides (océan, atmosphère, glace...) et leur rôle au sein du Système Terre.

- Améliorer les connaissances fondamentales sur certains processus clés encore mal quantifiés :
 - le rôle des nuages dans le système atmosphérique
 - la contribution de l'océan à la variabilité climatique
 - l'impact des petites et moyennes échelles sur la dynamique des fluides et le transport des traceurs
 - les fonctions biologiques des communautés auto- et hétérotrophes
 - les flux de transformation de la matière par des mécanismes biologiques et chimiques, dans l'atmosphère, l'océan et sur les surfaces continentales
- Développer les études aux interfaces, en se focalisant sur les processus d'échange et/ou de couplage (interfaces troposphère-stratosphère, biosphère-hydrosphère, biosphère-atmosphère, océan-atmosphère, océan-sédiment, océan côtier-océan hauturier)
- Décrire la variabilité du Système Terre, entre autres aux basses fréquences, à l'aide des données satellitaires et des Services d'observation, afin notamment de mieux séparer le signal naturel du signal transitoire anthropique
- Progresser dans la prévisibilité, que ce soit par l'intermédiaire d'études théoriques sur le comportement du système ou par des techniques pertinentes d'assimilation de données
- Aller vers une meilleure représentation des impacts locaux des perturbations humaines (pollution régionale, écosystèmes côtiers) et vers une prévision réaliste du climat et de l'environnement à l'échelle globale et régionale, un passage privilégié et nécessaire vers la prévision opérationnelle et la demande sociale

III. Trois objectifs intégrateurs

Afin d'assurer l'intégration des connaissances issues des enjeux scientifiques précédents, trois objectifs intégrateurs ont été définis. Résolument pluri- et transdisciplinaires, ils sont indispensables pour une connaissance intégrée du Système Terre et de son évolution.

III.1. Réduire les incertitudes sur la modélisation du Système Terre

La réduction des incertitudes sur la modélisation du Système Terre est l'objectif d'une large communauté de climatologues, météorologues, glaciologues et océanographes. Pour atteindre un degré de réalisme de plus en plus exigeant, les modèles ont été enrichis en termes de processus et de couplage entre sous-systèmes, sur une gamme d'échelle de plus en plus large. Cependant, si cette sophistication prend en compte la mise en évidence de nouveaux cycles ou de nouvelles interactions entre systèmes et de ce fait améliore la représentation du Système Terre, elle ne conduit pas à la réduction des incertitudes. Quant à l'incertitude elle-même, elle s'exprime relativement à un objet d'étude dans un contexte spatio-temporel défini : les différentes méthodes de quantification (voire de modélisation) des incertitudes et de leur évolution doivent donc être adaptées à chaque objet et explorées simultanément.

Cette question scientifique sera donc abordée sous trois angles différents et complémentaires :

- Améliorer et consolider la représentation des processus
- Contraindre le système par un cadre intégrateur et une approche multi-échelles
- Quantifier les incertitudes

Cinq recommandations et moyens à mettre en œuvre

- Soutenir les activités de développement des outils de modélisation en mettant en place le soutien nécessaire (financement et personnels) au développement des codes et des capacités de calcul ; de même, soutenir les efforts nationaux en phase avec les orientations prises au niveau international en ce qui concerne notamment la standardisation des méthodes de couplage et le développement de systèmes d'assimilation adaptés aux couplages
- Renforcer la démarche « expérimentation → modélisation explicite → paramétrisation → transfert d'échelles → tests » dans les modèles de grande échelle, démarche qui passe par l'implication des modélisateurs dans la définition des grandes campagnes de terrain et des missions spatiales
- Pérenniser les observations (via par exemple les Services d'observation de l'INSU), enrichir les bases de données, améliorer les couvertures spatiale et temporelle des périodes clés des climats passés, travailler à la reconstitution des forçages climatiques et enfin structurer la communauté nationale pour l'aider à formaliser ses besoins supplémentaires en ré-analyses, par exemple pour les événements extrêmes
- Favoriser les études de détection et d'attribution pour développer un cadre intégrateur et une approche multi-échelles et les étendre à de nouvelles échelles de temps et d'espace, à de nouveaux paramètres et à des périodes clés du passé
- Mettre en place des systèmes d'observation « modèles-observations-opérateurs » ouverts et modulaires pour la recherche et l'opérationnel, assurer les formations sur les outils techniques correspondants, et développer la possibilité de couplage et d'échange entre modélisateurs et observateurs grâce à des normes communes

III.2. Analyser les processus et flux aux interfaces

Les systèmes dynamiques ouverts de notre environnement (atmosphère, océan, cryosphère, biosphère, fonds océaniques...) évoluent en réponse d'une part aux transformations et transports internes à chaque milieu, et d'autre part aux sources et puits, parmi lesquels on distingue les flux aux interfaces. Les interfaces sont définies comme étant les lieux caractérisés par de forts gradients, voire des discontinuités, de matière ou d'énergie, entre les compartiments du Système Terre ou au sein de ces compartiments.



Interface glace-mer-continent, campagne ANTIX XIII 3 / Drake à bord du Polarstern organisée par AWI. © LOCEAN/CNRS

Les interfaces sont des lieux d'échange et ces échanges jouent un rôle majeur dans les bilans d'énergie (thermodynamique, cinétique) et de masse (eau, constituants chimiques ou biologiques) : leur intensité, leur sens et leur évolution dans le temps et l'espace conditionnent en grande partie la variabilité des compartiments, avec des incidences notamment sur l'évolution temporelle des systèmes et donc du climat. Le lien indissociable entre flux, bilans et processus doit être étudié de façon coordonnée, en tenant compte des différentes échelles spatio-temporelles. Les interfaces sont aussi des lieux d'interaction entre les processus physiques, les processus chimiques et les organismes vivants. Ces interactions peuvent affecter l'interface elle-même et modifier en retour les flux échangés. Enfin, les interfaces sont souvent des lieux de transformation chimique. Les

deux processus (échange et transformation) doivent être étudiés en parallèle. Seules des recherches pluridisciplinaires permettront de comprendre et modéliser les échanges associés aux interfaces.

Dans les années à venir, les problèmes scientifiques et les questions prioritaires concerneront essentiellement trois thématiques :

- L'hydrodynamique des interfaces et son impact sur les bilans d'énergie et de masse et, dans l'océan, sur la biologie (le long des marges océaniques en régions côtières, au niveau de la couche limite au fond des océans, à l'interface eau/atmosphère, à la limite glaces/océan, etc.)
- Les particules et leurs interactions avec le milieu environnant
- Les processus aux interfaces et leur modélisation

Quatre recommandations et moyens à mettre en œuvre

- Développer des méthodes (observations, modélisations, outils statistiques) permettant de caractériser et prendre en compte la variabilité des processus aux différentes échelles temporelles (du jour à l'année)
- Documenter des zones critiques souvent sensibles aux événements extrêmes, ce qui implique des mesures régulières et adaptées, et le renforcement de l'automatisation des capteurs (dans l'océan, l'utilisation de vecteurs automatisés déployables rapidement, comme les gliders ou les AUV, est très prometteuse) ; de même, faire évoluer la gestion actuelle des avions et navires côtiers pour favoriser une meilleure réactivité et un couplage avec les systèmes d'alerte
- Favoriser une approche expérimentale *in situ* (campagnes ou sites ateliers) multi-paramètres et multi-disciplines en ciblant sur des zones clés identifiées, comme la région méditerranéenne, ce qui aidera au rapprochement entre expérimentateurs et modélisateurs et pourra aussi induire le développement de systèmes, plates-formes ou vecteurs multifonctions, d'appareils embarquables de mesures chimiques et biologiques à haute résolution et d'instrumentations dédiées à l'observation de l'interface elle-même
- Renforcer la télédétection spatiale qui permet de suivre de façon répétitive les conditions thermodynamiques ou biologiques de surface à moyenne ou grande échelle, complétant ainsi les mesures *in situ* et à cet égard, encourager les projets relatifs aux observations aéroportées visant à améliorer la connaissance de la théorie de la mesure

III.3. Étudier les impacts des changements globaux

Par changements globaux, ou changement environnemental planétaire, il faut entendre l'ensemble des modifications de différentes natures (climat, composition de l'atmosphère, désertification, eutrophisation, pollution, érosion de la biodiversité et des habitats...) qui, en affectant les écosystèmes aquatiques et terrestres de notre planète, altèrent sa capacité à y soutenir la vie.

Le défi principal quant aux impacts des changements globaux actuels et futurs tient dans la capacité de la communauté à développer des recherches qui puissent simultanément identifier et mesurer pour un ensemble de régions distinctes :

- l'évolution des différents forçages environnementaux (T, UV, dépôts, pH...) liés à des perturbations anthropiques à distance (émissions gaz-aérosols...) ou d'origine plus régionale, voire locale (engrais, aménagements, utilisation-prédation des ressources...) ;
- les réponses des écosystèmes et de leurs composantes (physiques, chimiques et biologiques) à la conjugaison régionale de ces différents types de forçages.

Comprendre et modéliser ce système complexe (Earth System Science) implique un effort accru de structuration, coordination et intégration des actions de recherche à différents niveaux.

Pour ce faire, la nécessaire pluridisciplinarité, expérimentée dans de nombreux programmes de l'INSU, doit être confortée et évoluer vers l'interdisciplinarité. En effet, si la simple association des compétences disciplinaires est essentielle pour analyser et modéliser la diversité des forçages et des réponses des écosystèmes étudiés, l'interdisciplinarité est quant à elle indispensable pour notamment expliciter et modéliser les liens entre ces forçages et réponses et intégrer les échelles spatio-temporelles de leurs réalisations.

