



*Le stand Météo-France au Salon international de l'air et de l'espace du Bourget, du 13 au 20 juin 1999. À gauche, l'avion de recherche Merlin IV.*

Avec les avalanches mortelles de début d'année, les inondations de l'Aude et les tempêtes extrêmes de décembre, l'année 1999 restera pour longtemps dans notre mémoire collective. Pour ce qui est de la météorologie, ces événements ont souligné les capacités de nos modèles numériques : les précipitations intenses sur l'Aude ont été correctement prévues par le modèle Arpège et précisées dans leur intensité par le modèle Aladin ; les prévisions des tempêtes par Arpège ont été parmi les meilleures disponibles pour les prévisionnistes. Il faut sans aucun doute y voir l'aboutissement des nombreuses années d'efforts portés sur l'amélioration des modèles eux-mêmes, aussi bien que le fruit des recherches amont qui sous-tendent les progrès de la modélisation numérique.

À la lumière de ces événements, les choix explicités dans l'exercice de prospective que nous avons conclu en 1999 sont également confortés. Il s'agit bien de garder nos capacités de mise en œuvre et d'évolution de notre modèle planétaire et, pour les événements à plus fine échelle, surtout ceux d'origine convective, de mettre en perspective notre objectif de modélisation opérationnelle à quelques kilomètres de résolution.

#### **Programmes nationaux de recherche auxquels participe Météo-France**

- PATOM : Programme atmosphère et océan à méso-échelle
- PNCA : Programme national de chimie atmosphérique
- PNEDC : Programme national d'étude de la dynamique du climat
- PNTS : Programme national de télédétection spatiale
- PNRH : Programme national de recherche en hydrologie

On mesure aussi, rétrospectivement, la pertinence des choix d'étude faits par la communauté scientifique durant ces dernières années dans le cadre des programmes inter-organismes Patom, PNEDC, PNRH, PNTS et PNCA. La campagne Fastex de 1997-1998 avait pour objectif l'étude des cyclogénèses à développement rapide, alors que la campagne MAP de cette année a permis l'étude des interactions entre relief et précipitations intenses. Dans ces deux programmes, le CNRM a joué un rôle majeur, de la conception à la réalisation.

La campagne MAP s'est déroulée dans de très bonnes conditions et les moyens de mesure ont donné entière satisfaction. L'heure est maintenant à l'analyse des données recueillies, qui se poursuivra au cours des prochaines années avec la mise en œuvre de modèles à très haute résolution, dans la ligne du modèle Mésio-NH.

En météorologie marine, l'année s'est concrétisée par les premiers mouillages de bouées ancrées par grande profondeur, notamment une au large de Nice par 2 300 mètres de fond, ainsi que par une participation active au traçage par bouée dérivante des nappes de pétrole de l'*Erika*.

En nivologie, l'activité a été marquée par l'avalanche de Chamonix et par l'intérêt croissant du public pour la prévision des risques d'avalanches. Lors de cet épisode, les outils numériques mis en place ont démontré leur potentiel; désormais, notre compétence dans ce domaine est reconnue au niveau international.

Côté climat, les dernières tempêtes ont relancé les interrogations quant au lien entre les changements climatiques et les épisodes météorologiques extrêmes. Bien qu'il soit impossible à l'heure actuelle de conclure sur ce sujet, il n'en demeure pas moins que nos programmes de recherche, tournés tout à la fois vers les simulations à l'échelle planétaire et vers la régionalisation des changements climatiques, devront à terme étudier ce problème. À ce titre, le CNRM a poursuivi cette année la validation du modèle couplé océan-atmosphère et lancé la simulation d'un scénario climatique couvrant la période allant de 1950 à 2050.

Côté environnement, le CNRM a poursuivi le développement du modèle planétaire de chimie de l'atmosphère Mocage, qui répond aux besoins des études d'impact climatique et de la prévision de la qualité de l'air à grande échelle, en complément du modèle Mésio-NH-chimie. La version initiale de Mocage est sur le point d'être finalisée; l'an 2000 devrait voir sa qualification. L'objectif est de passer en phase préopératoire lors de la campagne Escompte, programmée pour l'été 2001 dans la région de Fos-Berre.

L'ensemble des programmes du CNRM est, on le voit, très lié aux campagnes expérimentales et aux développements instrumentaux; il n'est donc pas possible de broser ce rapide tableau de l'année écoulée sans mentionner l'évolution très positive du dossier de renouvellement de la flotte d'avions pour la recherche atmosphérique. Les autorités de tutelle ont donné leur feu vert pour le remplacement du *Merlin IV* par un avion troposphérique permettant l'emport d'une charge utile de deux tonnes pour l'expérimentation scientifique. C'est une avancée très importante pour la communauté scientifique, et il convient maintenant de mettre rapidement en place les structures de projet nécessaires à la conduite de cette opération.

Pour finir, l'année 1999 a également donné lieu à un retour très positif sur les projets soumis aux appels d'offres du 5<sup>e</sup> Programme cadre de recherche et développement de l'Union européenne. Une dizaine de contrats vont être conclus avec la Commission sur les programmes du CNRM relatifs au climat, à la prévision numérique et à l'aéronautique. Cela illustre bien le caractère très coopératif de nos programmes, tant au niveau national qu'international.

Directeur de la Recherche

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'D. Cariolle', with a horizontal line underneath.

D. Cariolle

*Améliorer en continu les modèles de prévision numérique en service – du point de vue de la dynamique, de la physique et de l'assimilation des données – et développer des modèles de recherche préfigurant par certains aspects leurs successeurs, tels sont les deux axes principaux de la recherche en modélisation numérique conduite à Météo-France par le CNRM.*

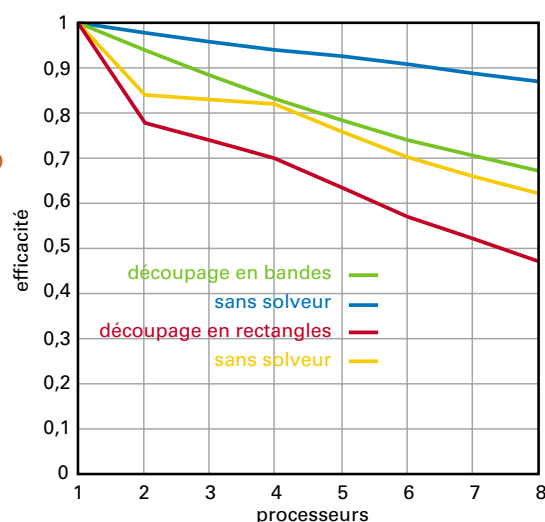
## > UNE PROFONDE REFORME DE LA CHAÎNE OPÉRATIONNELLE ARPÈGE-ALADIN

En octobre 1999, Météo-France a rendu opérationnel un ensemble de douze modifications de la physique des modèles Arpège et Aladin, avec les objectifs suivants : diminuer le biais froid systématique d'Arpège dans la haute troposphère tropicale ; simuler davantage de nuages en sommet de couche limite sous une inversion ; mieux prendre en compte l'interaction à toutes les échelles entre précipitations continues et précipitations orageuses ; décrire avec plus de réalisme les interactions entre la convection et son environnement à petite échelle ; corriger le manque de réalisme constaté pendant l'hiver 1998-1999 pour la prévision des tempêtes sur l'Atlantique ; mieux appréhender la force de traînée qu'exercent les massifs montagneux sur le flux atmosphérique. Ce travail a impliqué pendant deux ans une douzaine de personnes, dont huit travaillant sur Aladin dans six services étrangers partenaires de Météo-France dans le cadre de ce projet.

Même s'il a fallu faire de nombreux compromis pour que tous ces changements s'harmonisent, et même si la recherche d'une physique à la fois sans biais pour la circulation générale et ni trop "active", ni trop "absente" pour les événements intenses est loin d'être achevée, les premiers résultats sont très encourageants. Les scores moyens montrent sans surprise ce que les

tests préalables annonçaient de positif. De plus, aussi bien pour les pluies torrentielles sur le Languedoc que pour les trois premières tempêtes de l'hiver 1999-2000, les résultats d'Arpège et d'Aladin ont contribué aux bonnes prévisions diffusées par Météo-France.

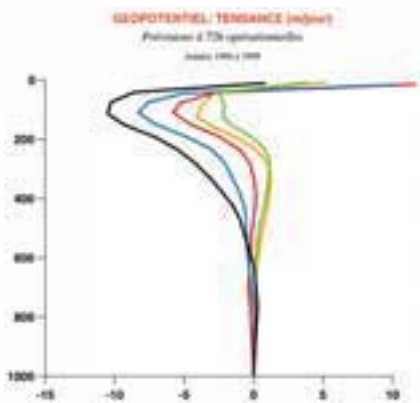
## > LES PROGRÈS DU MODÈLE MÉSO-NH



*Variation de l'efficacité de la version parallèle du modèle Mésos-Nb en fonction du nombre de processeurs utilisés sur le Fujitsu VPP5000 de Météo-France pour une simulation composée de 482 x 322 x 50 points de grille.*

De nombreux développements ont été effectués cette année pour améliorer le modèle Mésos-Nh. Ces progrès sont le fruit d'une collaboration intense entre le CNRM, le Laboratoire d'Aérodynamique et le Cerfacs pour la parallélisation du code. De nouvelles paramétrisations ont été implantées dans le modèle : convection peu profonde, schéma de ville, auto-imbrication du modèle.

La filière permettant d'initialiser et de coupler le modèle Mésos-Nh avec un modèle de plus grande échelle comme Arpège, Aladin ou le modèle du CEPMMT, a été réécrite et rendue portable sur de nombreux calculateurs. Elle utilise maintenant des sorties de modèles opérationnels au format Grib. Les données décrivant les surfaces continentales (relief, végétation, sol) ont été améliorées et rendues plus facilement accessibles aux utilisateurs.



*Profils verticaux des erreurs du modèle Arpège en moyenne sur le globe et entre 0 et 72 heures d'échéance (en m/jour). Courbe noire, 1996; courbe bleue, 1997; courbe rouge, septembre 1997 à août 1998; courbe orange, septembre 1998 à août 1999; courbe verte, de novembre 1999 à octobre 2000 (estimation extrapolée). On constate un progrès constant et la difficulté à concilier correction positive autour de 100 hPa et correction négative entre 250 et 600 hPa.*



Cette année a vu la mise en service de la version parallèle monomodèle de Mésio-Nh. Celle-ci utilise un ensemble de sous-programmes appelé "surcouche", développés par le Cerfacs. Ces modules permettent d'échanger les données nécessaires entre processeurs sans avoir à utiliser directement les ordres de base du langage de communication Mpi afin de garder au code parallélisé une bonne lisibilité. La parallélisation est basée sur un découpage horizontal en sous domaines de la grille Mésio-Nh.

*Le nouveau supercalculateur Fujitsu VPP5000, plus de 4 fois plus rapide que son prédécesseur.*

Sur le calculateur Fujitsu VPP5000 de Météo-France, l'efficacité du nouveau code est de 0.87 sur 8 processeurs pour 0.6 précédemment. Ces résultats s'expliquent par une meilleure vectorisation des calculs dans le premier cas, qui compense largement l'augmentation du volume de données échangées liée au découpage.

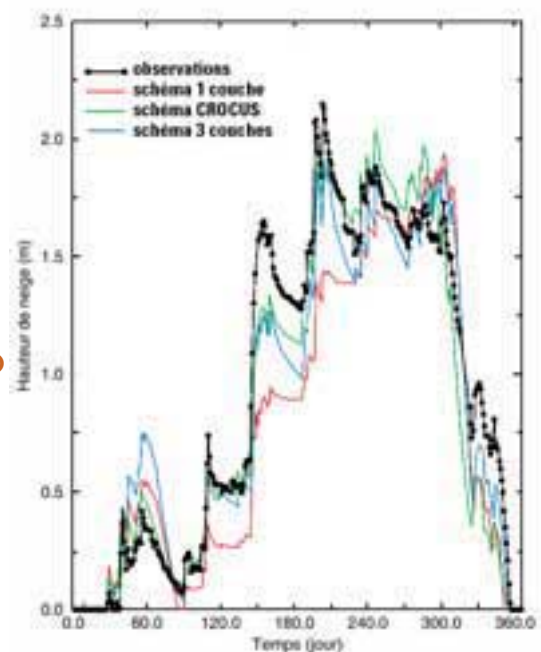
Enfin, la parallélisation de la version multimodèle (auto-imbrication) est en bonne voie, les échanges de données entre les différents modèles étant eux aussi gérés à l'intérieur d'une surcouche.

*Comparaison des hauteurs de neige à la station de Belledune (3000 m) observées et simulées par les trois modèles de neige : une couche, Crocus, trois couches.*

## > UNE MEILLEURE DESCRIPTION DE L'HYDROLOGIE DANS LE SCHÉMA ISBA

La description de l'hydrologie dans le schéma Isba d'interaction sol-végétation-atmosphère a été améliorée, à la lumière des simulations de bilan hydrique et de débit effectuées sur les bassins de l'Adour et du Rhône. Tout d'abord, un troisième réservoir hydrologique a été introduit, permettant d'isoler le réservoir racinaire du réservoir total, ce qui conduit à mieux simuler la recharge des sols en automne. Un modèle de gel explicite à deux couches a ensuite été mis en place, afin de simuler l'impact de la glace sur les transferts thermiques et hydriques dans le sol. La validation, sur un site de l'Illinois soumis à des épisodes de refroidissement prolongé, a souligné l'influence des changements de phase de l'eau du sol sur la température de surface.

Enfin, on a développé un modèle de neige à trois variables et à trois couches, de complexité intermédiaire entre le modèle standard à une couche et le modèle très détaillé Crocus. La résolution verticale du profil de température, de densité et de contenu équivalent en eau permet ainsi de reproduire les mécanismes de fonte et de regel du manteau neigeux en altitude. Les trois modèles de neige ont été comparés sur le site du col de Porte, sur trois ans de données, et sur le site d'altitude de Belledune. Le réalisme du nouveau modèle a pu également être apprécié sur plusieurs hauts bassins alpins, en particulier celui de la haute Durance.



# PROCESSUS ATMOSPHÉRIQUES

*Comprendre pour agir : l'objectif ultime de la recherche conduite au CNRM sur les processus en jeu dans l'atmosphère et à ses interfaces est d'améliorer notre capacité à les intégrer de façon réaliste dans les différents aspects de la démarche de prévision météorologique et dans la simulation du système climatique.*

La phase des particules (liquide ou solide) intervenant dans ces processus est déterminée de manière diagnostique en fonction de la température. On autorise, en particulier, la coexistence d'eau liquide et de glace nuageuses lorsque la température est comprise entre -15 et 0 °C. La validation du schéma est en cours, et fait appel aux observations conventionnelles (données satellitales), aux mesures spécialement collectées pendant la campagne Fastex (radar embarqué sur avion, dropsondes), ainsi qu'à un ensemble de simulations de méso-échelle de trois cas observés pendant l'expérience Fastex à 10 km de résolution, issues du modèle Méso-Nh, du modèle de HIRLAM et du modèle du UKMO.