Recommandations et moyens à mettre en œuvre

Il est fondamental de mettre en place une stratégie d'interfaçage entre les études portant sur les causes des changements globaux et celles portant sur les systèmes impactés. La structure de programmation initialement mise en place suite à la prise de conscience, dans la dernière décennie, du changement climatique a abouti à des programmes qui n'ont pas suffisamment favorisé les échanges entre disciplines. Seul le programme GICC (Gestion et impacts du changement climatique) du MEDD a permis le développement d'un dialogue fécond entre des communautés variées. S'il est très orienté par la demande sociétale et ne développe de ce fait que des approches finalisées, il s'appuie néanmoins sur un corpus de connaissances plus fondamentales, que l'INSU se doit donc d'accroître dans un esprit d'interdisciplinarité.

La mise en œuvre d'actions concrètes impliquant une réelle interaction entre diverses communautés est donc indispensable. Une réflexion est en cours sur la mise en place, sous l'égide de l'INSU, d'un programme pluri- et interdisciplinaire sur la « Régionalisation du changement environnemental planétaire ». L'objectif est d'impulser une dynamique entre les disciplines « océan-atmosphère », « surfaces et interfaces continentales », « sciences du vivant » et « sciences humaines et sociales » autour des questions portant sur la dynamique des gaz à effet de serre, des ressources en eau et des ressources alimentaires, et

concernant la santé et la distribution des risques. Cette réflexion doit être approfondie dans le contexte du programme international ESSP (Earth system science partnership).

Par ailleurs, l'INSU doit continuer à assumer son rôle dans la modélisation du climat, en portant ses efforts sur l'observation et la modélisation des systèmes, ce qui est d'ailleurs l'un des objectifs européens de GMES auquel il participe activement, et poursuivre la mise à disposition des scénarios d'évolution climatique, analysés par les modélisateurs, auprès de l'ensemble des communautés s'intéressant aux impacts directs ou indirects du climat. Il doit également continuer à soutenir les moyens mis en place pour le suivi des observations (Services d'observation et ORE), en s'assurant du bon fonctionnement de ces services et de leur adéquation à l'étude des causes et conséquences des changements globaux et de leur régionalisation, et en suggérant éventuellement des regroupements.

IV. Trois zones atelier à privilégier

Afin de pouvoir se coordonner dans les recherches à venir, la communauté des scientifiques travaillant sur l'océan et l'atmosphère a choisi de se regrouper sur des « zones atelier ». Ces zones atelier sont des régions critiques du globe terrestre, sensibles aux événements extrêmes, auxquelles la communauté a décidé de particulièrement s'intéresser en raison de leurs singularités. Trois zones atelier ont été choisies : la Méditerranée, les régions polaires et les régions tropicales.

IV.1. La région méditerranéenne

La région méditerranéenne constitue un lieu privilégié pour l'étude des couplages océan-atmosphère-hydrologie-écosystèmes. Un bassin océanique quasi-fermé, une orographie marquée sur son pourtour, un climat très contrasté et une forte urbanisation sont des particularités géographiques qui donnent au domaine méditerranéen une complexité particulière et une sensibilité aux changements globaux. Les interactions et rétroactions des différents domaines de ce bassin jouent un rôle prépondérant sur les dynamiques géophysiques et biologiques de cette région. Elles sont aussi à l'origine d'événements extrêmes qui l'affectent particulièrement : pluies intenses et crues en automne, surcôtes, vents violents et fortes houles associées ou non aux cyclogénèses méditerranéennes, sécheresses avec feux de forêt en été.

Une des composantes de cette étude consistera à améliorer la compréhension du « cycle de l'eau sur le bassin Méditerranéen », en considérant les différents compartiments (océan, atmosphère, surfaces continentales) et leurs couplages. Le bilan hydrologique du bassin sera quant à lui examiné sous deux angles : celui des « événements extrêmes » et celui de la « régionalisation climatique » du changement global.

Une autre composante sera dédiée aux impacts des phénomènes climatiques et hydrodynamiques sur la production et la transformation des espèces chimiques et biologiques dans la zone d'interface entre le côtier et le large.

IV.2. Les régions polaires

Les régions polaires sont particulièrement vulnérables au changement climatique induit par les activités humaines. Celui-ci est déjà visible dans le Grand Nord et va très rapidement bouleverser ses écosystèmes fragiles. Quel est le devenir de la banquise arctique ? La circulation océanique est-elle en train de se modifier suite à la fonte des glaces ? Comment les calottes et les glaciers polaires vont-ils contribuer à la hausse du niveau des mers ? À quelle échéance la couche d'ozone va-t-elle se reconstituer ? Plus généralement, quel est l'impact de l'homme sur le changement climatique et la pollution en régions polaires ? Enfin, la déstabilisation des zones englacées est-elle susceptible d'entraîner l'irréversibilité de ce changement climatique ?

Ces grandes questions scientifiques et sociétales sont au cœur des objectifs de l'Année Polaire Internationale (API, 2007-2008) qui va permettre de mobiliser simultanément plusieurs milliers de scientifiques provenant de plus de 50 nations. La communauté française va se focaliser sur l'étude des océans, de l'atmosphère, des calottes polaires et des glaciers.

IV.3. Les régions tropicales

L'étude des phénomènes tropicaux présente un intérêt scientifique majeur en raison de la sensibilité du climat global à ces phénomènes, sensibilité liée à l'importance de ces régions en tant que source d'énergie pour l'océan et l'atmosphère et aux rétroactions qui s'y produisent. Ce type d'étude répond aussi à des motivations appliquées importantes. L'objectif est de mieux comprendre les processus mis en jeu et d'évaluer les impacts du changement global dans ces régions, en relation avec l'évolution déjà observable du cycle de l'eau. Les efforts devront porter sur plusieurs thèmes : la variabilité et la sensibilité climatiques, les variations du climat sur les dernières décennies, la prévisibilité climatique saisonnière, les interactions surfaces continentales-atmosphère, les interactions d'échelle, les processus fondamentaux, les paramétrisations et le domaine des impacts.

Prospective 2006-2011

Une nouvelle organisation et de nouveaux moyens pour la recherche

Les grandes orientations scientifiques pour les 5-10 années à venir ayant été posées, la communauté s'est interrogée sur l'organisation et les moyens (humains et financiers) à mettre en oeuvre pour y parvenir.

I. Des programmes structurants, au niveau national et international

Si la communauté nationale est bien structurée, c'est en grande partie grâce aux programmes nationaux coordonnés par l'INSU, qui permettent de regrouper l'ensemble des acteurs concernés (communauté scientifique, organismes, agences, ministères, etc.) et ainsi de décider conjointement des priorités et de la mise en place des moyens d'action nécessaires.

Pour améliorer ce dispositif, la communauté a néanmoins estimé nécessaire de modifier les contours des programmes existants (Patom, PNCA, PNEDC, Proof...), lesquels ne répondaient plus aux enjeux scientifiques, de rendre leur fonctionnement plus efficace et attractif, de renforcer la pluridisciplinarité et de faciliter davantage les actions transverses. Ces constatations ont conduit à la création d'un programme national unique « Les enveloppes fluides et l'environnement » (LEFE) au fonctionnement simplifié. L'objectif de LEFE est de susciter et d'accompagner les recherches sur le fonctionnement de l'atmosphère et de l'océan, leur couplage et leurs interactions avec les autres composantes du système climatique (cryosphère, biosphère, hydrosphère), des points de vue dynamique, physique, chimique, biologique et biogéochimique, afin d'améliorer la compréhension du fonctionnement et des perturbations multi-échelles du Système Terre et de mieux prévoir les réponses aux forçages anthropiques.

Le programme LEFE est constitué de 4 programmes thématiques :

- Chimie atmosphérique (CHAT) ;
- Cycles biogéochimiques, écosystèmes et ressources (CYBER) ;
- Évolution et variabilité du climat à échelle globale (EVE) ;
- Interactions et dynamique de l'océan et de l'atmosphère (IDAO) ;

et d'un programme méthodologique « Assimilation de données ». En complément, le programme Amma est géré par une Action programmée inter-organismes (API).

Enfin, géré et coordonné par l'INSU, le Programme national de télédétection spatiale (PNTS) est résolument multi-organismes et ses actions peuvent concerner des thématiques telles que « Homme et Société ». Les activités du PNTS portent sur le développement des méthodes d'observation de la Terre et l'étude des données d'observation (et produits dérivés). Les techniques de mesure permettent de caractériser la surface, l'intérieur et les enveloppes fluides de la Terre. Les disciplines scientifiques concernées relèvent de l'étude des surfaces continentales, de la physique et de la biogéochimie océaniques, de l'atmosphère, de la terre solide et de la cryosphère, ainsi que de recherches dans le domaine des sciences humaines.

Cette structuration en programmes nationaux n'a pas d'équivalent pour le moment au niveau européen. L'INSU et ses partenaires se doivent donc de mener une réflexion sur les liens entre programmes nationaux, européens et internationaux.

En attendant, la recherche nationale sera poursuivie dans le contexte général des grands programmes internationaux sur les changements globaux (WCRP, IGBP, ESSP...), auxquels il est particulièrement clair que la dimension européenne doit être systématiquement intégrée, que ce soit via le PCRD, l'ESF ou l'ERC. La communauté envisage de s'investir pleinement dans l'ambitieux programme européen GMES, qui vise à :

- surveiller, prévoir ou anticiper les phénomènes naturels ou anthropiques ayant un impact déterminant sur les conditions de vie ou les risques ;
- aider à la décision de manière préventive ou en situation de crise ;

- disposer d'outils objectifs pour remédier aux atteintes portées à l'environnement et diminuer l'impact des risques.