## > VERS UNE ASSIMILATION DU CONTENU EN EAU LIQUIDE INTÉGRÉ SSM/I DANS LE MODÈLE ARPÈGE

Dans le cadre du projet européen Fastex Cloud System Study, Météo-France a entrepris d'évaluer le potentiel de l'assimilation 4D-Var du contenu en eau liquide intégré, tel qu'il est restitué à partir des mesures de l'imageur micro-onde Ssm/I des satellites Dmsp.

La première phase de ce travail a consisté à développer, dans le modèle Arpège, un schéma simplifié décrivant la condensation et les processus microphysiques essentiels qui affectent la grande échelle. L'originalité de cette paramétrisation réside dans l'alliance de sa simplicité et de sa capacité à pronostiquer les contenus en eau nuageuse, mais également, en précipitations.

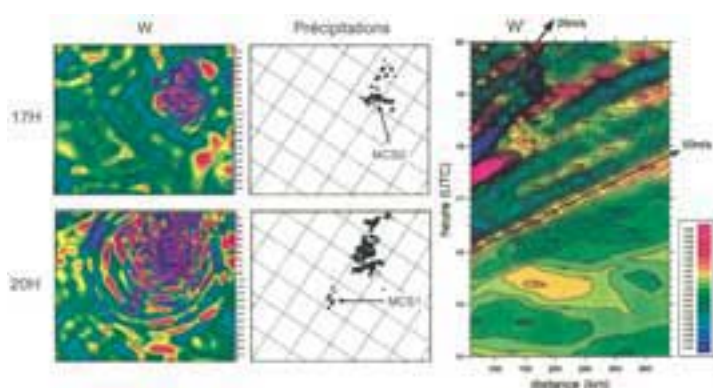
Outre les phénomènes de condensation et d'évaporation d'eau nuageuse qui dépendent du niveau de l'humidité relative dans le modèle, les processus microphysiques pris en compte sont : la conversion du condensat nuageux en particules précipitantes (auto-conversion), la collection de condensat nuageux par les précipitations, et l'évaporation ou la sublimation des précipitations.

Quantité d'eau nuageuse stratiforme intégrée ( $\text{kg/m}^2$ ) prévue à 24 heures d'échéance sur l'Atlantique Nord, le 17 février 1997 à 12 h UTC par le modèle Arpège, dans sa version avec pronostic de l'eau nuageuse et du contenu en précipitations stratiformes. La pression est également tracée (bPa).

## > RÔLE DES ONDES DE GRAVITÉ DANS LE DÉCLENCHEMENT DE LA CONVECTION

Une analyse statistique de l'imagerie IR du satellite Gms5 a été menée pour étudier la distribution spatio-temporelle de la convection profonde durant l'ensemble de l'expérience Toga-Coare. Des modes rapides (propagations supérieures à 25 m/s) ont ainsi été mis en évidence, suggérant l'implication d'ondes de gravité dans le déclenchement des systèmes convectifs pour cette zone équatoriale océanique.

Cette hypothèse a été testée sur un cas de déclenchement d'une ligne de grains (11-12 décembre) simulée explicitement (5 et 2.5 km de résolution) avec le modèle Méso-Nh, grâce à l'utilisation de la technique des modèles emboîtés. L'analyse détaillée des simulations avec l'aide de diagnostics adaptés (méthodes spectrales, bilans de température et de vapeur...) a permis de caractériser les ondes de gravité générées par un premier système convectif et leur rôle dans le déclenchement quelques heures plus tard d'un nouveau système convectif à une distance de 200 km (figure). Le déclenchement sur ce cas particulier apparaît comme la résultante de plusieurs facteurs favorables : une ascendance de la couche limite dans le secteur considéré, une advection froide et humide de grande échelle dans les couches moyennes, et le pas-



Coupe horizontale à 2 km d'altitude du champ de vitesse verticale (à gauche à 17 h et 20 h) illustrant la structure des ondes de gravité émises par un système convectif (MCS0), simulé explicitement par le modèle MésO-Nb. Deux modes propagatifs (à 50 et 25 m/s) sont identifiés (évolution temporelle à droite) et contribuent au déclenchement d'un second système convectif (MCS1) quelques heures plus tard à une distance de 200 km.

sage d'ondes de gravité excitées par la convection antérieure, conduisant à une alternance de conditions défavorables et propices.

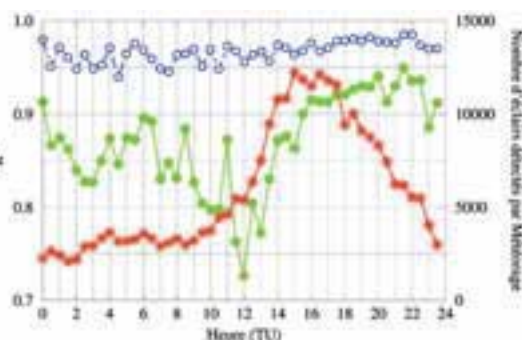
## > SUIVI DE LA DYNAMIQUE LAGRANGIENNE PAR CHAMPS EULÉRIENS DANS MÉSO-NH

Le suivi de la dynamique lagrangienne d'un écoulement atmosphérique est une approche intéressante en météorologie numérique, puisqu'il permet d'identifier des masses d'air cohérentes et les mécanismes physiques gouvernant leur évolution (transports advectifs, convectifs et turbulents, mouvements verticaux, phénomènes diabatiques, etc.). Les situations météorologiques étudiées à l'automne durant la campagne de mesures intensives MAP se prêteront particulièrement à ce type d'analyse.

La méthode mise en œuvre n'utilise que des champs eulériens de traceurs passifs, évitant ainsi l'inconvénient d'un modèle supplémentaire de trajectoires. Elle consiste à initialiser trois champs de traceurs passifs avec les trois coordonnées des points de grille. Par la suite, une particule d'air pourra être identifiée sans ambiguïté puisque lui sera associé un triplet unique de coordonnées initiales.

Comme exemple d'utilisation, la figure montre l'altitude effective des points d'une surface de particules initialement (le 12/09/1995 à 12 h TU) à 7 000 m, puis

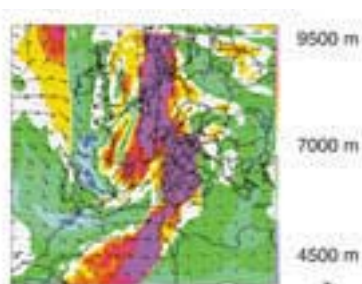
Variation quotidienne du nombre d'éclairs cumulés sur 11 journées convectives de l'été 1997 (en rouge). R est le rapport entre le nombre d'éclairs intégrés par le système Isis et le nombre d'éclairs détectés par Météorage. En vert, R est relatif à l'ancienne version d'Isis et en bleu à la version actuelle. On note une nette amélioration du ratio qui se situe désormais au-dessus de 95 % de réussite.



## > ACTIVITÉ ÉLECTRIQUE ET MORPHOLOGIE DES SYSTÈMES CONVectifs

Il s'agit de contribuer à la connaissance des systèmes convectifs de méso-échelle de France métropolitaine, par l'étude de leurs caractéristiques électriques, décrites par les données du réseau Météorage, et de leur suivi dans l'imagerie infrarouge de Météosat par le système Isis. On souhaite évaluer l'intérêt et l'applicabilité en Europe de résultats établis sur les systèmes convectifs d'Amérique du Nord : d'une part, la relation du maximum d'activité électrique et du renversement de polarité dominante avec le début du déclin de l'activité convective ; d'autre part, la densité d'impacts positifs et sa relation à la rapidité et à l'importance du développement du système convectif et aux phénomènes violents associés. Cela en vue de fournir des éléments précieux pour la prévision immédiate.

Grâce au système Isis de suivi automatique des enclumes nuageuses atteignant la tropopause, les tra-



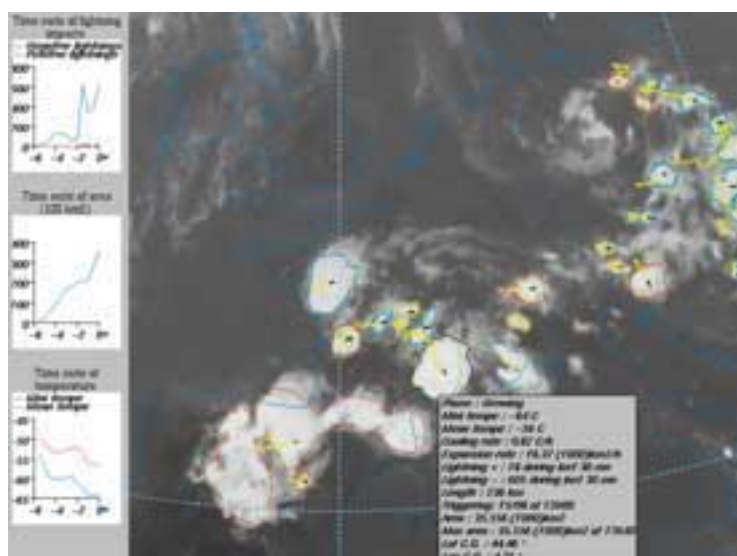
Altitude effective  $z$  au bout d'un temps  $t = t_0 + 18$  h de la surface lagrangienne initialement horizontale et située à 7 000 m d'altitude au temps  $t_0$ . De l'Irlande à l'Espagne s'étend une bande d'air ayant subi une nette subsidence qui correspond à une intrusion d'air stratosphérique.

jectoires des systèmes convectifs de méso-échelle ont été reconstituées pour les étés de 1993 à 1997. Les impacts de foudre détectés par le réseau Météorage ont été comptabilisés dans les zones d'observation de ces systèmes convectifs. L'analyse statistique impose alors une tolérance spatiale de l'ordre de 10 km entre impacts de foudre et sommets nuageux. Après amélioration de l'algorithme Isis, les premiers résultats montrent que le maximum d'activité électrique des systèmes convectifs de méso-échelle précède d'au moins une demi-heure leur expansion maximale.

## > PRÉVISION IMMÉDIATE ET ORAGES À DÉVELOPPEMENT RAPIDE

Le CNRM s'est impliqué début 1999 dans le SAF Nowcasting (Centre d'applications satellitaires à la prévision immédiate) d'Eumetsat, en prenant en charge le produit RDT (Rapid Developing Thunderstorm, c'est-à-dire orages à développement rapide). L'objectif est d'exploiter les images du futur satellite *Météosat seconde génération (MSG)* pour fournir une signalisation précoce des orages à développement rapide et effectuer en temps réel leur suivi et leur caractérisation. Le CNRM a élaboré un premier prototype capable, en s'appuyant notamment sur le satellite actuel *Météosat*, de décrire les propriétés nuageuses et électriques des systèmes convectifs de méso-échelle ayant atteint la tropopause. Ce prototype a été expérimenté pendant l'été 1999 : à l'échelon central sur le poste de travail Synergie des prévisionnistes nationaux de Météo-France et, partiellement, en région Sud-Est avec une présentation tirant parti des technologies d'Internet.

*Une présentation du produit RDT (orages à développement rapide). Sur l'image infrarouge de Météosat, les contours colorés montrent les systèmes convectifs naissants (en jaune), en expansion (en rouge) ou en décroissance (en bleu). Les trajectoires des systèmes sont en jaune, et leur contour antérieur en vert. En encadré, caractéristiques du système convectif à contour noir dont l'historique figure à gauche de l'image.*



Les améliorations nécessaires sont en cours. Elles concernent avant tout la précocité de la détection des systèmes convectifs, mais aussi la recherche de paramètres discriminant systèmes convectifs et systèmes non convectifs, dès les phases précoces. Les images du satellite américain *Goes* permettent de se faire la main sur les résolutions spatiales de *MSG*. Une deuxième expérimentation de terrain est prévue pour l'été 2000. Le potentiel d'un tel produit est très important. Il est pratiquement acquis qu'il permettra d'élaborer des alertes semi-automatiques et qu'il sera la pierre angulaire d'un suivi multiparamètres des orages. Au-delà des prévisionnistes de Météo-France, le produit RDT devrait intéresser des utilisateurs comme la Navigation aérienne et la Sécurité civile, puis les clients commerciaux de l'alerte aux orages, qui seraient prévenus plus tôt qu'avec les données de foudre seules disponibles aujourd'hui.

## > LES DÉBUTS D'UN SAF POUR L'ANALYSE DES TERRES ÉMERGÉES

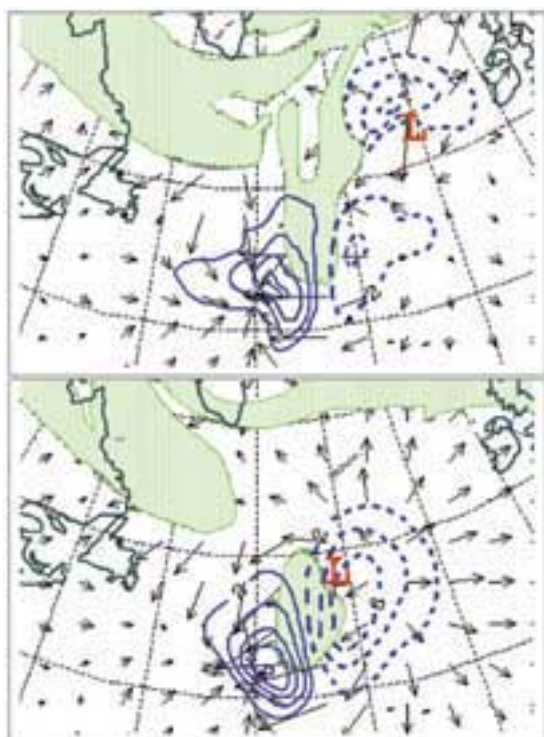
Le CNRM est impliqué dans les activités du Saf d'Eumetsat pour l'analyse des terres émergées, dont l'objectif est la fourniture opérationnelle de paramètres de surface à partir des données des missions des satellites *Météosat Seconde Génération* et *Eumetsat Polar System*. Il s'agit d'un Consortium comprenant 7 états membres et placé sous la responsabilité de l'Institut Météorologique du Portugal. La durée de vie du Saf est de 5 ans, la première moitié de celle-ci étant consacrée aux développements, tests et validations des algorithmes à partir de jeux de données existants.

Le CNRM coordonne la composante relative aux mesures des courtes longueurs d'onde incluant les aérosols, l'albédo de surface, la fonction de distribution de la réflectance bidirectionnelle et le rayonnement à la surface. Les deux autres composantes ont trait aux mesures thermiques et aux paramètres biophysiques. Les produits à valeur ajoutée affichés sont la température, l'albédo, l'émissivité, l'évapotranspiration, l'humidité des sols, la fraction de végétation et la couverture neigeuse. Ils découlent directement ou indirectement d'un bilan radiatif amélioré. Les caractéristiques spectrales, de résolution temporelle et de couverture globale offertes par les deux satellites sont pleinement exploitées afin de proposer des méthodes innovantes et robustes à la fois qui doivent conduire à la fourniture de produits compétitifs susceptibles d'intéresser une large communauté scientifique utilisatrice. Les domaines d'application concernent les disciplines demandeuses d'informations détaillées sur la nature et les propriétés de la surface ; la prévision du temps et la modélisation

climatique, la gestion de l'environnement et l'occupation des surfaces, la gestion des risques naturels.