La communauté scientifique dispose déjà d'outils assez différents, grâce à une coopération inter-organismes forte :

- **des programmes de recherche** visant à établir les bases scientifiques nécessaires à la compréhension des phénomènes et à l'élaboration d'outils pouvant devenir, à terme, opérationnels, comme les programmes inter-organismes gérés par l'INSU, les actions nationales de recherche soutenues dans le cadre des « Framework Programs » de l'Union européenne ou la participation aux grandes campagnes internationales qui ont vocation à assurer notamment cette tâche ;
- **des programmes plus appliqués** tendant à fournir de l'expertise ou à mener des études ciblées comme des analyses de scénarios, tels ceux mis en place par le ministère de l'Environnement et du Développement Durable (GICC, Primequal, Liteau...) ;
- **des systèmes d'observation *in situ* ou spatiaux** renseignant sur l'évolution des variables clés, assurant la surveillance du respect des normes ou permettant la détection de nouvelles perturbations, et auxquels les services d'observation labellisés par l'INSU ainsi que les réseaux opérationnels mis en place par les différents ministères ou organismes contribuent de façon plus ou moins directe ;
- **des systèmes intégrés** dans lesquels les outils de modélisation et d'observation sont combinés pour aboutir à de véritables systèmes opérationnels de gestion de l'environnement, qui nécessitent la mise en place de « consortiums » permettant d'associer l'ensemble des acteurs concernés (laboratoires, instituts appliqués, réseaux de surveillance, agences, ministères...) et dont les meilleurs exemples sont le système de prévision océanique Mercator-Océan et le système de prévision des pics de pollution atmosphérique Prev'air.

II. Des systèmes et moyens d'observation

Si l'expérimentation en conditions contrôlées au laboratoire, qui permet d'étudier les processus existants dans l'atmosphère ou l'océan, reste un point fort des disciplines évoquées ici, l'observation, qui permet d'acquérir des jeux de données sur une échelle de temps adaptée à l'évolution des systèmes étudiés, joue un rôle primordial. Il est en effet indispensable de pouvoir effectuer des campagnes de terrain, avec des instruments innovants déployés sur des plates-formes de type avion, bateau ou profileur (ballon, bouée, drone, glider...), et de pouvoir observer les différents milieux, à l'échelle globale notamment, en s'appuyant sur l'observation par satellite. Le volume d'information disponible devient alors tel qu'il est aussi nécessaire de pouvoir mettre à disposition ces données auprès de la communauté. Enfin, les moyens de calcul intensif constituent un outil indispensable aux travaux de modélisation du Système Terre pour étudier les couplages atmosphère-océan-biosphère et leur variabilité temporelle. L'ensemble de ces besoins représente un coût très important, souvent partagé par plusieurs organismes.

Les progrès dans ces domaines scientifiques dépendent donc de façon capitale des systèmes et moyens d'observation (plates-formes, instruments, réseaux), des moyens de calcul, des mesures en laboratoire, etc. Ces moyens d'observation font appel à un système d'organisation et d'évaluation inter-organismes spécifique et demandent un soutien très important de la part des organismes qui en sont responsables (Ifremer, IPEV, Météo-France, CNRS, CNES, etc.). Leur maintien et leur évaluation est un enjeu fondamental pour la communauté. Un état des lieux a été dressé et des recommandations sur les moyens à mettre en œuvre dans les 5 ans à venir, ou à plus long terme, ont été identifiées.

II.1. Les plates-formes d'observation

Les avions

La communauté dispose actuellement de trois vecteurs possibles : un turbopropulseur ATR-42 (Météo-France) avec une charge utile de 2 tonnes, un Falcon-20 (CNRS) pour les mesures en altitude et un bon rayon d'action et un Piper-Aztec (Météo-France) pour les études de pollution locale. Le service des avions



Avion de recherche Falcon 20. © CNRS

français instrumentés pour la recherche en environnement (Safire), une unité mixte de service (CNRS/INSU, Météo-France et CNES), regroupe désormais les moyens humains, financiers et les trois avions de recherche, avec pour mission de mettre en oeuvre ces avions et l'instrumentation qui leur est associée, dans le cadre de campagnes expérimentales de recherche.

À l'horizon 2009, la principale lacune en Europe restera l'accès à un avion à long rayon d'action et ayant une charge utile importante pour l'exploration de la basse troposphère. Un seul aéronef offre ces capacités aujourd'hui : le C130. En conséquence, la communauté française doit participer à la réflexion engagée au niveau européen pour la construction et l'opération d'un tel appareil.

Les ballons



Décollage sous ballon stratosphérique d'un instrument d'analyse *in situ*. © CNRS

L'emploi de ballons pour la recherche atmosphérique et astronomique a débuté en France au début des années 1960, avec le soutien important du CNES. Ces dernières années, les observations à partir de ballons ont continué de prouver leur utilité pour de nombreuses recherches, comme celles concernant la destruction de l'ozone stratosphérique ou la validation des mesures satellitaires de paramètres chimiques. Une des caractéristiques de l'activité depuis les années 1990 est son ouverture à l'échelle européenne avec un tiers des vols effectué dans le cadre de programmes européens.

Pour la chimie de la stratosphère, on peut prévoir une utilisation croissante de la télédétection depuis des ballons : ceci impliquera un double effort, d'abord de développement de nouveaux ballons pouvant embarquer une centaine de kilogrammes, puis de miniaturisation des équipements instrumentaux déjà existants.

On peut aussi prévoir que l'étude des couches limites atmosphérique et marine et de l'interface entre océan et atmosphère avec des petits ballons restera un sujet de recherche très actif. Enfin, on devrait désormais pouvoir caractériser l'environnement thermodynamique (pression, température, humidité et vent) à partir de sondes lancées depuis les ballons.

La flotte de navires océanographiques

La recherche en océanographie dispose actuellement de moyens lourds à la mer, gérés par l'Ifremer, l'IRD, l'INSU et l'IPEV et divisés en 4 grandes catégories : les navires hauturiers, les navires de façades côtières, les navires côtiers des stations marines et les engins sous-marins. Il faut ajouter à cela, la flotte hauturière du Shom, à laquelle cependant l'accès des scientifiques est limité. Pour la flotte hauturière : la remise à niveau à mi-vie de l'Atalante vers 2008 est en cours d'analyse ; le remplacement du Suroît vers 2012 et la remise à niveau du Marion Dufresne sont envisagés. Pour la flotte côtière, 3 navires de la façade atlantique arrivent en fin de vie (Côte d'Aquitaine, Thalia et Gwen Drez), tandis que certaines stations marines nécessitent une jouvence de leur flotte.

Une réflexion inter-organismes, soutenue par la communauté qui souhaite qu'un effort majeur soit opéré pour procéder au renouvellement progressif de cette flotte dans les 10 ans à venir, est en cours.

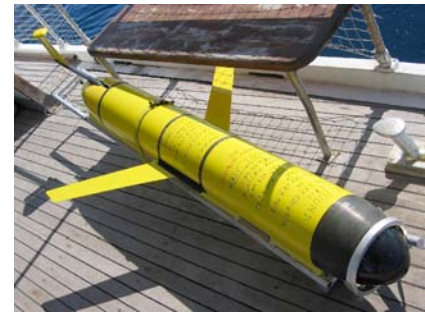


Navire de façade Côte de la Manche de l'INSU. © INSU

Les profileurs marins

Le développement de nouveaux vecteurs automatisés permettant d'effectuer des profils entre la surface de l'océan et plusieurs kilomètres de profondeur révolutionne notre capacité à ausculter les propriétés des masses d'eau. D'une part, le système Argo constitue désormais avec ses 3000 flotteurs (dont environ 10% sont français) la composante *in situ* essentielle du système global d'observation des océans, indispensable au développement d'une véritable océanographie opérationnelle (type Mercator-Océan). Le retour Argo sur la recherche est aussi fondamental en apportant une couverture cruciale de la température et de la salinité

dans des zones rarement couvertes par les trajets des navires océanographiques. L'utilisation de ce nouveau vecteur est fort prometteuse pour des variables biogéochimiques et biologiques comme l'oxygène ou la fluorescence. D'autre part, l'arrivée de profileur actif basé sur le principe du planeur marin (glider) apporte une dimension nouvelle, en ouvrant la possibilité de guider la trajectoire à distance ; de plus sa capacité d'emport est supérieure, ouvrant la voie à l'intégration de capteurs plus lourds et consommateurs, comme les analyseurs de nutriments. Le parc actuel de gliders, une demi-douzaine, devrait rapidement s'étoffer. Enfin, la valorisation de ces nouveaux vecteurs passe par un effort, important et coordonné, de miniaturisation des capteurs et d'intégration des instruments (cf. R&D ci-dessous).



Glider MFSTEP. © LOCEAN

II.2. L'instrumentation

Élément clé de la compréhension des processus à l'œuvre dans les enveloppes fluides du Système Terre, l'instrumentation s'appuie sur un ensemble de services complémentaires.

Les parcs d'instruments nationaux

La communauté des océanographes peut bénéficier, sous certaines conditions, des matériels de plusieurs parcs d'instruments à la mer : les parcs d'instrumentation océanographique de la division technique de l'INSU, de l'IRD et de l'Ifremer à Brest (courantomètres, pièges à particules, etc.), et le parc d'instrumentation lourde de l'Ifremer (sondeurs multifaisceaux, ADCP, pénétrateurs de sédiments, etc.). Les deux Comités interrégionaux (Méditerranée et Atlantique) possèdent également un parc d'instruments disponibles, en liaison avec l'utilisation des navires côtiers.



Ensemble de bouteilles pour le prélèvement d'eau à différentes profondeurs pendant la mission Keops. © CNRS Photothèque / Keops

Le maintien du parc d'instrumentation océanographique de l'INSU au meilleur niveau est une priorité. Un nouveau plan de jouvence, définissant les remplacements et les nouvelles acquisitions à effectuer, doit être lancé.

Les plates-formes d'analyse et les sites instrumentés

La communauté a accès à différents types d'équipements : des plates-formes d'analyse (ex. : spectrométrie de masse) et des plates-formes d'essai et de simulation (ex. : veine hydraulique, plaque tournante Coriolis). Elle peut aussi avoir accès à des sites instrumentés, dédiés :

- aux observations atmosphériques, comme la station Concordia au centre du plateau antarctique, le Site instrumental de recherche par télédétection atmosphérique (Sirta), la station du Puy de Dôme qui permet de déployer des instruments d'analyse *in situ* de l'atmosphère nuageuse, le site Lannemezan/Pic du Midi qui offre la possibilité d'associer à des mesures sur un site d'altitude (le Pic du Midi) des observations radars et radiométriques ou le site de l'Observatoire de Haute Provence qui associe un ensemble inégalé de mesures par télédétection optique à un radar stratosphère troposphère ;

La pérennisation de ces différentes plateformes est vivement recommandée par la communauté.

- à l'océanographie, les 14 stations marines (dont 5 Observatoires océanologiques) regroupées au sein du Réseau national des stations marines (RNSM) étant des lieux privilégiés pour disposer de laboratoires de terrain dédié à l'observation et à l'expérimentation.

Des efforts particuliers doivent être portés sur les équipements nouveaux et les jouvences, notamment de la flotte côtière (navire de station et de façade). Comme ces besoins sont souvent communs, une coordination avec les dispositifs parallèles de l'océanographie côtière opérationnelle qui sont placés sous la gestion des autres organismes nationaux (Ifremer et BRGM) est fortement recommandée.

La Recherche et Développement (R&D)

La R&D est indispensable pour faire émerger de nouveaux projets instrumentaux ou réduire les difficultés de leur conception, développement et réalisation, d'où l'importance d'une démarche active dans ce domaine dont voici quelques pistes de travail possibles :

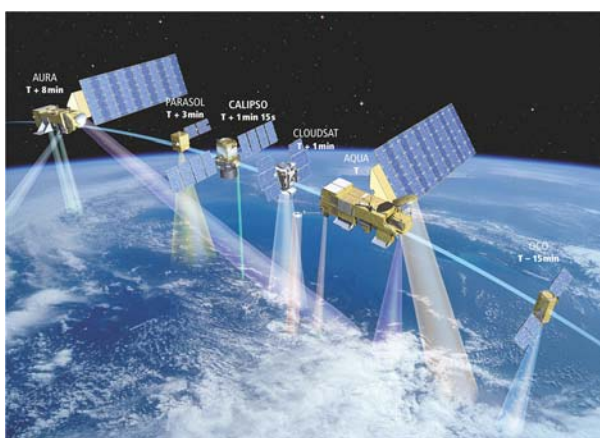
- perfectionner et développer les capteurs mis en place sur les plates-formes permettant une bonne couverture spatiale et temporelle (satellite, ballons longue durée, avions haute altitude ou avions commerciaux) ;
- développer l'observation dans le domaine de la télédétection (en développant notamment des radars fonctionnant à fréquences plus basses) et de la radiométrie micro-onde aéroportée ;
- développer l'adaptation de nouveaux capteurs dans le domaine des instruments aéroportés ;
- porter une attention particulière sur les nombreux capteurs miniaturisés, chimiques ou biologiques, existants, ou en cours de développement dans d'autres domaines (industrie chimique, médecine, agroalimentaire), mais aussi sur les nouveaux outils d'échantillonnage qui pourraient s'avérer à terme des outils pertinents en océanographie, en particulier sur les nouveaux profileurs (Argo, glider...) ;
- porter les efforts, dans le domaine de l'observation spatiale sur l'utilisation de satellites aptes à aider à mieux mesurer les interactions complexes entre aérosols, nuages et rayonnement, le cycle de l'eau et des précipitations, le champ de vent et la chimie atmosphérique, et dans le domaine océanographique sur les mesures de paramètres tels que la température de surface, les réflectances marines, l'état de la surface de la mer, l'altimétrie et la salinité.

II.3. Les services labellisés INSU

Depuis 1993, l'INSU a mis en place 8 services d'observation de l'atmosphère, 6 services d'observation de l'océan, 1 service d'observation du climat et 2 modèles informatiques (codes numériques communautaires) qui sont tous ouverts à la communauté, ainsi qu'un centre d'archivage et de traitement de données. Ces services, à vocation pérenne, sont généralement basés dans les Observatoires des sciences de l'Univers (OSU). Le potentiel humain associé à leur fonctionnement est important : il a été estimé lors de leur réévaluation en juin 2005, en équivalent temps plein, à 22 chercheurs, dont 9 du CNAP (Corps national des astronomes et physiciens), et à 43 ITA, dont 30 du CNRS. Un point très positif a été la création en 2005 et 2006 par la direction de l'Enseignement Supérieur d'un nombre significatif de postes CNAP, dont une partie va permettre d'améliorer l'animation et l'encadrement scientifique de ces services labellisés.

S'appuyant sur les recommandations de la Commission spécialisée « Océan-Atmosphère » (CSOA), l'INSU va poursuivre l'extension de son réseau de services et tâches d'observation : ainsi, deux nouveaux sites instrumentés et deux nouveaux codes communautaires devraient être labellisés en 2007. Une réévaluation quadriennale de ces services assure le maintien de leur qualité.

II.4. L'exploitation des données multi-sources



Formé en orbite héliosynchrone l'Aqua-train est une constellation de six satellites d'observation de la Terre (OCO (Nasa), Aqua (Nasa), Calipso (Nasa/Cnes), Cloudsat (Nasa/ASC)), remplissant chacun une mission différente dont les données combinées fourniront de précieuses informations aux scientifiques sur l'évolution du climat. © CNES

Au cours des dix dernières années, les recherches sur les problèmes géophysiques et environnementaux ont fait de plus en plus appel à des données d'origine et de nature très variées : données instrumentales locales, données de campagnes multi-instrumentales, données de satellites et sorties d'expériences de modélisation. La création de plusieurs bases de données, dont des centres thématiques préconisés lors du précédent exercice de prospective (Brest, 2000), a déjà été très profitable à la communauté. Ces centres thématiques sont les suivants : Ether (thématique chimie atmosphérique), Icare (thématique aérosols-nuages-rayonnement-eau) et Postel (thématique surfaces continentales). Il convient désormais de développer un nouveau centre dans le domaine de l'océanographie biologique, en coordination avec les moyens déjà mis en place efficacement pour l'océanographie physique, et de renforcer, coordonner et pérenniser les différentes bases de données pour en simplifier l'accès et l'utilisation. Enfin, pour les simulations de modèles, il

sera nécessaire de mettre en place un catalogue des simulations disponibles et les moyens d'y accéder.

II.5. Le calcul intensif

Une caractéristique primordiale du calcul intensif est le regroupement des chercheurs autour d'un petit nombre d'outils logiciels communautaires spécialisés, de taille quasi-industrielle, comme les modèles de circulation générale atmosphérique LMD-Z ou Arpège, le modèle atmosphérique de méso-échelle Méso-NH et le modèle de circulation générale océanique OPA, lesquels alimentent de plus en plus la recherche amont qui prépare les programmes de prévision opérationnelle (Mercator, Arome).

La tendance actuelle est d'aller vers une modélisation des systèmes naturels dans leur ensemble, qui prenne davantage en compte les possibilités de rétroactions multidisciplinaires et multi-échelles. Cela concerne principalement :

- l'étude de la variabilité climatique naturelle d'échelles décennales à millénaires et des scénarios d'impact de l'activité humaine ;
- la modélisation océanique à haute résolution ;
- les simulations atmosphériques à méso-échelle.

Cette évolution va imposer des capacités de calcul considérables, effort dans lequel le CNRS s'est déjà engagé (renouvellement du calculateur vectoriel de l'Idris en 2006). Cependant, il sera aussi nécessaire de rénover les moyens de calculs scalaires-parallèles nationaux et de pouvoir accéder à des machines de puissance supérieure et de classe mondiale (projet européen EU-HPC à 1 PétaFLOPS, soit 10^{15} (billiards), opérations à virgule flottante par seconde).



Le centre de calcul de l'Idris. © Idris

III. Des ressources humaines

III.1. Bilan des effectifs

La thématique « Océan-Atmosphère » est organisée autour d'unités de recherche et de service associant 14 universités à 2 établissements publics à caractère scientifique et technologique (CNRS, IRD), 2 établissements publics à caractère industriel et commercial (CNES, CEA), 3 établissements publics à caractère administratif (Météo-France, École Polytechnique, Shom), 2 établissements publics à caractère scientifique, culturel et professionnel (ENS, MNHN) et 1 société civile de recherche (Cerfacs). La communauté rassemble près de 900 chercheurs et enseignants-chercheurs. Par ailleurs, près de 860 ITA et IATOS (personnels ingénieurs, techniciens et administratifs) sont dans des unités de recherche relevant du domaine « Océan-Atmosphère ».

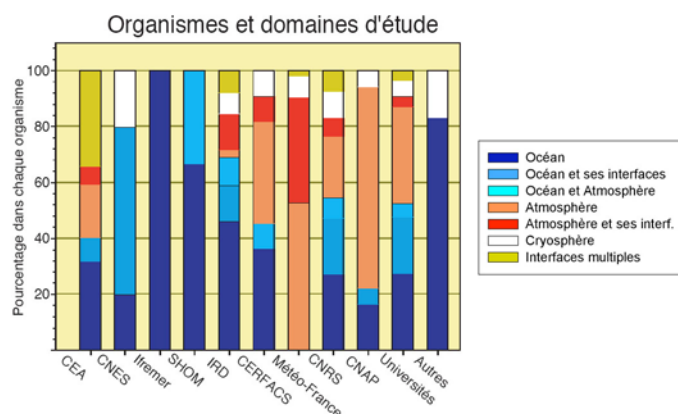
		CNRS		Enseignement supérieur		Autres organismes		CDD
		Chercheurs	ITA	EC	IATOS	Chercheurs	ITA	ITA
Unités OA	Section 19	229	424	188	234	134	199	150 (2)
	Autres sections	51		48		28		
	Non précisé			37		20		
Unités non OA	Section 19	29	(3)	22	(3)	2	(3)	(3)
	Autres	5		8		2		
	Non précisé			4				

Le CNRS et l'Université représentent respectivement 45% et 33% des personnels. Les proportions de chercheurs (11%) et d'ITA (11%) relevant des autres organismes sont équilibrées, Météo-France et le CEA comptant le plus grand nombre de personnels, toutes catégories confondues.