## > CYCLOGÉNÈSE : QUAND LA PLUIE CRÉE UNE DYNAMIQUE NOUVELLE

Un schéma de cyclogénèse bien connu est celui qui met en jeu un maximum de tourbillon d'altitude et une zone de gradient thermique de basses couches. Dans cette configuration, le système dépressionnaire se développe grâce à l'interaction entre la perturbation d'altitude et celle de surface. Pendant cette phase de croissance barocline, les nuages et les précipitations sont la conséquence des mouvements ascendants dans les zones frontales. Certains cas de cyclogénèse documentés pendant la campagne Fastex indiquent que la chaleur latente libérée dans les ascendances frontales peut modifier le schéma précédent.



Une étude de sensibilité, menée avec le modèle Méso-Nh, du développement de la dépression observée au cours de la période d'observation intensive n° 17 de la campagne Fastex précise le rôle joué par ces processus diabatiques. La figure montre que la formation des nuages conduit à l'accélération de la perturbation de basses couches par rapport à l'anomalie d'altitude et à son forçage (dipôle d'ascendance-subsidence) : la phase initiale de croissance barocline est ainsi relayée par un régime autonome de développement de la dépression d'origine diabatique.

Sur l'interface de pilotage, l'utilisateur précise la nature de la modification des champs, son amplitude et sa position. Dans cet exemple, un déplacement vers le sud d'une perturbation de la tropopause conduit 24 heures plus tard à une dépression naissante plus creuse. Le nouveau scénario du modèle est disponible au bout d'environ un quart d'heure.

Comparaison le 19/02/97 à 00h UTC : haut : simulation de référence ; bas : simulation sans schéma de nuages. La dépression de surface est indiquée par la lettre L, les champs sont représentés à 400 hPa : fortes valeurs de tourbillon potentiel (vert, entre 2 et 4 PVU), vitesse verticale forcée par les champs de vent et de température (bleu, tous les 2  $\mu\text{bPa.s}^{-1}$ ), vecteurs vent agéostrophique divergent associé.



## > UN OUTIL POUR MATÉRIALISER L'EXPERTISE DES PRÉVISIONNISTES

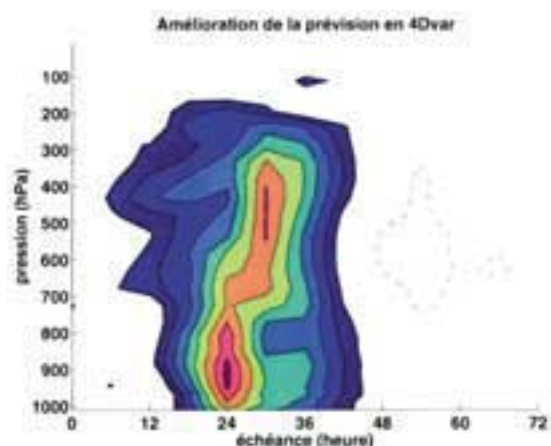
La confiance que l'on accorde aux produits de la prévision numérique est plus grande qu'il y a quinze ans. Pour autant, certaines faiblesses des systèmes de prévision numérique font qu'ils passent encore parfois à côté de phénomènes violents et dangereux. Dans certains cas, l'examen des observations par les prévisionnistes conduit à remettre en cause l'analyse du modèle. Une méthode de correction des structures cohérentes (anomalies de la tropopause, dépressions, etc.) mal représentées dans les conditions initiales du modèle de prévision Arpège est en cours de développement au CNRM. Elle repose sur le principe d'inversibilité du tourbillon potentiel, dont l'emploi assure la cohérence spatiale des modifications, tandis que la possibilité de relancer le modèle ajoute la cohérence temporelle.

## > LES OBSERVATIONS ADAPTATIVES ET L'ASSIMILATION 4D-VAR FONT BON MÉNAGE

Dans certaines situations météorologiques, les erreurs de prévision peuvent croître très rapidement et détériorer ainsi la qualité des prévisions, même à courte échéance (typiquement entre un et deux jours). Pour améliorer les prévisions, les chercheurs de Météo-France essaient de maîtriser les erreurs sur les conditions initiales grâce au nouveau concept d'observation adaptative. L'idée est de concentrer des observations dans les zones dites sensibles, dépendantes de l'écoulement atmosphérique, afin d'avoir de meilleures conditions initiales, et donc de meilleures prévisions.

Ce concept a été testé pour la première fois sur des situations réelles pendant la campagne Fastex. Une étude d'impact, menée avec le schéma d'assimilation 3D-VAR actuellement opérationnel à Météo-France, montre la capacité des observations adaptatives à influencer fortement les prévisions. Malheureuse-

ment, l'emploi du schéma 3D-VAR ne permet qu'une amélioration limitée de la qualité des prévisions. Par contre, l'assimilation des observations adaptatives à l'aide d'un schéma plus précis, de type 4D-VAR, met en évidence un potentiel élevé d'amélioration de la qualité des prévisions.

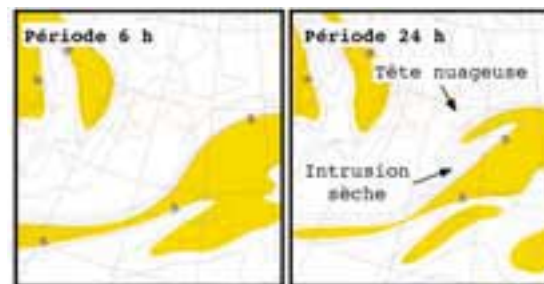


Ces recherches montrent que la nouvelle génération des systèmes d'assimilation permet d'entrevoir une approche plus dynamique du réseau d'observation. Ainsi, on peut imaginer le réseau d'observation du futur comme un système souple et réactif, plutôt que fixe et systématique. Une base fixe est bien entendu nécessaire pour contrôler les échelles planétaires. Mais, ne serait-ce qu'à l'échelle synoptique, il y a chaque jour des régions différentes où il importe de recueillir un maximum de données en utilisant de nouveaux moyens mobiles de mesure.

## > APPLICATION D'UN 4D-VAR "LONG" AUX DONNÉES DE LA CAMPAGNE FASTEX

L'assimilation variationnelle 4D-Var cherche l'évolution modélisée de l'atmosphère, qui s'écarte le moins possible des observations disponibles durant une période donnée. Pour ce faire, on utilise un modèle, dit "adjoint" du modèle de prévision. Celui-ci a la capacité de déterminer de proche en proche l'évolution de l'atmosphère simulée qui est la plus voisine des observations au fur et à mesure de leur arrivée, puis de recalculer, "à l'envers", l'état initial du modèle de prévision qui assurera l'évolution prévue la plus cohérente avec les observations disponibles sur le début de la période de prévision. En utilisant cette technique, on se ramène à apporter des modifications aux conditions initiales du modèle, qui seront intuitivement d'autant plus riches que la période d'assimilation sera plus longue.

Champs d'humidité à 300 hPa, résultant de deux assimilations 4D-Var avec des périodes de 6 h et 24 h : on observe à ce niveau la partie haute de la tête nuageuse et une intrusion sèche dans la masse nuageuse seulement pour l'assimilation 24 h.



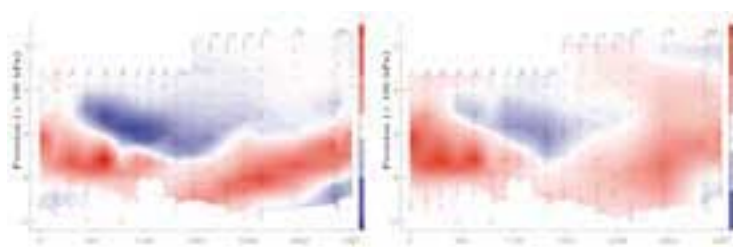
Néanmoins, une telle extension est limitée par l'évolution non-linéaire du fluide atmosphérique. Une solution consiste à effectuer une première optimisation des conditions initiales avec une période courte (6 heures par exemple), puis à augmenter la période en partant de ces nouvelles conditions initiales. Cette approche dite "quasi-continue" a été portée dans le schéma 4D-Var développé au CNRM, puis appliquée à un système observé durant la campagne Fastex (Poi 17).

Pour deux assimilations avec des durées respectives de 6 h et 24 h, la description de la "tête nuageuse" du système (figure) est bien meilleure pour une longue durée de l'assimilation. Cette structure, conséquence de fortes ascendances, est plus développée pour l'assimilation longue, qui introduit effectivement une augmentation des mouvements ascendants dans cette zone. Ici seules les observations opérationnelles ont été utilisées. Mais on attend un impact plus marqué des observations spéciales de la campagne Fastex dans de telles assimilations longues.

## > SENSIBILITÉ PAR RAPPORT AUX OBSERVATIONS DES TECHNIQUES D'OBSERVATION ADAPTATIVE

Suite à des études théoriques et au premier examen des données ciblées de la campagne Fastex, il est apparu que l'algorithme d'assimilation de données jouait un rôle important dans l'efficacité des observations adaptatives. Celui-ci n'était pas pris en compte dans les calculs de zones à échantillonner lors de l'expérience Fastex. Pour des déploiements adaptatifs optimaux, il faut tenir compte de l'assimilation, mais aussi minimiser le nombre d'observations adaptatives pour un effet maximal sur les prévisions.

Dans ce but, un outil de calcul de sensibilité aux observations d'un score de prévision a été développé. Par rapport à un algorithme plus classique de sensibilité aux conditions initiales, le processus d'assimilation est maintenant pris directement en compte. Pour ce faire, on a mis en place le modèle adjoint de l'opérateur d'assimilation dans le modèle Arpège.



Ce calcul, utilisé d'abord dans un cadre diagnostique sur quelques cas de Fastex, permet une étude critique de l'optimalité des vols de ciblage. La figure juxtapose la sensibilité aux conditions initiales (comme utilisée pendant Fastex) et la sensibilité aux observations, représentées dans l'espace des observations de température d'un vol de ciblage. Sur cet exemple, on note que la forte sensibilité se maintient en début de vol à 700 hPa. Cependant à 500 hPa, une nette atténuation sur la partie centrale du vol indique un affaiblissement de sensibilité de la prévision aux observations de température dans cette zone.

Pour aborder la question de l'optimalité du ciblage il faut aussi évaluer l'impact de celui-ci sur la prévision et surtout la contribution à cet impact de chaque observation ciblée. La suite de ce travail sera d'essayer de définir une méthode optimale de déploiement des observations adaptatives.

#### > EMPLOI DANS MÉSO-NH DE CARTES D'ALBÉDO ET DE VÉGÉTATION OBTENUES PAR TÉLÉDÉTECTION

On a pu, à partir des images satellitales AVHRR à un kilomètre de résolution, cartographier trois paramètres clés des surfaces continentales sur la zone de l'expérience Hapex-Sahel (1992) : l'albédo, l'indice foliaire et la fraction de végétation. Ces cartes ont été pour la première fois utilisées directement dans le modèle Meso-NH.

Deux simulations de 24 heures ont été effectuées, différant uniquement par ces trois champs, afin d'évaluer l'impact des propriétés de surface restituées par télé-détection sur la simulation des flux de surface. Les cartes d'albédo et d'indice foliaire déduites de l'imagerie satellitale sont beaucoup plus réalistes que les produits précédemment utilisés. On observe correctement les sols semi-désertiques à albédo élevé au Nord et les caractéristiques de la végétation sont bien plus satisfaisantes. Les cartes ainsi reconstituées ont un impact très net sur la simulation des flux de surface : les plus faibles valeurs de l'albédo se traduisent par une diminution notable du rayonnement net simulé, d'où un meilleur accord avec les observations, ainsi que par une réduction du flux de chaleur sensible, en

*Sensibilité aux conditions initiales (à gauche) ou aux observations de température (à droite), représentée dans une coupe verticale, des observations de température d'un vol de ciblage en fonction de la distance au départ du vol (km) et de la pression (hPa). On note que la forte sensibilité se maintient en début de vol à 700 hPa. Cependant à 500 hPa, une nette atténuation sur la partie centrale du vol indique un affaiblissement de sensibilité de la prévision aux observations de température dans cette zone.*

*Mesures sur le terrain lors de la campagne coordonnée de mesures à Garmisch-Partenkirchen en vue de caractériser le champ de rayonnement ultra-violet sur les Alpes.*

particulier dans le nord du domaine ; de même, la diminution de la densité de la végétation entraîne une réduction très forte du flux d'évaporation, qui était sur-estimé dans la simulation de référence.

#### > CARACTÉRISATION DU CHAMP DE RAYONNEMENT UV SUR LES ALPES

Le taux de rayonnement ultra-violet B à la surface du globe, par ciel clair, dépend essentiellement de la couche d'ozone. La présence d'aérosols, la réflectance du sol et la rétrodiffusion atmosphérique jouent néanmoins un rôle non négligeable et peuvent interférer avec l'évolution de la couche d'ozone. Les Alpes, longuement enneigées et moins affectées par les aérosols, ont les taux de rayonnement ultra-violet B les plus élevés d'Europe. Le projet européen de caractérisation de champ de rayonnement ultra-violet sur les Alpes, Cuvra, initié en 1998, associe des laboratoires autrichien, allemand, suisse et français. Pour la partie française de cette action, le CEN collabore avec le LOA.

En mars 99, Météo-France a participé à la campagne coordonnée de mesures à Garmisch-Partenkirchen. Le



but était de comparer les différents moyens de mesure et de préciser les paramètres environnementaux tels que le périmètre influent sur l'albédo effectif. Le CEN a effectué durant cette campagne des prélèvements d'échantillons de neige à des altitudes et des expo-

sitions représentatives de la zone. Ceux-ci ont fait l'objet d'analyses des caractéristiques physiques (type de grain, facteur de taille) et chimiques (contenu en carbone suie).

À plus long terme, des mesures de la réflectance directionnelle hémisphérique des différents types de neige avec leurs caractères physiques et chimiques seront réalisées en chambre froide.

Le CEN apporte aussi un soutien au LOA dans l'exploitation des mesures ultra-violet effectuées sur le site de Briançon. La chaîne de modélisation Safran-Crocus-Mepra fournit en effet les paramètres nivologiques des massifs environnants. Le CEN collabore aussi à la mise en œuvre de l'analyse chimique des échantillons de neige prélevés dans la zone de mesure.

# CAMPAGNES EXPÉRIMENTALES

*Dans le domaine des programmes expérimentaux auxquels contribue activement le CNRM, c'est incontestablement la campagne expérimentale du programme MAP qui a dominé le paysage en 1999, même si d'autres campagnes, comme Equalant, se sont révélées prometteuses et si, bien sûr, le travail de fond se poursuit sur les données des campagnes des années précédentes.*



## > LE PROGRAMME MAP, PREMIÈRE RÉALISATION DU PROGRAMME MONDIAL DE RECHERCHE EN PRÉVISION DU TEMPS DE L'OMM

Améliorer la prévision des phénomènes météorologiques dangereux en zone montagneuse est un objectif de première importance pour Météo-France. Le programme international de recherche MAP (Mesoscale Alpine Programme) s'intéresse à trois catégories de tels phénomènes : les précipitations intenses en montagne ; les vents violents dans les vallées ; la turbulence en altitude, dangereuse pour l'aéronautique. Dans ces trois domaines, l'objectif est de valider la prochaine génération de modèles numériques à résolution kilométrique, tel Méso-NH.

Le programme MAP regroupe tous les pays alpins, ainsi que les États-Unis, le Canada, la Grande-Bretagne, l'Espagne et la Grèce. Météo-France et le CNRS ont décidé de cofinancer à parts égales la contribution française à MAP, tandis que le Cnes et EDF contribuent également au programme. De plus, depuis 1998, le programme MAP a été reconnu comme la première réalisation du Programme mondial de recherche en prévision du temps, nouvelle action de l'OMM qui a pour but de favoriser la collaboration internationale en matière de recherche sur les phénomènes météorologiques violents.

*Les deux avions américains qui ont participé à la campagne MAP, l'Electra (à gauche) et le P3 (à droite), sur l'aéroport d'Innsbruck.*

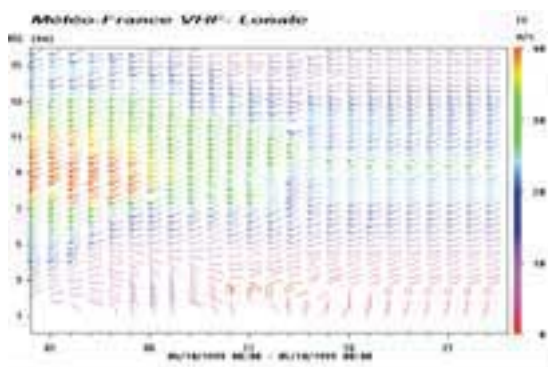
MAP s'est concrétisé par une expérience de terrain, dans les Alpes, du 7 septembre au 15 novembre 1999. Un dispositif international d'une grande richesse, comprenant plusieurs gros avions de recherche, des radars de technologie avancée, des lidars et un grand nombre de stations de mesure au sol, a servi à instrumenter la région du lac Majeur en Italie, la vallée du Rhin en Suisse et la vallée du Wipp en Autriche. Le programme MAP va maintenant poursuivre ses travaux grâce à la moisson de données ainsi collectées.

## > LES ALPES SOUS HAUTE SURVEILLANCE

Pendant la campagne de terrain du programme MAP, Météo-France a spécialement mis en œuvre l'avion *Merlin IV*, des profileurs de vent, ainsi qu'une station de radiosondage à Nice. Son réseau opérationnel de radiosondages était également renforcé, tandis qu'étaient présents sur le terrain plusieurs dizaines de ses chercheurs et plusieurs de ses prévisionnistes.

Dix-sept périodes d'observation intensive ont pu avoir lieu, ce qui représente trente-cinq journées d'observation et environ 150 missions aériennes. Le choix de la zone du lac Majeur s'est révélé excellent : plusieurs épisodes de fortes pluies se sont déroulés durant la

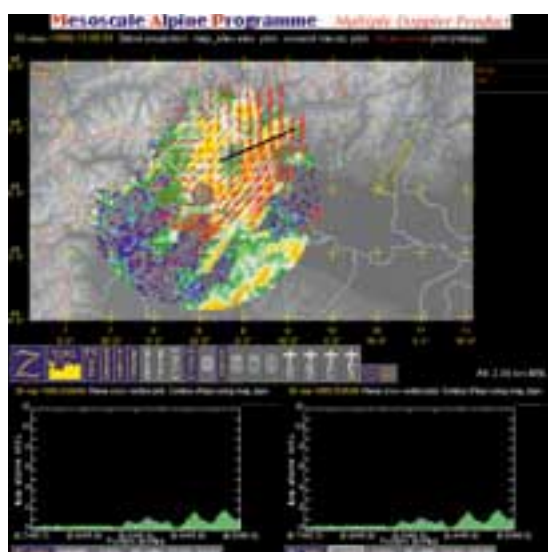




Evolution du profil de vent mesuré par le radar VHF de Météo-France entre le 4/10/99 à 0 h UTC et le 5/10/99 à 0 h UTC, à Lonate Pozzolo (Italie) lors de la campagne MAP.

période expérimentale, avec des maxima dépassant parfois 200 mm par jour. À titre indicatif, de telles quantités sont observées beaucoup plus rarement en France, même si – ironie du sort – les pluies très exceptionnelles du 12 novembre 1999 sur l'Aude ont largement dépassé cette valeur. Les missions aéroportées ont exploré ces systèmes précipitants avec le radar franco-américain Astraia, embarqué sur l'avion américain *Electra*, fournissant ainsi des informations précises sur leur dynamique et leur microphysique. On a notamment mis en évidence l'existence au voisinage du sol de courants catabatiques causés par l'évaporation des précipitations.

Par ailleurs, on a pu étudier grâce aux profileurs de vent, pendant six journées de mesures, des intrusions sur les Alpes d'air polaire à fort tourbillon potentiel. Le but est d'établir comment la présence de la montagne accélère le mélange de cet air polaire avec l'air environnant, par l'intermédiaire des ondes de gravité.



Grâce à la mosaïque radar produite en temps réel, l'équipe du PC de Milan pouvait guider les avions de recherche à travers des systèmes nuageux très complexes, de manière à récolter les mesures les plus pertinentes. Le contrôle aérien italien, très motivé pour l'expérience, a permis d'insérer ces opérations dans un trafic commercial intense.



Une intervention dans le champ d'antennes du profileur de vent.

## > LE CHAMP DE VENT MESURÉ PAR DES RADARS DOPPLER AU-DESSUS D'UN RELIEF

La préparation de l'expérience MAP a été l'occasion d'améliorer la technique Muscat de reconstitution du champ de vent à partir des données de radars Doppler, afin de prendre en compte l'influence du relief. Muscat a également été modifié pour mieux déterminer le champ de vent dans l'axe des radars, ce que ne permettent pas les autres techniques. La nouvelle version de Muscat a été validée à l'aide de simulations du modèle Méso-NH effectuées par le Laboratoire d'aérodynamique sur un cas préparatoire à l'expérience MAP.

Toujours en collaboration avec le Laboratoire d'aérodynamique, on a développé une chaîne de traitement en temps réel des données des radars Ronsard et Monte Lema, en mode dégradé. Cette filière de traitement a été portée sur micro-ordinateur et a fonctionné avec succès durant toute l'expérience MAP, fournissant tous les quarts d'heure des champs tridimensionnels de vent à une résolution de 5 km, sur le domaine de 150 km x 150 km couvert par les radars Doppler. L'analyse en temps réel de données Doppler constitue une première. Complétée par l'analyse des hydrométéores à par-



Le radar Ronsard utilisé durant la campagne MAP a permis de suivre en temps réel les champs tridimensionnels de vent au-dessus des reliefs.

tir des mesures en double polarisation du radar S-Pol, elle fournit un jeu de données unique pour étudier les précipitations orographiques.

## > LES RADARS ST DURANT LA CAMPAGNE MAP

La campagne MAP a été l'occasion de tester en vraie grandeur le fonctionnement d'un réseau constitué d'une trentaine de profileurs de vent européens qui ont envoyé leurs données sur un site Internet dans le cadre de l'opération Cwind. Parmi eux, 9 profileurs français ont été déployés en France et en Italie. La contribution du CNRM à ce programme était composée d'un radar Vhf et d'un radar Uhf, implantés à Lonate Pozzolo, près du Lac Majeur, à 40 km de Milan.

Dès sa livraison en septembre, le tout nouveau radar Uhf du CNRM, émettant à 1 274 MHz, a fourni des mesures de qualité permettant d'échantillonner les basses couches de l'atmosphère avec efficacité. Le radar Vhf (45 MHz) a bénéficié au cours des deux dernières années d'une montée en puissance qui a considérablement amélioré la qualité de ses mesures de vent, principalement au voisinage de la tropopause.

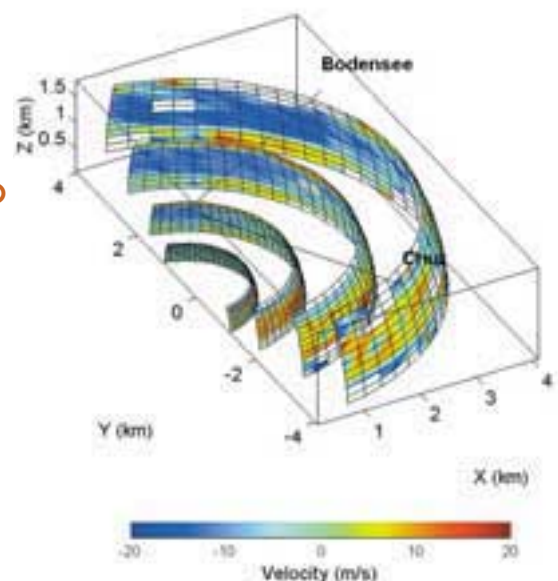
Ces 2 radars ont fonctionné en permanence de septembre à mi-novembre 1999, fournissant en temps réel des profils de vent horaires au centre opérationnel de la campagne Map et accumulant des données par quart d'heure en vue d'études en temps différé.

Grâce à la haute résolution radiale et temporelle de leurs mesures, ces radars apportent une contribution importante à la plupart des thèmes scientifiques de Map, permettant une documentation des anomalies d'altitude, précurseurs possibles des pré-

cipitations intenses, avant leur arrivée sur les Alpes. Ces profileurs remplissent également un rôle primordial pour l'étude des ondes de relief et des phénomènes liés au contournement et au franchissement des Alpes. Ces données, après une phase de traitement par intercomparaison, permettront également la validation des modèles de méso-échelle.

## > OBSERVATION DU FOEHN DANS LA HAUTE VALLÉE DU RHIN PAR LE LIDAR DOPPLER LVT PENDANT LA CAMPAGNE MAP

Le lidar Doppler Lvt, développé par le LMD avec une collaboration du CNRM, a participé à la campagne Map en octobre 1999. Son objectif était de documenter les écoulements de foehn dans la haute vallée du Rhin. Le lidar, situé à quelques kilomètres de la ville Suisse de Bad-Ragaz, était en mesure d'observer les écoulements à l'intersection de deux vallées.



Vitesses radiales mesurées par le lidar Lvt le 2 octobre 1999 pendant un épisode de foehn peu profond. Les vitesses sont représentées par des codes couleurs sur des surfaces sphériques de distance constante (1 à 4 km) centrées sur le lidar. Les vitesses positives indiquent un écoulement vers le lidar, et les vitesses négatives, un vent qui s'en éloigne. La figure visualise l'écoulement amont provenant de la ville de Chur et l'écoulement aval vers le lac de Constance (Bodensee). Sur l'écoulement aval, un contre-courant apparaît près du sol qui révèle un découplage entre le sol et le foehn.

Le lidar Lvt est équipé d'un système de miroirs télécommandés qui lui permet de diriger sa ligne de visée dans n'importe quelle direction. Deux types de balayage ont été réalisés lors de la campagne Map. Un balayage conique autour de l'axe vertical était effectué en début et fin de chaque séquence de mesure afin de déterminer le profil vertical du vent horizontal. La séquence de mesure consistait ensuite à effectuer un "tramage" constitué de "plans" de sondage de zéro à 28° d'élévation par pas de 2 degrés. D'une durée de 3/4 d'heure, ces tramages ont permis d'établir pour chaque vallée auscultée des cartes verticales de la composante du vent le long de la vallée.

Une première analyse des résultats du lidar Lvt et des autres instruments présents sur le site (avions et ballons plafonnants en particulier) a conduit à retenir pour leur intérêt scientifique deux périodes de mesure : le 2 octobre avec un épisode de foehn "peu profond" (figure) et du 17 au 24 octobre avec un épisode de foehn intense dans la vallée du Rhin. Le lidar Lvt a mis en évidence le comportement différent de l'écoulement dans les vallées du Rhin et vers Wallensee avec une extension verticale beaucoup plus faible pour cette dernière.

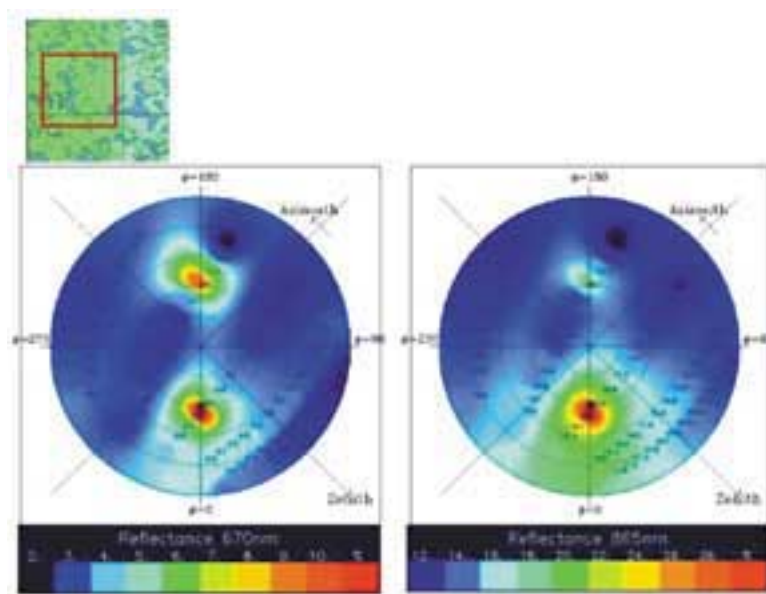
La moisson de données récoltées par les différents instruments présents dans la vallée du Rhin devrait ainsi permettre une analyse fine du foehn en haute vallée du Rhin, de sa structure, de la manière dont il est couplé au flux synoptique, de la séparation du flux entre vallées...

## > LES RÉSULTATS DE LA CAMPAGNE BORÉAS

Le radiomètre Polder embarqué sur avion, puis sur la plate-forme spatiale japonaise Adéos fait partie d'une nouvelle génération de radiomètres multidirectionnels. Son utilité pour l'étude de la biosphère a été illustrée au cours des expériences internationales Hapex-Sahel (Niger) et Boréas (Canada).

Sur cet exemple de données spatiales (voir figure ci-contre), les mesures de réflectance sont présentées sur des grilles polaires : l'angle polaire correspond à l'azimut relatif entre les directions solaire et de visée, le rayon à l'angle zénithal de visée. La figure a été obtenue à partir des données acquises durant 5 orbites successives du satellite. La signature angulaire apparaît d'une grande netteté, aussi bien dans le visible que dans le proche infrarouge.

La région de prise de vue, illustrée par la vignette, est une forêt de conifères parsemée de petits lacs, le tout sur une surface de 35 hectares correspondant au pixel élémentaire du radiomètre Polder. La réflexion spéculaire (tache supérieure) traduit la présence de lacs sur la zone observée. La réflectance maximale obtenue quand la direction d'observation coïncide avec la direction solaire (tache inférieure) représente le phénomène du "hot spot", qui caractérise les couverts forestiers. Cet effet doit être pris en compte pour un calcul précis de l'albédo. Les observations du hot spot sont également utiles à la restitution de l'architecture du couvert, de l'arrangement des éléments végétaux et de l'indice foliaire. Les capteurs spatiaux antérieurs ne permettaient pas une telle étude puisque ce phéno-



Mesures de réflectance obtenues par le radiomètre Polder sur une forêt de conifères au Canada lors de la campagne de mesures internationale Boréas.

mène n'était que rarement observé. L'utilisation des données Polder spatial sur la forêt boréale entre dans le cadre d'une coopération avec le Centre Canadien de Télédétection.