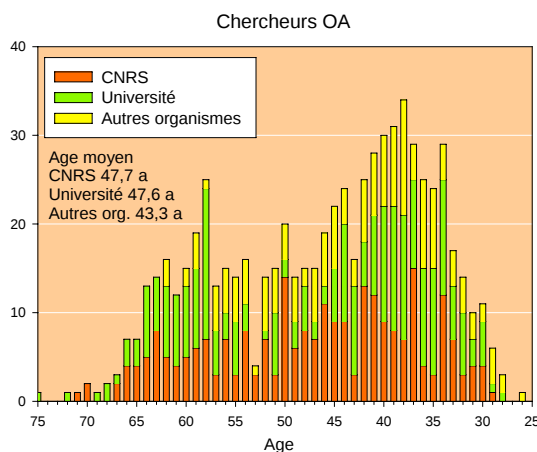
À effectifs de chercheurs comparables, le ratio moyen ITA-chercheurs pour les universités (0.7) est significativement inférieur à celui du CNRS (1.3). Il est également inférieur à celui des autres organismes (≈ 1). Pour la plupart des unités, le ratio est nettement inférieur à 1, quel que soit l'effectif total.

III.2. Effectifs chercheurs

Comme illustré ci-dessous, les différents organismes ne s'impliquent pas de la même façon dans les différents domaines de recherche : certains sont centrés sur le domaine océanique (Shom, Ifremer, CNES), d'autres sur l'atmosphère (Météo-France), les chercheurs du CNRS, du CEA, de l'IRD et de l'Université étant répartis de façon plus équilibrée. La majorité des chercheurs CNAP associés aux Services d'observation travaille sur l'atmosphère.

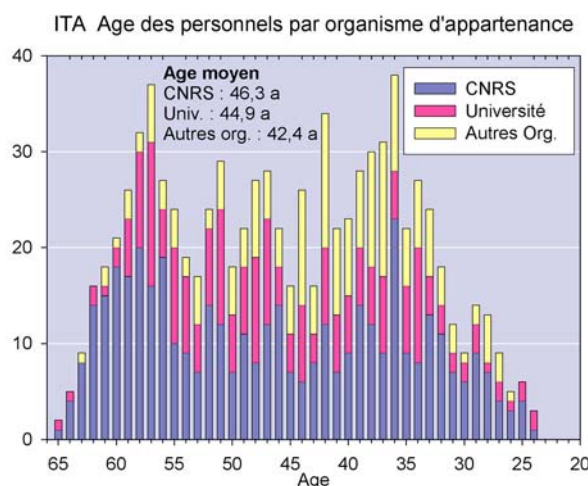


L'analyse de la pyramide des âges souligne le rajeunissement significatif apporté par les organismes autres que l'Université et le CNRS, ces deux derniers exhibant dans la tranche d'âge 55-65 de forts effectifs à renouveler. À l'horizon 2015, on constate que les différents domaines de recherche auront perdu en moyenne 24% de leurs effectifs, le domaine le plus pénalisé étant « Océan-Atmosphère » avec 34% de perte ; les expérimentateurs seront les plus touchés, avec en moyenne 36% de perte, ces pertes étant les plus fortes dans les sciences de l'atmosphère ($\approx 40\%$) et de la cryosphère ($\approx 60\%$).



III.3. Effectifs ITA et IATOS

La répartition entre les différents grades des 857 agents permanents, tous organismes confondus, est relativement homogène, avec $\sim 17\%$ d'IR, 26% d'IE, 11% d'AI, 28% de techniciens et 21% d'adjoints techniques (ADT) et d'adjoints administratifs (AJA). La distribution des âges des ITA-IATOS fait clairement apparaître le vieillissement très marqué des personnels CNRS et universitaires par rapport à ceux des autres organismes. En 2015, les catégories les plus touchées par les départs en retraite seront les ingénieurs (IR, IE) et les techniciens. On prévoit une moyenne de 50% de départs. Cette érosion est des plus alarmantes pour cette discipline où l'observation et le développement instrumental sont fondamentaux.



III.4. Conclusions

La communauté scientifique « Océan-Atmosphère » va évoluer dans les années qui viennent avec le départ de nombreux ITA-IATOS et chercheurs. Or, s'ils ne sont pas anticipés, ces départs auront des conséquences importantes sur les activités de recherche. En outre, les thématiques ayant elles aussi évolué rapidement, des besoins nouveaux sont apparus qu'il faudrait prendre en compte.

L'analyse des effectifs et de leur évolution prévisionnelle ayant été menée, elle doit permettre de mettre en place un plan pluriannuel de recrutement. À ce titre, la formation de nouveaux chercheurs et ingénieurs est cruciale. La section 19 du Comité National (Système Terre : enveloppes superficielles) est consciente de ce problème et veille à cibler les recrutements de chercheurs de manière adéquate. Toutefois, un très fort accroissement du nombre de postes budgétaires sera nécessaire dans les 10 ans à venir.

Des efforts restent également à faire au niveau de la formation. Relativement nouveau, le domaine de recherche « Océan-Atmosphère » n'est implanté que dans un nombre limité d'universités. Il faut veiller à lui donner une bonne visibilité, en continuant à développer et soutenir les enseignements des masters identifiant clairement ses thématiques dans leurs filières d'enseignement et à s'insérer dans des écoles doctorales affichant clairement cette identité.

IV. Des moyens financiers

Le budget annuel de la recherche française dans le domaine « Océan-Atmosphère » est d'environ 180 millions d'euros, hors les investissements lourds nécessaires aux très grands équipements (satellites, bateaux et avions). Il se répartit schématiquement de la manière suivante :

Actions nationales coordonnées

Programmes inter-organismes	5 M€	50% INSU
Flotte océanographique	~ 10 M€	20% INSU
Flotte aéroportée	~ 2 M€	30% INSU
Services et Sites d'observation	~ 5 M€	30% INSU
Soutien à la recherche liée aux missions spatiales	~ 5 M€	100% CNES
Soutien à l'instrumentation	~ 5 M€	30 % CNRS et INSU

Unités de Recherche

Masse salariale	~ 120 M€	75% permanents 25% en thèse, postdoc, accueil et CDD
Soutien de base aux unités	~ 10 M€	40% CNRS
Autres ressources (ANR, UE, Régions...)	~ 20 M€	30% ANR

Annexes

I. Les observatoires des sciences de l'Univers

Impulsés à l'origine par les astronomes, les Observatoires des sciences de l'Univers (OSU) ont été créés pour garantir la pérennité des tâches d'observation en établissant des structures regroupant les moyens humains, techniques et financiers. Les tutelles des OSU sont le MENRT et l'INSU. Depuis plusieurs décennies, les OSU ont été étendus au Système Terre, aux aléas et risques (séismes, tsunamis...) et à l'impact de l'activité anthropique sur l'environnement, essentiellement l'évolution du climat et de la pollution de l'air et de l'eau.

Dans ce cadre, l'INSU labellise et finance des services nationaux pérennes (Services d'observation, Sites instrumentés, Codes numériques mutualisés), chargés de recueillir des données, d'en contrôler la qualité et d'en assurer la diffusion auprès d'utilisateurs scientifiques, nationaux ou non. Il exerce également une responsabilité vis-à-vis du CNAP, qui recrute des personnels dont les tâches de service statutaires doivent s'exercer auprès des services nationaux labellisés.

Intitulés	Villes	Tutelles
Centre d'océanologie de Marseille (COM)	Marseille	Université Aix-Marseille 2 et CNRS
Institut Pierre-Simon Laplace (IPSL)	Guyancourt	Université Versailles St Quentin, CNRS, Université PARIS VI, CEA, IRD, CNES, École Polytechnique et ENS Paris
Institut universitaire européen de la mer (IUEM)	Plouzané	Université de Brest et CNRS
Observatoire Midi-Pyrénées (OMP)	Toulouse	Université Toulouse 3, CNRS, IRD, CNES
Observatoire de physique du globe de Clermont-Ferrand (OPGC)	Aubière	Université Clermont-Ferrand 2 et CNRS
Observatoire océanologique de Banyuls-sur-Mer (OOB)	Banyuls-sur-Mer	Université Paris VI et CNRS
Observatoire océanologique de Villefranche-sur-Mer (OOV)	Villefranche-sur-Mer	Université Paris VI et CNRS

II. Les unités de recherche

Intitulés	Villes	Tutelles
Centre de formation et de recherche sur l'environnement marin (CEFREM)	Perpignan	Université de Perpignan et CNRS
Centre de recherches de climatologie (CRC)	Dijon	Université de Dijon et CNRS
Centre d'étude des environnements terrestres et planétaires (CETP/IPSL)	Vélizy Villacoublay	Université Versailles St Quentin, CNRS et Université Paris VI
Écosystèmes littoraux et côtiers (ELICO)	Wimereux	Université Lille 1, CNRS et Université du Littoral côte d'Opale
Environnements et paléoenvironnements océaniques (EPOC)	Talence	Université de Bordeaux et CNRS
Groupe d'étude de l'atmosphère météorologique (GAME)	Toulouse	Météo-France CNRM et CNRS