## > LA CAMPAGNE EN MER EQUALANT

La campagne de mesures océanographiques Equalant s'est déroulée du 13 juillet au 21 août 1999, dans l'Atlantique tropical, à bord du navire de recherche *Thalassa* de l'Ifremer. Organisée par l'Institut de recherche pour le développement (IRD, ex-Orstom), la campagne visait principalement à étudier la variabilité de la dynamique équatoriale de surface et de subsurface ; elle comportait aussi un volet d'étude des interactions océan-atmosphère, dont le CNRM avait la responsabilité et pour lequel une instrumentation spécifique a été installée sur le navire.



La campagne Equalant s'est déroulée à bord de la *Thalassa*, le navire de recherche de l'Ifremer.

Ainsi, grâce à un mât instrumenté de 10 mètres de hauteur fixé sur le pont avant du navire, on a pu engranger une quantité importante de mesures sur

la turbulence atmosphérique. À l'aide de ces données et des mesures obtenues par radiosondage, le CNRM va pouvoir étudier l'origine de la variabilité des échanges d'énergie, de vapeur d'eau et de quantité de mouvement entre océan et atmosphère. Les mesures océanographiques et les radiosondages lancés à l'heure du passage du satellite défilant *NOAA 15* permettront aussi de contrôler la qualité des algorithmes de calcul de la température de surface de la mer par satellite.



*Un mât instrumenté de 10 m de hauteur fixé sur le pont avant du navire a permis une quantité importante de mesures sur la turbulence atmosphérique.*

## > LES RADIOSONDAGES MOBILES DU CNRM

Le radiosondage mobile est depuis longtemps un des instruments de base pour les campagnes de recherche sur le terrain. Depuis trente ans, rares sont les expériences de météorologie qui n'y ont pas fait appel. Le CNRM, qui possède depuis une dizaine d'années trois stations à même d'être déployées rapidement sur des sites divers et éloignés, a tout naturellement et souvent été mis à contribution pour de telles expériences.

Le développement récent de systèmes de sondage atmosphérique par télédétection (en particulier les radars), de plus en plus mobiles, pouvait conduire à penser que la pression sur les sondages in situ (radiosondages depuis la surface ou "dropsondes" larguées depuis un avion) allait progressivement diminuer ; il n'en est rien. Bien au contraire, à nos traditionnelles missions d'exploration pour les campagnes à visée météorologique s'ajoute maintenant un volet de qualification de nouveaux sondeurs, au sol ou satellisés, actifs ou passifs. De plus, le développement des campagnes océanographiques offre des opportunités de sondage atmosphérique sur les navires instrumentés, dans des régions où les mesures météorologiques font cruellement défaut.

Entre 1998 et 1999, les stations de radiosondage du CNRM ont participé à douze campagnes, dont quatre sur des navires océanographiques. Le radiosondage a encore de beaux jours devant lui, même si nous sommes convaincus que les progrès des systèmes

de télédétection mettront un jour à notre disposition des "profileurs" automatiques, continus et mobiles. En attendant ce jour, Météo-France saura maintenir au meilleur niveau un système qui demeure indispensable.

## > PREMIER BILAN DE LA CAMPAGNE ACE 2

En 1997, Météo-France a coordonné le programme Cloudy-Column, un des cinq projets du programme européen Ace 2 ayant pour but d'étudier les propriétés physico-chimiques des aérosols susceptibles d'entraîner une modification de la microphysique nuageuse. Une augmentation de la concentration des gouttelettes induit, pour un même rapport de mélange en eau liquide, une augmentation de la capacité des nuages à réfléchir le rayonnement solaire. La pollution anthropogénique pourrait ainsi conduire à la formation de nuages plus réfléchissants et plus durables, et par conséquent à un déficit de rayonnement solaire à la surface de la planète.

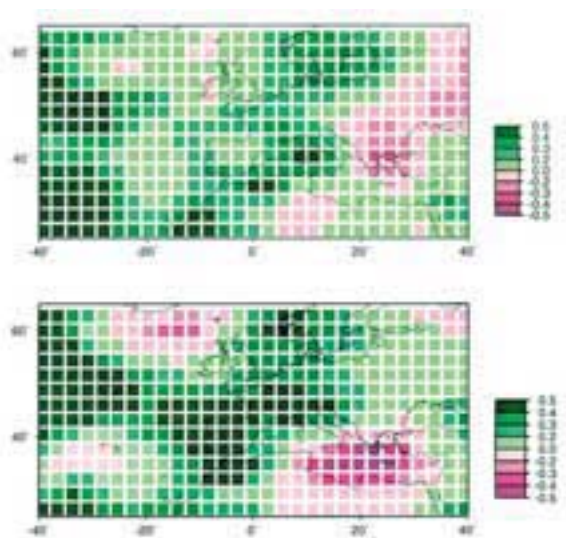
L'analyse des données de l'expérience Ace 2 a fourni la première démonstration expérimentale de l'effet indirect, en validant toute la chaîne de processus associés à l'aérosol anthropogénique. On a pu vérifier l'augmentation de la concentration des noyaux de condensation et de celle des gouttelettes dans le nuage en air pollué, ainsi que l'augmentation de l'albédo nuageux et la diminution de son efficacité à précipiter. Une nouvelle paramétrisation du processus a été proposée qui permet d'exprimer directement les propriétés radiatives en terme de concentration des gouttelettes au lieu d'utiliser leur rayon effectif. L'expérience de fermeture a cependant montré de sérieux défauts dans les modèles utilisés pour la simulation de cet effet. Le modèle d'activation des noyaux de condensation surestime la concentration des gouttelettes d'un facteur 2 à 4, et le modèle de transfert radiatif pour le calcul de l'albédo nuageux surestime la concentration de gouttelettes du même facteur. Ces travaux constituent un bon début, mais devront se poursuivre afin d'améliorer notre connaissance du rôle des nuages sur le climat.

# ÉTUDE DU CLIMAT ET DE L'ENVIRONNEMENT DE LA PLANÈTE

*Outre le développement du modèle de chimie atmosphérique Mocage, le CNRM a poursuivi en 1999 ses efforts pour perfectionner les modèles de simulation du climat (représentation des phénomènes physiques et des divers couplages) et pour réaliser de nombreuses expériences numériques (scénarios, études de phénomènes climatiques, études de sensibilité). Parallèlement, au Scem, la reconstitution de longues séries climatiques homogènes sur la France commence à porter ses fruits.*

## > UNE NOUVELLE VERSION DU MODÈLE ARPÈGE-CLIMAT POUR LA PRÉVISION SAISONNIÈRE

Le modèle Arpège-climat évolue sans cesse afin de mieux représenter le climat moyen et les rétroactions climatiques. Cependant, l'évaluation de la prévisibilité à l'échelle saisonnière nécessite d'effectuer de lourdes expériences de calcul. En effet, il faut estimer avec précision l'erreur moyenne du modèle et traiter un nombre suffisant d'années pour obtenir des évaluations statistiquement stables. Ce genre d'expérience représente l'équivalent de la simulation de 200 ans d'évolution du climat. En prévision saisonnière, il est donc exclu de changer trop souvent de version du modèle.



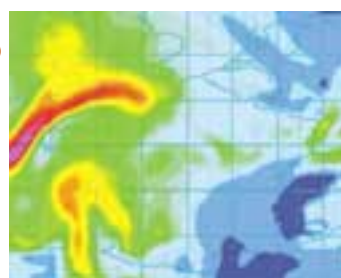
Distribution du Radon-222 calculée par le modèle Mocage à une altitude moyenne de 2 km, pour une situation de mars 1998.

Coefficient de corrélation sur 15 hivers pour la température moyenne dans l'ancienne version (haut) et la nouvelle version (bas) du modèle Arpège-climat lors d'expériences de prévision saisonnière. Chaque carré représente un point de grille du modèle. Une corrélation positive (couleur verte) indique que la prévision saisonnière élaborée par le modèle est meilleure qu'une prévision purement climatologique.

Depuis cinq ans, on utilisait une configuration figée du modèle Arpège-climat pour les expériences de prévisibilité, alors que la plupart des éléments du modèle étaient remplacés ou améliorés. Le CNRM a décidé qu'il était temps de mettre en service une version scientifiquement plus réaliste et informatiquement plus efficace. Avec cette nouvelle version, la corrélation moyenne pour la température en hiver sur l'hémisphère Nord passe de 0,30 à 0,40, ce qui constitue une amélioration notable de la qualité des prévisions saison-

nières ; l'impact est positif en de nombreuses régions d'Europe, notamment sur la France. Après avoir fait l'objet d'une validation sur une période de quinze ans, cette nouvelle version d'Arpège-climat a été installée au Scem et fonctionne désormais de façon opérationnelle : chaque mois, les prévisions d'anomalies de température et de précipitations sont calculées sur l'ensemble du globe pour le trimestre qui suit.

## > LE MODÈLE MOCAGE DE CHIMIE ATMOSPHÉRIQUE : PREMIÈRES VALIDATIONS ET PERSPECTIVES



Mocage est le nouveau modèle de chimie atmosphérique du CNRM. Il présente les caractéristiques principales suivantes : une interface perfec-

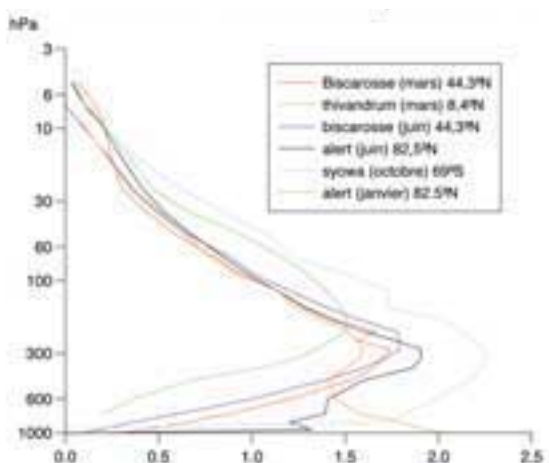
tionnée avec les sorties des modèles Arpège et Aladin, y compris pour ce qui concerne les flux d'émission et de dépôt à la surface ; la possibilité de rétroaction entre les distributions chimiques calculées par Mocage et la dynamique produite par le modèle Arpège-climat ; la prise en compte d'une chimie détaillée, à la fois dans la troposphère et dans la stratosphère ; une haute résolution verticale (47 niveaux, sommet à 5 hPa) et horizontale (2 degrés sur le globe), ainsi que la possibilité d'utiliser des domaines imbriqués pour des simulations à encore plus haute résolution.

Le CNRM valide actuellement les divers modules élémentaires de Mocage. Pour ce qui concerne la validation générale, Mocage est impliqué dans de nombreux projets nationaux et internationaux d'étude de la qualité de l'air, notamment l'exploitation des campagnes de mesure Ozone occitan et Esquif, ainsi que la préparation de l'expérience Escompte prévue à l'été 2001. Simultanément, le développement du modèle adjoint

de Mocage et le couplage avec le système Palm du Cerfacs permettent d'envisager à moyen terme l'assimilation variationnelle des mesures in situ et satellitaires de constituants chimiques.

## > CARACTÉRISATION DE LA MESURE SATELLITALE DE LA COLONNE D'OZONE DÉDUITE DU CANAL OZONE DE MÉTÉOSAT SECONDE GÉNÉRATION

Dans le cadre de la participation au Centre d'Applications Satellitaires sur l'ozone, projet lancé à l'initiative d'EUMETSAT pour préparer l'exploitation des satellites météorologiques européens, l'algorithme d'ozone total du CNRM a été adapté pour produire des images de colonnes d'ozone à partir du canal à 9,7 microns du satellite Météosat Seconde Génération.



*Sensibilité verticale au profil d'ozone pour 6 latitudes différentes (en Dobson par Dobson). Les profils de sensibilité à l'ozone sont calculés à l'aide d'un modèle de transfert radiatif de haute résolution spectrale.*

L'écart-type de l'erreur résultant du type de profil vertical que l'on peut rencontrer est évalué à 15 unités Dobson (5 % de la colonne totale) et reste faible par rapport à l'écart-type (50 unités Dobson) de la colonne totale. Pour mieux connaître les conditions (anomalies de température ou d'ozone à certaines altitudes) dans lesquelles une telle erreur, systématique sur une masse d'air donnée, peut apparaître, on a calculé les sensibilités de l'algorithme à des accroissements d'ozone et de température placés à diverses altitudes.

La figure montre les profils de sensibilité à l'ozone calculés à l'aide d'un modèle de transfert radiatif de haute résolution spectrale. Il devrait y avoir accord entre l'accroissement de la colonne totale d'ozone donné par l'algorithme à partir des canaux reconstitués de Météosat Seconde Génération et l'intégration verticale de la perturbation en concentration d'ozone. On observe au contraire une sensibilité forte dans la haute troposphère et la basse stratosphère, et une sensibilité faible dans la haute stratosphère. Ce résultat

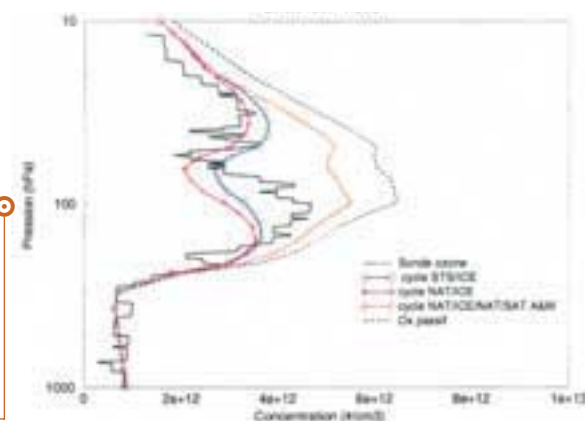
*Profil d'ozone à Ny Aalesund (Suède), mesuré par radiosondage (trait plein), et calculé par différents modèles (autres graphes).*

montre le domaine d'altitude pour lequel les mesures dérivées du canal ozone (vents de déplacement, assimilation de données) sont les plus intéressantes. Il dirige le travail du CNRM vers la mise au point d'un algorithme donnant une colonne partielle d'ozone sur le domaine de sensibilité maximale.