Laboratoire d'aérodynamique (LA/OMP)	Toulouse	Université Toulouse 3 et CNRS
Laboratoire de glaciologie et géophysique de l'environnement (LGGE)	Saint Martin d'Hères	Université Grenoble 1 et CNRS
Laboratoire de l'atmosphère et des cyclones (LACy)	Saint Denis	Université La Réunion, CNRS, Météo-France CNRM
Laboratoire de météorologie dynamique (LMD/IPSL)	Palaiseau	ENS Paris, CNRS, École Polytechnique et Université PARIS VI
Laboratoire de météorologie physique (LAMP/OPGC)	Aubière	Université Clermont-Ferrand 2 et CNRS
Laboratoire de microbiologie, de géochimie et d'écologie marines (LMGEM/COM)	Marseille	Université Aix-Marseille 2 et CNRS
Laboratoire de physique des océans (LPO/IUEM)	Plouzané	Université de Brest, CNRS et Ifremer
Laboratoire de sondages électromagnétiques de l'environnement terrestre (LSEET)	La Garde	Université de Toulon et CNRS
Laboratoire des sciences de l'environnement marin (LEMAR/IUEM)	Plouzané	Université de Brest et CNRS
Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement (LSCE/IPSL)	Gif-sur-yvette	Université Versailles St Quentin, CNRS et CEA
Laboratoire d'études en géophysique et océanographie spatiales (LEGOS/OMP)	Toulouse	Université Toulouse 3, CNRS, CNES et IRD
Laboratoire d'océanographie biologique de Banyuls (LOOB/OOB)	Banyuls-sur-Mer	Université Paris VI et CNRS
Laboratoire d'océanographie de Villefranche (LOV/OOV)	Villefranche-sur-Mer	Université Paris VI et CNRS
Laboratoire d'océanographie et de biogéochimie (LOB/COM)	Marseille	Université Aix-Marseille 2 et CNRS
Laboratoire d'océanographie et du climat : expérimentations et approches numériques (LOCEAN/IPSL)	Paris	Université Paris VI, CNRS, MNHN et IRD
Laboratoire d'optique atmosphérique (LOA)	Villeneuve d'Ascq	Université Lille 1 et CNRS
Laboratoire inter-universitaire des systèmes atmosphériques (LISA)	Créteil	Université Paris XII, CNRS et Université Paris VII
Milieus naturels et anthropisés : flux et dynamique (GEOLAB)	Villeneuve d'Ascq	Université Lille 1 et CNRS
Sciences de l'Univers au CERFACS	Toulouse	CNRS et CERFACS
Service d'aéronomie (SA/IPSL)	Verrières-le-Buisson	Université Paris VI, CNRS et Université Versailles St Quentin

III. Les unités supports

Intitulés	Villes	Tutelles
Comité interrégional Méditerranée (CIRMED)	Villefranche-sur-Mer	CNRS
Comité interrégional Manche-Atlantique (CIRMAT)	Talence	CNRS
ICARE	Villeneuve d'Ascq	Université Lille 1, CNES et CNRS
Institut polaire français Paul-Émile Victor	Plouzané	CNRS

(IPEV)		
Laboratoire de mesure du carbone 14 (LMC14)	Gif-sur-yvette	CNRS, IRD, CEA, IRSN, Ministère CULTURE ET COMMUNICATION
Service des avions français instrumentés pour la recherche en environnement (SAFIRE)	Toulouse	CNRS, INSU PARIS, CNES, Météo-France CNRM
Division technique	Brest, Meudon et La Seyne/Mer	INSU

IV. Les réseaux et groupements d'intérêt

Intitulés	Villes	Partenaires
Les groupements d'intérêt public (GIP)		
Institut polaire français Paul-Émile Victor (IPEV)	Plouzané	Ministère de la recherche, Ministère des affaires étrangères, CNRS, Ifremer, CEA, TAAF, Météo-France, CNES et Expéditions Polaires Françaises
Mercator-Océan	Toulouse	CNES, CNRS, Ifremer, IRD, Météo-France et Shom
Medias-France	Toulouse	CNES, CNRS, IRD, Météo-France, Université Paul Sabatier, CLS et Spot-Image
Réseau thématique de recherche avancée (RTRA)		
Aerospace science and engineering (ASE)	Toulouse	CNRS, CNES, ONERA, ENAC, SupAéro, Université Paul Sabatier, INSA, INP, Météo-France, Airbus France et Association T.O.M.P.A.S.S.E
Les groupements d'intérêt scientifique (GIS)		
Climat-environnement-société	Île-de-France	CNRS, CEA, École Polytechnique, Université de Versailles Saint-Quentin-en-Yvelines, Université Pierre et Marie Curie et Ademe
Europôle Mer	Brest et Roscoff	CNRS, Université de Bretagne Occidentale, Université P. et M. Curie, Ifremer SBR-UPMC-CNRS, Ifremer, IRD, SHOM, UBS, MNHN-Concarneau, IPEV, École Navale, ENSTB, ENSIETA, ENIB, ISEN, Océanopolis

V. Les services nationaux labellisés

Les services nationaux sont labellisés par le Conseil Scientifique de l'INSU (sur proposition de la CSOA) dans le cadre des OSU. Ils ont pour mission d'organiser des activités pérennes. Ce sont des sites instrumentés (SI), des Codes numériques mutualisés (CC) ou des Services d'observation (SO).

Par exemple, le SO « Somlit » a été mis en place pour observer l'évolution de la qualité des eaux côtières, simultanément dans huit stations marines du littoral national. Des campagnes de mesure sont régulièrement organisées, de manière à pouvoir générer des séries de données continues dans le temps. Des personnels spécifiques, astronomes et physiciens du corps des CNAP, sont attribués à ces services.

Services	Objet	Date Labellisation
Beam	Impact anthropique sur la phase aqueuse atmosphérique	SO : 2002
CESOA	Cycle du soufre aux hautes et moyennes latitudes de l'hémisphère sud	SO : 2002
Chimère	Code communautaire de pollution atmosphérique	CC : 2007
CO-PDD	Observations atmosphériques en région clermontoise	SI : 2007
CTOH	Centre de topographie des océans et de l'hydrosphère (altimétrie)	SO : 1989
Esopa	Code communautaire océanique	CC : 2002
Dyfed	Paramètres hydrologiques et biogéochimiques en mer Ligure	SO : 1995
Glacioclim /POG	Les glaciers, un observatoire du climat	SO : 2002
Idaf	Étude de la composition chimique de l'atmosphère tropicale et des dépôts secs et humides	SO : 1994
Méso-NH	Code communautaire atmosphérique	CC : 1997
Mozaic	Observation de la composition chimique de l'atmosphère à partir d'avions commerciaux	SO : 1994
NDSC	Étude des changements physiques et chimiques de la stratosphère	SO : 1994
Oiso /Caraus	Variabilité des flux air-mer de CO ₂ et inventaire de carbone anthropique	SO : 1997
PAES	Pollution atmosphérique gazeuse à échelle synoptique	SO : 2004
Pirata	Paramètres océaniques et atmosphériques en Atlantique Tropical	SO : 2003
Photons	Paramètres de la colonne intégrée d'aérosol et humidité	SO : 1998
Ramces	Réseau atmosphérique de mesure des composés à effet de serre	SO : 1994
Rosame	Mesure du niveau de la mer dans l'Indien Sud	SO : 1997
Sirocco	Code communautaire de « simulation réaliste de l'océan côtier »	CC : 2007
Sirta	Télédétection atmosphérique	SI : 2007
Somlit	Service d'observation en milieu littoral	SO : 1996
SSS	Salinité de surface	SO : 2002

VI. La flotte océanographique civile nationale

Bateaux	Capacité d'accueil de scientifiques	Appartenance
Flotte hauturière		
Thalassa	25	Ifremer
Atalante	30/33	Ifremer
Suroit	14/17	Ifremer
Pourquoi-pas ?	40	Ifremer
Antea	10	IRD

Alis	6	IRD
Marion Dufresne II	110	IPEV
Astrolabe (Terre Adélie)	48	IPEV

Flotte côtière

Tethys	8	INSU
Côte de la Manche	8	INSU
Côte d'Acquitaine	6	INSU
Navires des stations marines (Nereis, Sépia, Antédon II, Sépia II et Planula IV) (à la journée)	5-20	INSU
Europe	8	Ifremer
Thalia	6	Ifremer
Gwen Drez	5	Ifremer
La Curieuse	12	IPEV

Engins sous-marins

Nautilie (jusqu'à 6000 m de fond)	3	Ifremer
Victor	téléguidé jusqu'à 6000 m de fond	Ifremer

VII. Les avions utilisés par la communauté OA

Tous les avions sont gérés par Safire (Service des avions français instrumentés pour la recherche en environnement), une unité mixte de service (CNRS/INSU, Météo-France et CNES).

Avions	Caractéristiques	Appartenance
ATR-42 (turbopropulseur)	charge utile de 2 tonnes	Météo-France
Falcon-20	mesures en altitude bon rayon d'action	CNRS
Piper-Aztec	études de pollutions locales	Météo-France

VIII. Résumé des conclusions de la prospective de Lille (2005)

Ce chapitre synthétise dans leurs grandes lignes les objectifs scientifiques identifiés par la communauté « Océan-Atmosphère » dans le cadre de la dernière prospective coordonnée par l'INSU et dresse l'inventaire des recommandations concernant les méthodes, moyens et outils, existants ou non, qu'il s'agira de mettre en œuvre pour répondre aux questions posées et atteindre les objectifs visés.