## > MODÉLISATION TRIDIMENSIONNELLE DE LA CHIMIE HÉTÉROGÈNE DES NUAGES POLAIRES STRATOSPHÉRIQUES DANS UN MODÈLE DE CHIMIE-TRANSPORT

La chimie hétérogène des composés chlorés, bromés et azotés sur les aérosols et les nuages stratosphériques polaires est la clé des fortes pertes d'ozone stratosphérique observées aux pôles, durant l'hiver et le printemps. On en comprend aujourd'hui les grandes lignes, mais des incertitudes subsistent quant à la nature exacte des particules (liquides ou solides) et à la valeur de certains coefficients d'accommodation des réactions hétérogènes. Comme, par ailleurs, les modèles stratosphériques tridimensionnels de chimie-transport ont une tendance récurrente à sous-estimer, certains hivers, les pertes d'ozone au début de leur apparition, erreur initiale qui se répercute sur les pertes cumulées, on comprend l'intérêt que peut présenter une étude de sensibilité des résultats de ce type de modèle aux incertitudes liées à la chimie hétérogène des nuages stratosphériques polaires.

Une nouvelle version du modèle stratosphérique de chimie-transport de Météo-France, Reprobus, a été couplée à un nouveau module de représentation de la chimie hétérogène de façon à prendre en compte les avancées les plus récentes dans ce domaine. Plusieurs scénarios possibles de formation des nuages stratosphériques polaires ont pu être simulés sur des situations réelles dans lesquelles la dynamique atmosphérique est fournie par les analyses du CEPMMT. Les résultats ont été comparés aux mesures disponibles à



partir des radiosondages, en s'attachant à évaluer simultanément les caractéristiques des nuages stratosphériques polaires formés par le modèle, ainsi que l'activation des chlores et les pertes d'ozone calculées.

## > SCÉNARIO CLIMATIQUE AVEC LE MODÈLE COUPLÉ ARPÈGE-OPA-GELATO

Suite à une proposition faite au Programme national d'étude de la dynamique du climat, le CNRM a entrepris de réaliser un scénario d'évolution des gaz à effet de serre prenant en compte leur effet possible sur l'ozone stratosphérique, en incluant la chimie homogène aussi bien que la chimie hétérogène, responsable de la formation du trou d'ozone via l'augmentation de la concentration du chlore.

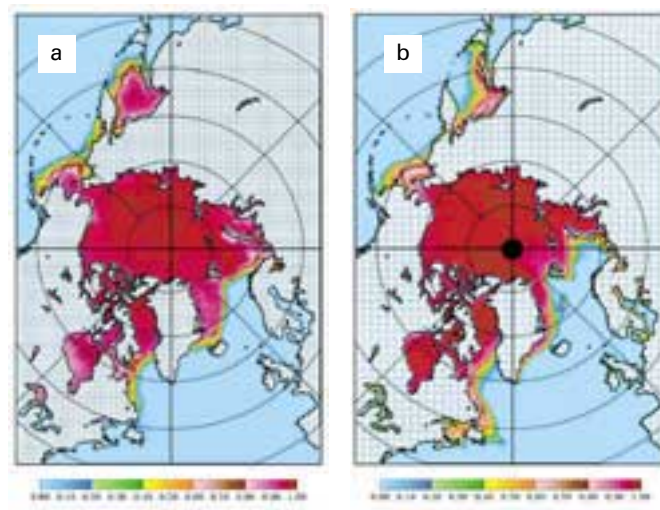
Le modèle atmosphérique est constitué de la nouvelle version d'Arpège-climat à 45 niveaux, à laquelle ont été ajoutées une paramétrisation simplifiée de la chimie hétérogène et une prise en compte des aérosols sulfatés. Le coupleur Oasis du Cerfacs assure l'échange d'informations avec le modèle d'océan OPA du Lodyc, dans lequel a été inclus le modèle de banquise Gelato.

Le scénario démarre à partir de 1950, date à laquelle la concentration du chlore atmosphérique est encore très faible. Le scénario inclut ensuite l'augmentation graduelle de la concentration du chlore et l'apparition du trou d'ozone en Antarctique au cours des années 70. La simulation de référence d'une centaine d'années, déjà entamée, repose sur les concentrations de 1950. La simulation du scénario utilise les valeurs observées pour les concentrations des divers gaz à effet de serre jusqu'à la période actuelle et couvrira la période allant jusqu'en 2050 avec des valeurs correspondant à un scénario du Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat (Giec), une spécification des émissions de chlore en accord avec le Protocole de Montréal et une prise en compte de l'évolution des aérosols sulfatés d'origine industrielle.

## > ÉVOLUTION DE LA BANQUISE DANS LA SIMULATION COUPLÉE ARPÈGE-OPA-GELATO

Les études du climat global ont longtemps été réalisées en utilisant simplement des modèles de circulation atmosphérique générale avec des surfaces terrestre et océanique prescrites. Les météorologistes ont pris conscience depuis de l'importance qu'il faut accorder à l'évolution de ces surfaces en fonction du comportement de l'atmosphère.

*La simulation couplée Arpège-OPA-Gelato (mise à l'équilibre) commence en janvier 1950. Au cours de la dixième année de simulation, les étendues de glace sont stabilisées dans les deux hémisphères : ici, l'on compare la couverture de banquise calculée pour mars 1959 (a) et une climatologie de cette même grandeur observée par satellite (b).*

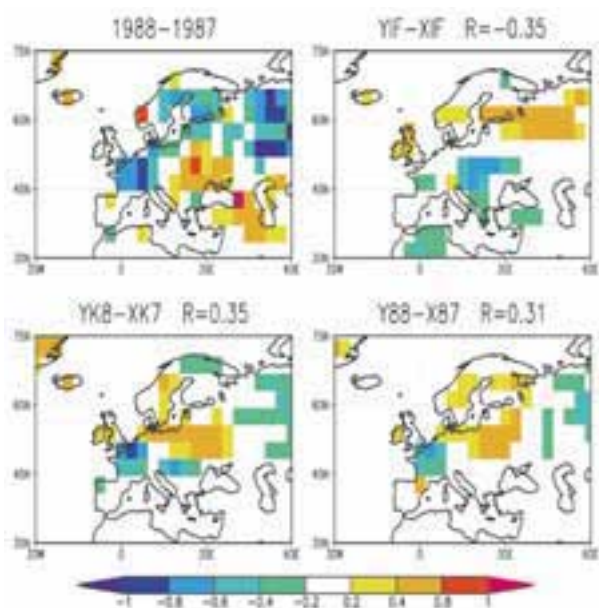


Dans un premier temps, des expériences couplées mettant en jeu des modèles d'océan et d'atmosphère ont permis de mieux comprendre les interactions entre ces deux milieux. Mais ces premières expériences ont également révélé la nécessité de prendre en compte notamment la banquise, tant ses propriétés physiques diffèrent d'une surface océanique non englacée.

Dans la pratique, l'introduction de la banquise dans le système couplé global océan-atmosphère, Arpège-Climat/Opa, s'est effectuée en deux étapes. Tout d'abord, le CNRM disposait déjà d'un modèle couplé global océan-banquise, Opa/Gelato, validé par de nombreuses expériences dont un exercice d'intercomparaison de modèles franco-belges. Ce modèle a été adapté, puis couplé avec le modèle Arpège. En 1999, une expérience couplée globale de 10 ans a été réalisée avec ce modèle et montre un comportement convenable de la banquise, même si des biais subsistent encore, notamment en ce qui concerne les températures simulées à la surface des océans.

## > IMPACT DE L'EAU DU SOL SUR LA VARIABILITÉ CLIMATIQUE INTERANNUELLE

Comprendre et si possible prévoir la variabilité climatique interannuelle est un enjeu scientifique majeur dont les retombées économiques sont évidentes. Ainsi, les précipitations sont particulièrement variables sous les tropiques, où les pluies se concentrent sur quelques mois qui sont déterminants pour la production agricole annuelle. Aux moyennes latitudes, par contre, la variabilité est moindre, mais la saison estivale voit parfois s'installer des sécheresses importantes dont les conséquences peuvent aussi être catastrophiques.



Différences de précipitations sur l'Europe de juin à septembre entre 1987 et 1988 :

- a) observations;
  - b) prévisions d'ensemble avec eau du sol initialisée à partir d'une simulation de contrôle et évoluant librement;
  - c) prévisions d'ensemble avec eau du sol initialisée avec la climatologie GSWP, puis relaxée vers la climatologie mensuelle GSWP (moyenne des années 87 et 88);
  - d) prévisions d'ensemble avec eau du sol initialisée avec la climatologie GSWP, puis relaxée vers la climatologie mensuelle GSWP de l'année (cas idéal où les anomalies d'eau du sol sont connues à l'avance).
- Toutes les expériences sont forcées par des températures de surface de la mer observées et correspondent à des ensembles de 6 prévisions.

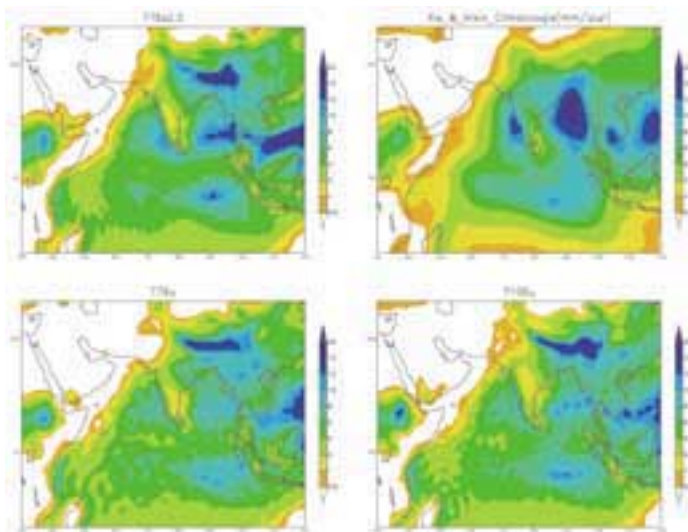
Prévoir de telles anomalies est le but de la prévision saisonnière. Cette prévision, basée sur des ensembles de simulations de 3 ou 4 mois, repose en partie sur l'hypothèse que l'atmosphère est influencée par les températures de surface de la mer dont l'évolution est suffisamment lente pour qu'elle puisse être prévue à quelques mois d'échéance. Si les anomalies de température de surface de la mer jouent effectivement un rôle majeur, notamment sous les tropiques, d'autres forçages basse fréquence peuvent a priori s'avérer importants. C'est notamment le cas des anomalies d'eau du sol. Celles-ci ont pu être estimées sur la période 1987-1988 en forçant le schéma de surface Isba par des flux atmosphériques observés et des analyses météorologiques dans le cadre du projet GSWP. La figure ci-dessus montre que les anomalies d'eau du sol ainsi obtenues sont déterminantes pour expliquer les différences de précipitations observées sur l'Europe entre les étés 1987 et 1988.

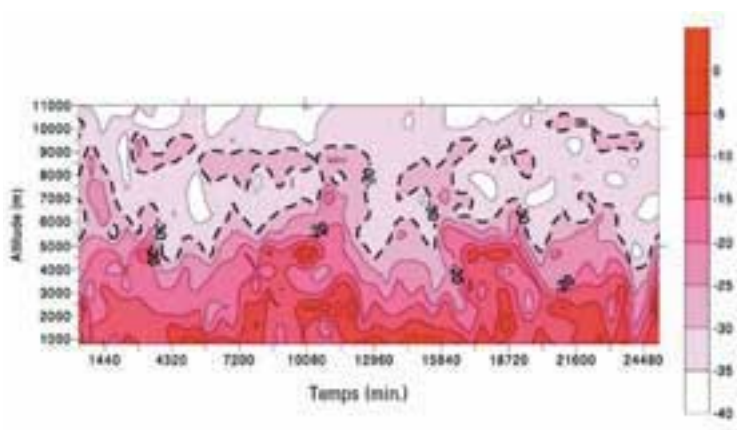
*Champ de précipitation moyen en juin-juillet-août (mm/jour) simulé par la version maille variable du modèle Arpège-Climat avec pôle d'étiement sur l'Océan Indien (en haut à gauche), comparé à la climatologie de Xie et Arkin (en haut à droite) et aux simulations de modèles à résolution uniforme de 170 km (en bas à gauche) et de 125 km (en bas à droite).*

de la grille) et d'utiliser une représentation plus détaillée des caractéristiques de la surface (topographie, propriétés physiques des sols, végétation). Des simulations avec le pôle d'étiement dans le Golfe du Bengale ont permis une représentation plus fine des dépressions de mousson et du champ de précipitation sur l'Inde (figure). La version avec pôle d'étiement sur l'Afrique de l'Ouest (12,5 °N, 2,5 °E) est actuellement validée dans des études sur la mousson africaine, les ondes d'est, et leur sensibilité aux températures de l'océan, entreprises dans le cadre du projet européen Wamp. Cette version sera ensuite utilisée pour l'étude de l'impact de changement de végétation sur l'Afrique dans les scénarios climatiques dans le cadre du projet Promise, sur la prévision et la variabilité des moussons et les impacts hydrologiques et agricoles d'un changement climatique dans cette zone.

## > SIMULATION DE LA MOUSSON AVEC LE MODÈLE ARPÈGE-CLIMAT À MAILLE VARIABLE

La possibilité d'augmenter la résolution sur une région particulière grâce à l'option grille étirée du modèle Arpège-Climat a été appliquée à deux régions tropicales, pour la simulation et l'étude des moussons indienne et africaine. Une version utilisant une maille de 170 km et un facteur d'étiement de 2,5 a donné des résultats très satisfaisants en permettant de préserver une bonne qualité du climat global (grâce à une résolution minimale supérieure à 420 km, et une résolution maximale atteignant 70 km au pôle de dilatation





Réflectivité du mini-sodar du LSEET testé à Dumont d'Urville pendant la campagne d'été 1997-1998. Le mini-sodar a fonctionné de manière continue pendant 17 jours avec une résolution de 1 heure. On peut situer sur cette figure la tropopause qui correspond à un minimum de réflectivité entre 8000 m et 9000 m d'altitude.

## > ACTIVITÉS EN ANTARCTIQUE

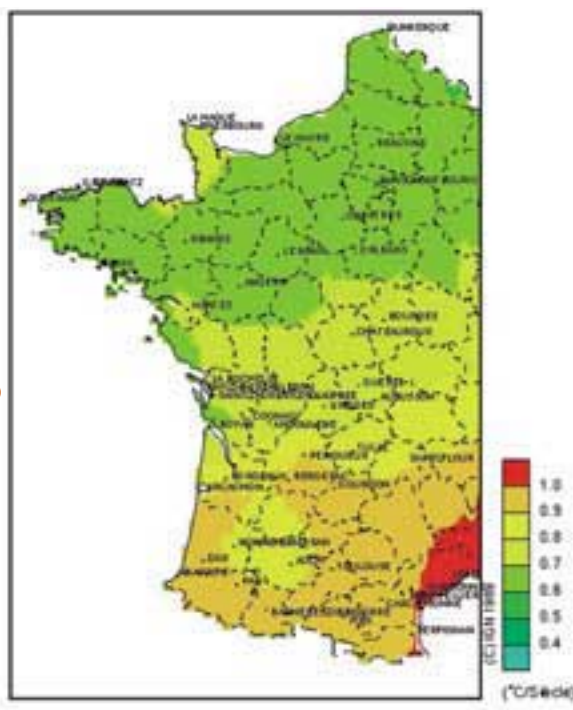
Météo-France mène des activités scientifiques en Antarctique afin de mieux comprendre la relation entre le climat de la planète et celui de l'Antarctique. Dans ce cadre, le CNRM contribue à la réalisation et à la validation de modèles couplés océan-glace-atmosphère de simulation du climat : d'une part, en fournissant des jeux de mesures permettant d'améliorer la paramétrisation de la couche limite sur le haut plateau antarctique, dont la station Dôme C est représentative ; d'autre part, en documentant les circulations secondaires induites par les vents catabatiques s'écoulant du Dôme C vers les côtes de Terre Adélie.

La phase préliminaire s'est poursuivie en 1999 afin de procéder à la définition, au développement et à l'automatisation des instruments nécessaires sur le haut plateau antarctique. On souhaite mesurer les flux dans la couche de surface, les précipitations et l'accumulation de neige, les propriétés de la couche limite atmosphérique, les profils de vent et de température dans la troposphère moyenne et les processus de transport de l'air du haut plateau vers la côte antarctique. Une période d'au moins trois ans de fonctionnement du réseau en routine sera nécessaire pour tenir compte de la forte variabilité d'une année à l'autre dans la région. Cependant les données recueillies à la station Dôme C serviront dès la première année à mettre au point de nouvelles paramétrisations.

Tendances calculées sur la période 1899-1998 à partir des séries homogénéisées de température moyenne. La hausse mise en évidence varie de 0,6 °C à 1 °C par siècle du nord au sud.

## > LONGUES SÉRIES DE DONNÉES ET ÉVOLUTION DU CLIMAT

Au Scem, l'année 1999 a vu la mise en application des méthodes développées antérieurement pour homogénéiser de longues séries de données climatiques. C'est ainsi qu'une cinquantaine de séries pluviométriques centenaires ont été homogénéisées sur diverses régions de la métropole (Ile-de-France, Basse-Normandie, Gironde, Lot). Parallèlement, une vingtaine de longues séries de températures concernant la moitié ouest de la France ont subi un traitement analogue. Une première analyse des séries homogénéisées sur le siècle écoulé semble faire apparaître une augmentation des précipitations hivernales ainsi qu'une hausse des températures, cette dernière étant plus marquée sur les régions méridionales.



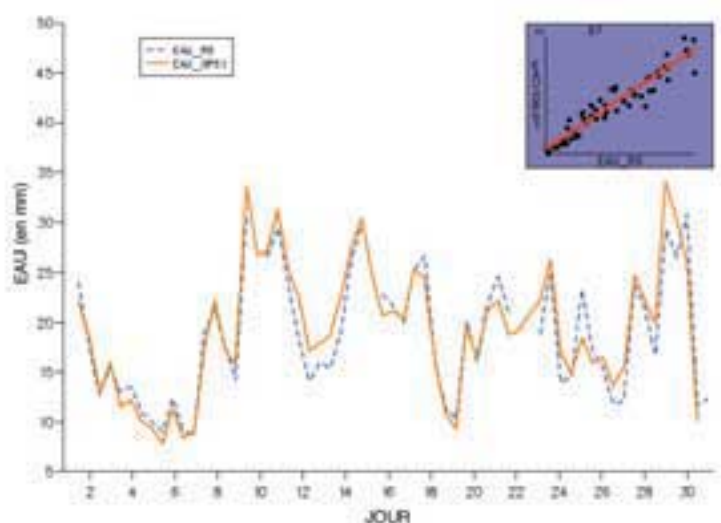
# DÉVELOPPEMENTS INSTRUMENTAUX

*L'activité de développement instrumental de Météo-France se répartit entre le CNRM et la DSO. Pour 1999, on peut sans doute mettre en avant l'activité radar (radars précipitations, radars Doppler, profileurs de vent), qui s'est notamment concrétisée durant l'expérience MAP.*

## > LES PROFILEURS DE VENT

Côté CNRM, le radar UHF, livré par la société Degréane début septembre 1999, a été utilisé pendant la campagne MAP. Émettant à 1 274 MHz, ce profileur basses couches est doté de cinq faisceaux d'antennes. La portée en altitude dépend de la situation météorologique : elle peut atteindre 9 km dans certains cas de situation perturbée pour descendre à 3 km lorsque le temps est très calme. La résolution temporelle est de l'ordre de quelques minutes. Aisé-ment transportable grâce à ses antennes sur remorque, ce profileur peut se déployer en moins d'une demi-heure. Dès son installation sur le site de Lonate Pozzolo (Italie), l'instrument a fourni de manière automatique des profils de vent exploitables dans les basses couches de l'atmosphère, avec un taux de mesures réussies atteignant près de 98 % sur l'ensemble des périodes d'observation intensive.

Côté DSO, le profileur troposphérique de La Ferté-Vidame a fait l'objet de nombreuses évolutions, en particulier la remise à niveau du système d'exploitation et de transmission et, suite aux résultats d'une campagne de mesures, la rotation de 45 degrés des antennes afin de réduire l'influence du faisceau parasite responsable de certaines mesures erronées. L'ensemble de ces opérations doit déboucher, début 2000, sur une campagne de validation opérationnelle de l'instrument par le Scem.



*Hauteur d'eau précipitable, au cours du mois d'octobre 1999, calculée à partir du radiosondage de Brest (trait bleu) et extraite des données de la station GPS voisine (trait orange); en médaillon : diagramme de régression entre les deux méthodes.*

## > LE GPS EMPLOYÉ POUR MESURER LA VAPEUR D'EAU ATMOSPHÉRIQUE

Le système de localisation GPS repose sur la mesure des temps de transit d'une onde électromagnétique entre des satellites et l'objet que l'on cherche à positionner. Comme l'onde utilisée se situe dans le domaine des micro-ondes, elle est retardée par la vapeur d'eau atmosphérique présente sur le trajet entre l'objet et le satellite, ce qui perturbe un peu le positionnement d'un objet.

En météorologie, l'idée est venue assez naturellement de tirer parti de cette perturbation pour mesurer la vapeur d'eau atmosphérique. On utilise une balise au sol dont on connaît exactement la position ; on peut ainsi relier la perturbation sur le positionnement de cette balise par le GPS à la quantité totale de vapeur d'eau au-dessus de cette balise.

En collaboration avec l'université de Montpellier, le CNRM a entrepris de valider cette technique sur deux sites, Brest et Saint-Jean-des-Vignes, choisis pour la proximité d'une station de radiosondage fournissant une mesure indépendante de la vapeur d'eau atmo-



*Vue des antennes du radar UHF du CNRM.*

sphérique. Des stations météorologiques ont été couplées aux balises GPS pour éliminer les composantes de la perturbation non imputables à la vapeur d'eau. Depuis le mois de juillet 1999, la comparaison systématique des mesures de "l'eau précipitable" par radio-sondage et par GPS a permis de qualifier la nouvelle technique et d'estimer son incertitude à 3 mm environ.

### > UNE DEUXIÈME GÉNÉRATION DE MESURES DES TOURBILLONS DE SILLAGE DES AVIONS SUR L'AÉROPORT DE TOULOUSE-BLAGNAC

Il y a au moins deux bonnes raisons de s'intéresser aux tourbillons de sillage des avions : d'une part, l'augmentation incessante du nombre de mouvements sur les grands aéroports impose une optimisation des espacements entre les atterrissages tout en maintenant une parfaite sécurité, et d'autre part les projets de construction d'avions à grande capacité (ex. : A3XX) imposent de maîtriser l'effet de ces monstres volants sur leurs suiveurs de taille plus modeste.

À l'initiative du STNA, du Cerfacs et de Météo-France, le programme Syage a été mis sur pied. Pendant deux ans, sept anémomètres ont mesuré, de façon continue, la signature sur le vent horizontal des structures générées par le passage des aéronefs sur une piste de l'aéroport de Toulouse-Blagnac.

Au cours de l'année 1999, le dispositif expérimental initial a été complètement renouvelé par le CNRM, de façon à constituer une nouvelle banque de données plus complète et de meilleure qualité. Les anémomètres "classiques" ont été remplacés par des capteurs ultrasoniques mesurant les trois composantes du vent (et en particulier, la vitesse verticale qui faisait défaut auparavant). Un microphone directionnel permet de dater précisément les survols d'aéronefs. Par ailleurs, la cadence d'acquisition a été portée à 4 valeurs par seconde, ce qui permet de mieux aborder les échelles de turbulence. Enfin, un enregistrement simultané de la température et de ses fluctuations permettra de relier le cycle de vie des tourbillons à la stabilité atmosphérique.

Le système d'acquisition, de stockage et de traitement "temps-réel" a été complètement refait, et permet en particulier une surveillance à distance du fonctionnement des différents capteurs. Parallèlement, l'exploitation des données a commencé en partenariat avec le Cerfacs.



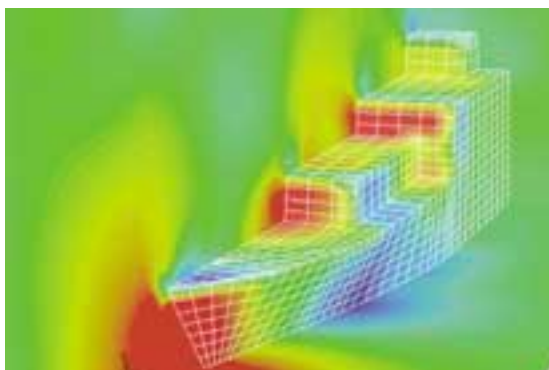
*Photo du site instrumenté du projet Syage sur l'aéroport de Blagnac.*

### > UN NOUVEAU PROGRAMME EUROPÉEN D'ÉTUDES DE L'INFLUENCE DES AÉROSOLS SUR LE CLIMAT

Le CNRM a été retenu fin 1999 par l'Union Européenne pour coordonner un important travail sur l'effet des aérosols sur les changements climatiques, appelé Pace. Ce projet réunit quatre partenaires du projet Cloudy-Column (CNRM, Universités de Varsovie, de Berlin et du Wyoming) et 5 modélistes du climat (Max Planck Institute, Hadley Centre, NASA-GISS, NASA-PNNL et l'Université de Dalhousie), qui vont tester les paramétrisations proposées dans des versions 1-D des modèles de climat. Le rôle des expérimentateurs sera d'extrapoler les résultats de l'expérience Cloudy-Column à l'échelle d'un modèle de climat (100 km) afin d'identifier les variables déterminantes à cette échelle pour l'effet indirect des aérosols, tandis que les modélistes établiront le niveau de prédictibilité de ces variables. La grande variété de modèles utilisés et de leurs physiques permettra, avec des paramétrisations plus réalistes de l'effet indirect des aérosols, de réduire la marge d'incertitude sur la contribution des nuages au changement climatique.

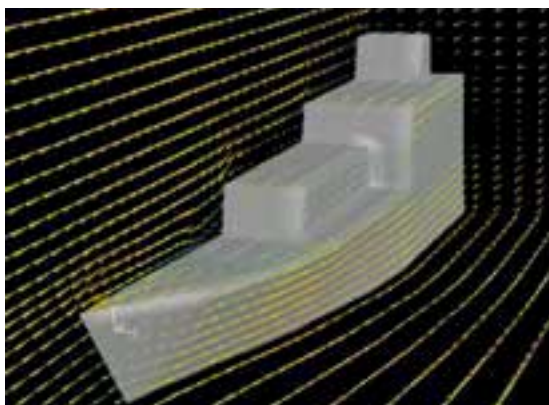
### > UNE NOUVELLE MÉTHODE POUR OPTIMISER L'INSTALLATION DE CAPTEURS MÉTÉOROLOGIQUES

Pendant l'expérience Fetch 1998, le navire océanographique L'Atalante de l'Ifremer avait été équipé par le CNRM d'un pylône météorologique spécifique portant les capteurs nécessaires pour étudier la couche limite marine. En 1999, à la demande du CETP/Vélizy, le CAM a réalisé une simulation numérique des per-



turbations et des erreurs engendrées par les superstructures de l'Atalante sur les mesures atmosphériques issues des capteurs installés sur le pylône instrumenté de ce navire.

Cette étude repose sur la modélisation tridimensionnelle des écoulements aérodynamiques externes autour du navire afin d'accéder à la connaissance des perturbations subies au niveau de chaque capteur. Pour ce faire, une digitalisation de la forme du navire réduit à une demie coque bâbord a été réalisée et on a adopté un maillage de type structuré, entièrement composé d'hexaèdres. Dans le cadre de l'expérience Fetch, la vitesse de l'écoulement aérodynamique autour du navire était comprise entre 10 et 15 m.s<sup>-1</sup>. Après avoir déterminé les corps et les parois rigides (coque, surface de la mer...) autour desquels se déforme l'écoulement, le calcul a été initialisé en déterminant les caractéristiques dynamiques, thermodynamiques et chimiques du fluide numérique qui entre, sort ou chemine sur les autres parois aux limites du domaine.



La représentation des champs calculés du vecteur vitesse de l'écoulement permet de bien localiser les déformations. On voit ainsi les zones où l'écoulement est totalement identique à celui qui existe en amont du navire. Dans d'autres zones, la mesure faite par les capteurs doit être corrigée de la valeur réelle du coefficient de pression

*Maillage de la coque et modélisation des coefficients de pression autour du navire océanographique l'Atalante de l'Ifremer lors de la campagne Fetch. Le navire est face à un vent relatif de 15 m/s. Les zones de surpression sont colorées en rouge, les zones de dépression apparaissent en bleu. La vague d'étrave et l'effet du brise-lame avant sont très bien pris en compte par le modèle numérique.*

*Carte des groupes d'action du Data Buoy Cooperation Panel (DBCP), groupe de coopération pour les programmes de bouées de mesure dans le monde.*

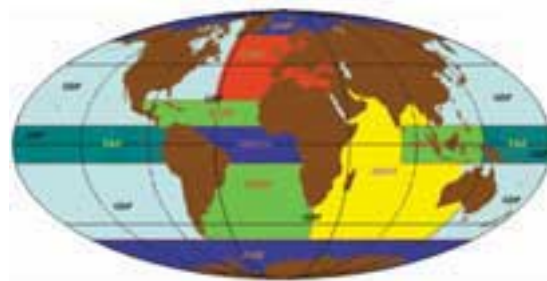
*Modélisation de la déformation de la vitesse de l'écoulement autour des superstructures du navire océanographique l'Atalante de l'Ifremer lors de la campagne Fetch. Une composante verticale est induite à plusieurs mètres au-dessus des ponts du navire.*

calculée par le modèle. La composante verticale de la vitesse du fluide, intéresse également beaucoup les utilisateurs des données mesurées par les capteurs.

## > L'ORGANISATION DES MESURES EN MER

Le Data Buoy Cooperation Panel (DBCP), groupe de coopération pour les programmes de bouées de mesure créé en 1985, est un organisme officiel mixte relevant de l'OMM et de la Commission Océanographique Intergouvernementale de l'Unesco. Il a pour mission d'augmenter la quantité et la qualité des données océaniques et atmosphériques mesurées par des bouées

La plupart des travaux du DBCP sont accomplis par des groupes d'action. Chaque groupe exploite un programme d'observation par bouées qui fournit des données en temps réel. Les groupes actuels sont : le groupe européen pour les stations océaniques (Egos) et le programme international de bouées dans l'Océan Indien (Ibpio) dont Météo-France assure aussi la coordination ; le programme international de bouées de l'Arctique ; le programme international de bouées de l'Antarctique ; le programme international de bouées de l'Atlantique Sud ; le programme mondial de flotteurs



lagrangiens de surface et le groupe d'experts de la mise en œuvre du réseau d'observation océan-atmosphère dans les mers tropicales du Pacifique.