VIII.1. Objectifs scientifiques majeurs

- Améliorer la compréhension des phénomènes qui contrôlent la variabilité du climat, la circulation océanique et la réponse des écosystèmes aux changements climatiques
- Distinguer la variabilité interne naturelle de la variabilité forcée d'origine anthropique, afin de réduire les incertitudes sur les évolutions futures
- Quantifier, voire modéliser, les incertitudes et leur évolution
- Modéliser et comprendre les échanges de matière ou d'énergie associés aux interfaces entre les différents compartiments du « Système Terre »

- Estimer et prévoir les impacts environnementaux des changements globaux pour, entre autres, répondre aux demandes sociétales
- Améliorer la représentation des processus et hiérarchiser leur importance suivant les échelles

VIII.2. Comment les mettre en oeuvre ?

- Favoriser les approches intégrées (observation-modélisation-assimilation) qui prennent en compte les mécanismes de couplage
- Renforcer les liens entre observation (*in situ* ou méso-échelle) et paramétrisation
- Démontrer la capacité des différents modèles à simuler un forçage observé
- Documenter les zones critiques sensibles aux événements extrêmes (la Méditerranée, les pôles et les régions tropicales)
- Favoriser les approches expérimentales *in situ*, multi-paramètres et multi-disciplines, passer de la multidisciplinarité à l'interdisciplinarité
- Mettre en place des campagnes de mesure abordant un sujet dans sa globalité (comme Amma pour le cycle de l'eau)
- Encourager l'utilisation d'archives historiques et leur étude fine, afin de reconstruire l'histoire du climat de la Terre durant le dernier millénaire

VIII.3. Outils et moyens : quelles priorités ?

En ce qui concerne les observations

- Pour les vecteurs :
 - Étendre le champ d'action des avions existants (ATR et F20) grâce à un avion de type « C130 » dont le financement ne peut être qu'europpéen
 - Renforcer la coordination entre les agences mettant en oeuvre des ballons et poursuivre la mise en place d'actions coordonnées au niveau européen
 - Mettre rapidement à disposition un bateau estuarien polyvalent (flotte côtière), analyser la remise à niveau du Marion Dufresne II (flotte hauturière), réfléchir en inter-organismes à la mise en place d'un navire intermédiaire entre les grands navires hauturiers et les navires côtiers et avoir une politique d'accès aux bateaux plus favorable aux scientifiques
 - Favoriser le développement et l'utilisation de nouveaux véhicules automatisés sans pilote, comme les drones (atmosphère) ou les gliders (océan)
- Maintenir les moyens financiers aux Services d'observation (SO) labellisés existants, poursuivre la politique d'attribution de postes CNAP et mettre en place des mécanismes de contractualisation entre organismes
- Développer la notion de « Site Instrumenté » (du fait du nombre important d'instruments qui y est déployé ou de la spécificité géographique du site) et mettre en place une procédure de labellisation
- Favoriser le développement et l'utilisation de satellites d'observation de la Terre, assurer un suivi à long terme de paramètres climatiques ou environnementaux « clés » et développer des instruments permettant l'accès à des paramètres nouveaux
- Soutenir les pôles thématiques récemment créés autour principalement des données des missions spatiales, et développer, pérenniser et rendre facilement accessibles à une large communauté les bases de données

En ce qui concerne la modélisation

- Augmenter la puissance de calcul et les moyens de stockage des ordinateurs pour prendre en compte les améliorations actuelles des modèles (meilleure résolution spatiale, prise en compte de couplages de plus en plus complexes, simulation sur des périodes de temps de plus en plus longues, etc.)
- Développer les techniques d'assimilation de données afin d'améliorer le réalisme des simulations, de mieux estimer la sensibilité des modèles et de mieux comprendre et repousser les limites actuelles de la prévision

En ce qui concerne l'instrumentation

- Développer une filière R&D permettant de combler le saut d'échelle et de complexité entre la mesure en laboratoire et l'observation *in situ*
- Adapter (dans le cadre de la R&D) les capteurs existants aux différents vecteurs et étudier leur automatisation et leur miniaturisation
- Favoriser l'expérimentation en laboratoire qui permet de caractériser un nombre relativement limité de processus et d'étudier en profondeur leur comportement et interaction en réponse à différents forçages (aquariums géants de type mésocosme)
- Développer la notion « d'instrument national » (instrument coûteux et spécifique et/ou développé par un laboratoire) ou de « parcs instrumentaux » et faciliter leur mise à disposition auprès de la communauté

En ce qui concerne la communauté scientifique, son devenir et son organisation

- Mettre en place un programme de recherche unique, piloté par la Commission spécialisée Océan-Atmosphère (CSOA) de l'INSU et géré en inter-organismes
- Renforcer la coordination (et la circulation de l'information) entre les différents échelons (régional, national, européen et international) et, pour ce faire, mettre en place un comité exécutif restreint en charge de cette mission
- Adapter les procédures comptables et administratives au contexte européen
- Mettre en place un plan pluriannuel de recrutement afin d'anticiper les départs à la retraite (perte à l'horizon 2015 du quart des effectifs sur l'ensemble des disciplines concernées) et assurer la formation de chercheurs et d'ingénieurs dans les domaines identifiés comme les plus pénalisés (plus du tiers des départs concerne les sciences expérimentales)
- Dégager des moyens permettant une communication institutionnelle (communication de résultats scientifiques majeurs, annonce de grandes campagnes, diffusion de l'information vers les administrations, les associations ou les industriels, etc.)

IX. Sigles et acronymes

ACI - Action concertée incitative : lancées par le MESR et reprises depuis 2005 par l'ANR, ces actions concernent un domaine ciblé

ADCP : courantomètre acoustique profileur

ADEME - Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie

AMMA - Analyses multidisciplinaires de la mousson africaine : programme de recherche international d'étude de la mousson africaine et de ses conséquences sur le continent africain et au niveau mondial

API - Action programmée inter-organismes : Amma est par exemple une API majeure, centrée sur une thématique ciblée (la mousson africaine) et mise en oeuvre par une vingtaine d'organismes

AROME - Applications de la recherche à l'opérationnel à méso-échelle : projet visant à construire pour 2008 un modèle météorologique non-hydrostatique pouvant effectuer des prévisions avec une résolution horizontale de l'ordre de 2 km

AUV - Autonomous underwater vehicle

BIOCOPE - Biogeochemistry and optics south pacific experiment : campagne océanographique réalisée dans le cadre du programme PROOF et visant à comprendre les mécanismes de « fertilisation » susceptibles d'expliquer les accroissements locaux de productivité phytoplanctonique observés dans diverses régions de l'Océan

BRGM - Bureau de recherches géologiques et minières

CARAUS - Carbone austral : projet de mise en place d'un réseau couplé d'observations océaniques et atmosphériques à long terme du CO₂ dans la zone sud-ouest indienne et australe

CEA - Commissariat à l'énergie atomique

CERFACS - Centre européen de recherche et de formation avancée

CHAT - Chimie atmosphérique : programme de LEFE visant à comprendre et prédire les émissions de polluants (transformations, dépôts et dispersion) et à identifier et comprendre les évolutions à long terme des teneurs des composés à effet de serre et leurs impacts

CYBER - Cycles biogéochimiques, environnement et ressources : programme de LEFE visant à comprendre, quantifier et modéliser les interactions (impact et rétroaction) entre climat, cycles biogéochimiques et écosystèmes marins

Clipper : projet national de modélisation à haute résolution de la circulation de l'océan Atlantique

CNAP - Conseil national des astronomes et physiciens

CNES - Centre national d'études spatiales

CNRM - Centre national de recherche météorologiques

Concordia : station franco-italienne située au cœur du continent Antarctique au site Dôme C

CPI - Cloud particle imager

CSOA - Commission spécialisée océan atmosphère de l'INSU

CVI - Counterflow virtual impactor

ECCO - Écosphère continentale, processus et modélisation : programme national coordonné ANR

ECLIPSE- Environnement et climat du passé, histoire et évolution : Programme interdisciplinaire de l'INSU dont l'objectif est l'étude des processus naturels ayant contrôlé l'environnement terrestre dans le passé et des relations entre systèmes environnementaux et écologiques

EPICA - European project for ice coring in Antarctica : programme glaciaire européen en Antarctique dont l'objectif est de forer la calotte glaciaire sur deux sites diamétralement opposés, l'un à Dôme C, l'autre à Dronning Maud Land afin d'obtenir de nouveaux enregistrements, à haute résolution, des variations passées du climat et de la composition atmosphérique

ERC - European Research Council

ESCOMPTE - Expérience sur site pour contraindre les modèles de pollution atmosphérique et de transport d'émissions : campagne d'expériences et de mesures réalisée dans le cadre de programmes nationaux dont PNCA-INSU et Primequal-MEDD

ESF - European science foundation :

Ether : Centre de produits et services de chimie atmosphérique (partenariat CNES/CNRS)

EuroCLIMATE : projet européen ESF-EUROCORES de soutien de la recherche fondamentale sur la variabilité climatique, la dynamique (passée, présente et future) du cycle du carbone et leur corrélation

EVE - Évolution et variabilité du climat à l'échelle globale : programme de LEFE visant à mieux caractériser et quantifier la sensibilité climatique à différentes échelles de temps et en réponse aux différents forçages et à estimer les incertitudes sur cette sensibilité

FASTEX - Front and atlantic storm-track experiment : campagne internationale d'étude des dépressions atmosphériques dues à des cyclones, se formant dans l'océan Nord Atlantique et atteignant la côte occidentale de l'Europe

GICC - Gestion et impacts du changement climatique : programme pluri- et interdisciplinaire mis en place par le MEDD et la MIES, et coordonné par le GIP Medias-France, visant à développer les recherches finalisées dans le domaine des impacts du changement climatique et de leur maîtrise

GIEC - Groupe intergouvernemental d'experts sur le changement du climat : son rôle est de dresser un bilan et d'effectuer une synthèse de l'information scientifique, technique et socio-économique concernant l'appréciation du changement climatique d'origine anthropique et de son impact en fonction de différents scénarios économiques

GIP - Groupement d'intérêt public

GLOSS - Global sea level observing system : programme international visant l'établissement de réseaux, globaux et régionaux et de haute qualité, de mesure du niveau de la mer

GMES - Global monitoring for environment and security : programme dont l'objectif est de doter l'Europe de moyens opérationnels visant à surveiller, prévoir ou anticiper les phénomènes naturels ou anthropiques ayant un impact déterminant sur les conditions de vie ou les risques, à aider à la décision de manière préventive ou en situation de crise et à disposer d'outils objectifs pour remédier aux atteintes portées à l'environnement et diminuer l'impact des risques

IATOS - Ingénieurs, administratifs, techniciens et ouvriers de service

ICARE : unité mixte de service du CNRS travaillant sur les interactions entre nuages, aérosols, rayonnement et cycle de l'eau

IDAO - Interactions et dynamique de l'océan et de l'atmosphère : programme de LEFE visant à étudier la dynamique des enveloppes fluides de la planète par l'appréhension expérimentale ou numérique de l'ensemble des phénomènes atmosphériques et océaniques et de leurs interactions, des échelles locales à globales et des périodes allant du jour à la décennie

IDRIS - Institut du développement et des ressources en informatique scientifique

IFREMER - Institut français de recherche pour l'exploitation de la mer

IMAGES - International marine global change study : programme international visant à étudier les mécanismes et les conséquences des changements climatiques en utilisant les enregistrements sédimentaires océaniques

INERIS - Institut national de l'environnement et des risques

INSU - Institut national des sciences de l'Univers

INTROP - Interdisciplinary tropospheric research : programme européen de chimie atmosphérique

IPEV - Institut polaire français Paul Émile Victor

IPSL - Institut Pierre-Simon Laplace

IRD - Institut de recherche pour le développement

ITA – Ingénieurs, techniciens et administratifs

JGOFS - Joint global ocean flux study : programme international dont le but est d'évaluer plus précisément et de mieux comprendre les processus contrôlant les flux de carbone entre l'atmosphère, la surface de l'océan et l'océan, et leur sensibilité aux changements climatiques, du régional au global et du saisonnier à l'interannuel

KEOPS - Kerguelen compared study of the ocean and the plateau in surface water ; campagne de mesure dans le cadre du programme PROOF visant à étudier une poussée phytoplanctonique naturelle dans les eaux du plateau entourant les îles Kerguelen

LEFE - Les enveloppes fluides et l'environnement : programme national coordonné et géré par l'INSU, constitué de cinq programmes et dont l'objectif est de mener des recherches sur le fonctionnement de l'atmosphère et de l'océan, leur couplage et leurs interactions avec les autres composantes du système climatique des points de vue dynamique, physique, chimique, biologique et biogéochimique pour améliorer la compréhension des réponses du Système Terre au forçage anthropique et les prévoir

LITEAU : programme de recherche du MEDD, portant sur les dynamiques et la gestion de l'espace littoral

LMD - Laboratoire de météorologie dynamique

LMDz-Inca : modèle atmosphérique du LMD

MAP - Mesoscale alpine programme : programme de recherche international consacré à l'étude des processus atmosphérique et hydrologique en terrain montagneux afin d'améliorer les prévisions

MEDD - Ministère de l'environnement et du développement durable

Mercator : GIP en charge de la mise en œuvre d'un modèle opérationnel d'océanographie globale

MERIS - Medium resolution imaging spectrometer

MERSEA - Marine environment and security for european area : programme européen visant à mettre en place, dans le cadre de GMES, une capacité européenne de surveillance et de prévision de l'océan, aux échelles globale et régionale et dans les domaines de la physique, de la biogéochimie et des écosystèmes océaniques

MIES - Mission interministérielle de l'effet de serre

MOCAGE - Modèle de chimie atmosphérique à grande échelle : modèle reproduisant la chimie atmosphérique à l'échelle de la France

MODIS - Moderate resolution imaging spectroradiometer

MONUMEEP - Modélisation et observation des nuages à multi-échelles pour l'étude de processus : projet dont l'enjeu est de comprendre et décrire les processus microphysique, radiatif et dynamique agissant sur le cycle de vie des cirrus, et leurs interactions

OA - Océan atmosphère

OMM - Organisation météorologique mondiale

OPA : Modèle de circulation générale des océans développé par le LODYC

ORE - Observatoire de recherche en environnement

OSU - Observatoire des sciences de l'Univers

OVIDE - Observatoire de la variabilité interannuelle et décennale en Atlantique nord : projet d'observation des éléments de circulation du gyre subpolaire de l'Atlantique Nord, afin de mieux comprendre la variabilité du climat en Atlantique Nord et les interactions de cet océan avec l'atmosphère

PATOM - Programme atmosphère et océan multi-échelles : programme national coordonné et géré par l'INSU visant à favoriser les recherches sur les processus de transfert et de transformation d'énergie et sur la physique des milieux atmosphérique et océanique

PCRD - Programme cadre de recherche et développement

PNCA - Programme national de chimie de l'atmosphère : ancien programme national, coordonné et géré par l'INSU

PNEDC : Programme national d'étude de la dynamique du climat : ancien programme national, coordonné et géré par l'INSU

PNRA - Programme nazionale recherche in Antartide

PNRH - Programme national de recherche en hydrologie : action thématique d'ECCO dont la vocation est de développer et soutenir, au meilleur niveau scientifique, des travaux de recherche en hydrologie, en miroir notamment des préoccupations sociétales relatives au cycle de l'eau et aux flux de matière et d'énergie associés

PNTS - Programme national de télédétection spatiale : programme national, coordonné et géré par l'INSU, concernant les techniques d'observation de la Terre et les développements méthodologiques nécessaires à l'utilisation thématique des données et produits qui en sont dérivés

POLDER - Polarization and directionality of the earth's reflectance

POMME - Programme océan multidisciplinaire méso-échelle : campagnes de mesure réalisées dans le cadre des programmes Patom et Proof visant à étudier le rôle de la méso-échelle sur la subduction d'eau modale et sur la floraison planctonique printanière

Postel : centre thématique associant R&D et services pour décrire le sol et la végétation à partir de l'imagerie spatiale, des échelles régionales à globale

PRIMEQUAL - Programme de recherche inter-organismes pour une meilleure qualité de l'air à l'échelle locale : programme de recherche coordonné par le MEDD visant à contribuer à l'élaboration de l'action publique dans le domaine de la qualité de l'air, notamment en approfondissant les connaissances sur les sources d'émission des polluants et sur leurs interactions chimiques et leurs effets sur la santé et l'environnement

PRISM - Programme for integrated earth system modelling : réseau d'experts dont le but est d'aider à partager le développement, la maintenance et le soutien financier des normes et outils logiciel nécessaires aux modèles du Système Terre basés sur les modèles océaniques, atmosphériques... développés dans les différents centres de recherche sur le climat en Europe et ailleurs

PROOF - Processus biogéochimiques dans l'océan et flux : programme national, coordonné et géré par l'INSU, visant d'une part à étudier, quantifier et éventuellement prédire l'influence des différents forçages résultant du changement climatique planétaire et des perturbations de nature anthropique sur la réponse biologique et biogéochimique de l'océan et, d'autre part à identifier, quantifier et éventuellement prédire les mécanismes de rétroaction du système océanique sur le climat

SAFIRE - Service des avions français instrumentés pour la recherche en environnement

SCOUT - Stratospheric climate links with emphasis on the upper troposphere and lower stratosphere : projet européen dont le but est de fournir des prévisions sur l'évolution du système couplé chimie/climat, en mettant l'accent sur le changement du taux d'ozone dans la basse stratosphère et sur les impacts climatiques et UV associés

SEAWIFS - Sea-viewing wide field-of-view sensor : projet de la NASA dont le but est de produire des données quantitatives sur les propriétés bio-optiques de l'océan global, les changements subtils de la couleur de l'océan étant reliés aux divers types et quantités de phytoplanctons marins

SHOM - Service hydrographique et océanographique de la marine

SI : site instrumenté : site rassemblant des équipements dédiés à une mission spécifique (ainsi, le SIRTa est dédié à la télédétection atmosphérique), répondant à un besoin important de la communauté scientifique et qui est ouvert à des équipes extérieures (mise à disposition des moyens d'observation, de la logistique, etc.), un appel d'offres national pouvant être mis en place pour permettre d'y accéder

SIM - Safran-Isba-Modcou : modèle de Météo-France de simulation du cycle continental de l'eau

SIRTa - Site instrumental de recherche par télédétection atmosphérique : site instrumenté d'observation de la colonne d'atmosphère à partir du sol, utilisant un ensemble d'instruments de télédétection active et passive implantés à Palaiseau, sur le campus de l'École Polytechnique

SO - Service d'observation : services labellisés par l'INSU, ayant pour mission d'organiser, de manière pérenne, des activités d'observation, en ouvrant à la communauté l'accès aux données acquises

THESEO - Third european stratospheric experiment ozone : campagne européenne de mesure de l'ozone stratosphérique visant l'étude des causes de la réduction d'ozone observée au-dessus de l'Europe et des régions nordiques au cours des 20-30 dernières années.

TROCCINOX - Tropical convection cirrus and nitrogen oxides experiment : campagne de mesure réalisée au Brésil afin d'étudier les phénomènes physico-chimiques dans la haute troposphère et la basse stratosphère

UMR - Unité mixte de recherche

UMS - Unité mixte de service



INSTITUT NATIONAL DES SCIENCES DE L'UNIVERS
CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
3, rue Michel-Ange - BP 287 - 75766 Paris cedex 16
<http://www.insu.cnrs.fr>