Les groupes d'action, indépendants et autofinancés, ont pour mandat de fournir aux usagers des données de qualité, de transmettre les données en temps réel sur le système mondial de transmissions météorologiques, d'échanger des informations sur les activités relatives aux bouées de mesure, de mettre au point de nouvelles techniques de mesure et d'assurer le transfert technologique.

Chaque année, les réunions du DBCP sont l'occasion d'examiner la mise en œuvre des programmes et d'organiser des ateliers techniques et scientifiques. Dans ces réunions, Météo-France est représenté par son Centre de Météorologie Marine.

### > TROIS NOUVELLES BOUÉES ANCRÉES

Aux bouées *Brittany* et *Gascogne* ancrées dans le proche Atlantique dans le cadre d'une coopération avec le Met. Office britannique, sont venues s'ajouter en 1999 trois nouvelles bouées ancrées mises en œuvre par Météo-France : *Antilles 1* et *Antilles 2* au large de la Guadeloupe et de la Martinique, *Côte d'Azur* en Méditerranée au large de Nice. Grâce à l'aide du Shom et de la Marine nationale, les deux premières ont été ancrées les 21 et 22 février 1999, la troisième le 16 mars 1999.

Il s'agit de structures flottantes pesant 3 700 kg et mesurant 2,8 m de diamètre et 6 m de haut. La ligne d'ancrage a une longueur comprise entre 2 300 m et 5 500 m suivant les cas. Chaque bouée est équipée de deux stations météorologiques indépendantes, qui mesurent la température et l'humidité de l'air, le vent (vitesse et direction) et la pression atmosphérique. La bouée mesure également la hauteur et la période de la houle et est localisée au moyen de deux récepteurs GPS et d'une balise Argos.

Toutes les heures, chaque bouée effectue ses mesures et transmet les résultats via *Météosat*. Les messages correspondants servent en premier lieu aux prévisionnistes régionaux (surveillance cyclonique aux Antilles, sécurité du trafic maritime en Méditerranée). Mais ils viennent également enrichir l'échange mondial de données, dans le cadre de la Veille météorologique mondiale. Plus de 12 000 observations aux Antilles et environ 5 000 en Méditerranée ont ainsi transité en 1999 sur le Système mondial de télécommunications météorologiques.

### > LES BOUÉES DÉRIVANTES

Météo-France déploie régulièrement des bouées dérivantes dans l'Atlantique Nord dans le cadre du groupe européen Egos ou lors d'expériences scientifiques comme le Hurricane Tropical Array en 1999.

Ces bouées mesurent la pression atmosphérique, la température de surface de la mer, et pour certaines le vent et la température de la mer en profondeur. Le système Argos est utilisé pour leur localisation et la transmission de leurs données.

Vingt-deux bouées ont été mises à l'eau dans l'Atlantique nord pour Egos en 1999, dont quatorze sont encore en mer à la fin de l'année. Par ailleurs, une vingtaine de flotteurs Svp, dont deux de Météo-France, ont été largués par avion au cours de l'été dans l'Atlantique tropical pour la surveillance des cyclones.

Bouées avant mouillage.



Parallèlement, dix nouveaux flotteurs Svp ont été mis en mer dans l'Océan Indien, dans le cadre du Programme International de Bouées dans l'Océan Indien (Ibpio) dont la coordination est assurée par Météo-France. À la fin de 1999, il restait au total quinze bouées de Météo-France en opération dans ce réseau.

Enfin, Météo-France a été sollicité par la préfecture maritime pour effectuer un suivi in situ de la nappe de pétrole de l'*Erika*. Pour ce faire, deux bouées, une Marisonde G pour avoir la mesure du vent et un flotteur SVP-B pour suivre les courants, ont été mises en mer le 18 décembre par 46.4°N et 3.2°W. La Marisonde G s'est échouée le 26 décembre sur l'île de Noirmoutier avec la marée noire.

Trajectoires des bouées dérivantes.



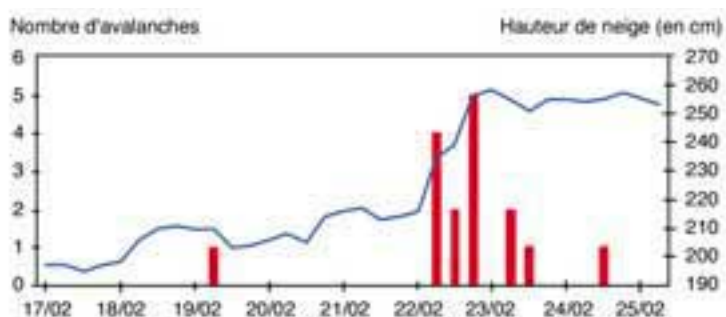
# TRANSFERTS ET ÉTUDES appliquées

*Service public en prise directe avec les besoins, très divers, exigeants et parfois vitaux, de la société, Météo-France se doit de "finaliser" sa recherche, et le transfert des acquis de cette recherche vers l'opérationnel y est une "ardente obligation". Celui-ci est quotidien pour les équipes de chercheurs positionnées par destination à l'amont immédiat des opérationnels; il se fait également naturellement, en raison de leur expertise, par la participation de chercheurs à des projets appliqués; il peut enfin être organisé plus formellement à travers l'animation d'un réseau interne créé à cette fin.*

## > SUIVI DE L'ACTIVITÉ AVALANCHEUSE PAR DÉTECTION SISMIQUE

La connaissance de l'activité avalancheuse sur un massif repose actuellement sur l'observation humaine. Mais, fortement dépendante des conditions atmosphériques et de la visibilité, elle reste incomplète et approximative. Pour combler cette lacune, Météo-France a mis au point un système de détection sismique des avalanches qui fournit, à distance et en très léger différé, des informations objectives sur l'activité avalancheuse d'un secteur d'un massif montagneux ainsi que sur l'importance et la localisation probable de ces avalanches. Ce système autonome repose sur une balise sismique développée par la société Leas, un capteur sismique à trois composantes et une transmission horaire vers le CEN par liaison Météosat. Les signaux enregistrés sont analysés localement par un logiciel de reconnaissance développé par Météo-France, qui permet de distinguer automatiquement les signaux d'origine avalancheuse des autres (séismes, bruits de pas ou d'hélicoptère, tirs, etc.).

*Période du 17 au 25 février 1999 : nombre d'avalanches détectées par le système de Détection Sismique des Avalanches (DSA) de Météo-France dans le secteur de St Christophe en Oisans (sur des pas de temps de trois heures, les avalanches portées à 12 h ont été enregistrées entre 6 et 12 h), et évolutions d'épaisseur du manteau neigeux en altitude, d'après les mesures des stations Nivôse les plus proches de ce secteur.*



Le système installé depuis plusieurs hivers près de St-Christophe-en-Oisans (Isère), à 1 700 m d'altitude, détecte les avalanches qui se produisent dans ce secteur du massif de l'Oisans, dans un rayon de 4 à 8 km, selon leur importance. Bien qu'encore expérimental, il a fonctionné durant l'hiver 1998-1999 dans un cadre pré-opérationnel, apportant ainsi des informations

*Champ de perches du site de La Muzelle. Au premier plan, un détecteur acoustique de transport de neige par le vent.*

complémentaires et utiles à la prévision du risque d'avalanches. Il a notamment permis aux prévisionnistes de suivre les débuts et fins des "crues" avalanches sur ce secteur, comme par exemple lors des périodes perturbées de janvier et février 1999, peu propices aux observations humaines.

## > UNE ÉTUDE SUR LA RÉPARTITION DU MANTEAU NEIGEUX

Soutenu par un financement de la région Rhône-Alpes, dans le cadre du XI<sup>e</sup> contrat de plan Etat-Région, Météo-France étudie la modélisation du vent et du transport de neige sur un relief complexe, en partenariat avec la division "Érosion torrentielle, neige et avalanches" du Cemagref de Grenoble. En effet, le déplacement de neige dû au vent pose de nombreux problèmes, en altitude, avec la formation de corniches et de plaques à vent, comme sur les plateaux, avec la formation de congères. Pour valider cette approche, l'équipement du site expérimental du Col du Lac Blanc, situé à 2 700 m dans le massif des Grandes Rousses, a été complété par des perches à neige, des détecteurs acoustiques de transport et des mesures de vitesse et de direction du vent sur deux zones test.



Le CEN étudie plusieurs voies pour la modélisation du vent à échelle fine : adaptation des sorties d'Arpège à un relief détaillé, défini sur une grille horizontale de maille 1 km, et utilisation de Méso-NH, au moyen de modèles emboîtés jusqu'à une résolution d'environ 200 m, sur quelques cas types. Par ailleurs, des modifications ont été apportées au modèle Crocus afin de mieux simuler les effets du vent.

## > RÉUNION DES SERVICES EUROPÉENS DE PRÉVISION DU RISQUE D'AVALANCHE

Cette réunion s'est tenue à Chamonix les 2 et 3 juin 1999 avec la participation de onze pays : Allemagne, Autriche, Écosse, Espagne, Italie, France, Norvège, Pologne, Slovaquie, Slovénie, Suisse. Elle a porté sur l'utilisation et l'interprétation de l'échelle européenne de risque d'avalanche, l'harmonisation des méthodes de mesures et échanges de données entre services, et la diffusion de l'information avalanches sur internet dans le cadre d'un projet européen.

La question de l'harmonisation de l'utilisation de l'échelle de risque d'avalanches par les différents pays a été abordée. Un groupe de travail a été créé pour réexaminer les définitions de certains critères et en limiter la marge d'interprétation. Les premières conclusions seront disponibles avant l'hiver prochain.

La présentation par chaque pays des méthodes et protocoles utilisés a montré que, pour les échanges de données, seule une coopération bilatérale entre pays riverains peut être envisagée.

Pour ce qui concerne la diffusion sur internet des risques d'avalanche, un projet a été confié il y a deux ans à l'Autriche pour mettre en place une carte de l'arc alpin sur laquelle doivent figurer les indices de risque donnés par chaque pays avec un lien vers les bulletins complets. Le projet présenté pose divers problèmes techniques et doit faire l'objet de renégociations.

Au cours de la deuxième journée, ouverte aux services de Météo-France et à nos partenaires de la montagne, les situations avalancheuses de février 1999 dans l'arc alpin ont fait l'objet d'exposés. La présentation par chaque pays de ses informations locales "neige et avalanche" a montré une grande diversité d'approches selon les pays du point de vue de l'utilisation des techniques internet. La prochaine réunion plénière est prévue dans 2 ans en Italie.

*Le radar Spol au cours de l'expérience MAP en Italie à l'automne 1999.*



## > LE PROGRAMME GIVRAGE

Le programme Givrage de Météo-France vise la détection des conditions de givrage important qui ont été à l'origine de récents accidents aériens, lors des phases de décollage ou d'attente avant atterrissage. Il a donc pour but la détermination du risque à proximité des aéroports, en s'appuyant sur des mesures par radar couplées à d'autres observations météorologiques.

Les radars Doppler à double polarisation identifient la nature des particules nuageuses, notamment les plus grosses gouttelettes d'eau liquide, à l'origine du phénomène de givrage. Lorsque sont observées des régions où la température est comprise entre -5 et -15 °C, le risque de givrage devient significatif. La zone d'approche d'un aéroport, dans un rayon de 80 à 100 km, peut être couverte par un radar de longueur d'onde centimétrique.

Pour tester le système d'identification du CNRM pour les zones à risque, une base de données radar et de mesures in situ était nécessaire. Pendant l'expérience MAP, deux radars centimétriques ont été mis en œuvre : le Spol du Ncar (États-Unis) et le Ronsard de l'IPSL. Le radar Spol disposait déjà d'un algorithme d'identification des types de particules qui a fonctionné pendant l'expérience. Le radar français Ronsard servira, principalement en 2001, à la validation de la méthode, après implantation de la double pola-

risation. L'avion *Merlin IV* de Météo-France, équipé de sondes microphysiques pour l'identification du type de particules, a volé dans le champ de ces deux radars. La base de données obtenue est très variée : pluie, gouttelettes, cristaux en colonnes et en étoiles, flocons, grêle. Ces données seront utilisées pour évaluer l'algorithme du radar Spol et pour définir celui qui sera implanté dans le Ronsard.

## > IMPACT D'UN CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR L'HYDROLOGIE DU BASSIN VERSANT DU RHÔNE

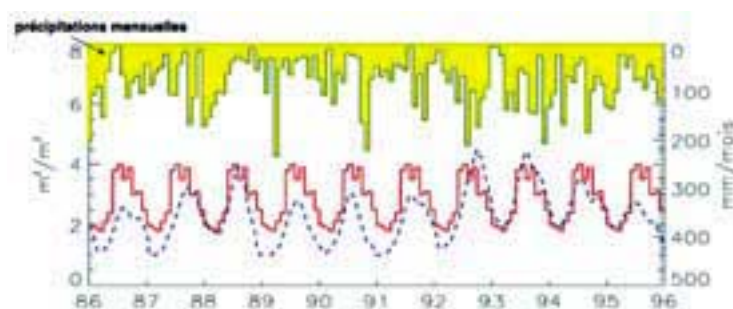
Dans le cadre du programme Gewex-Rhône, les interactions entre les grandes composantes hydrométéorologiques du bassin versant du Rhône ont été modélisées : flux de surface et contenu en eau des sols, à l'aide du schéma de surface Isba ; évolution du manteau neigeux, par le modèle Crocus ; débit des rivières et échanges avec la nappe phréatique, par le modèle hydrologique Modcou. Les résultats obtenus pour les années 1981-1994 ont été validés par comparaison avec les mesures quotidiennes de débits de 145 stations hydrographiques et les mesures quotidiennes de hauteur de neige de 24 quatre postes nivo-météorologiques alpins.

Cet outil a été utilisé pour évaluer l'impact d'un réchauffement climatique, dû au doublement du taux de CO<sub>2</sub> atmosphérique, sur les ressources en eau du bassin versant. La réponse des différents sous-bassins aux perturbations de la température de l'air et des précipitations est très contrastée. Le débit des

rivières du nord (Saône, Doubs, Ain) augmente sensiblement l'hiver, tandis que celui des rivières du sud (Durance, Ardèche) tend à se réduire au printemps et en été. La couverture neigeuse est la composante hydrique la plus sensible au réchauffement, avec une nette réduction en dessous de 2000 m. Les épisodes de sécheresse sont très marqués sur les bassins de l'Ardèche et de la basse Durance, soumis à l'effet conjugué de la baisse des précipitations et de l'augmentation de l'évaporation.

## > UNE NOUVELLE PARAMÉTRISATION DE LA VÉGÉTATION POUR SIMULER L'HYDROLOGIE DU BASSIN DE L'ADOUR

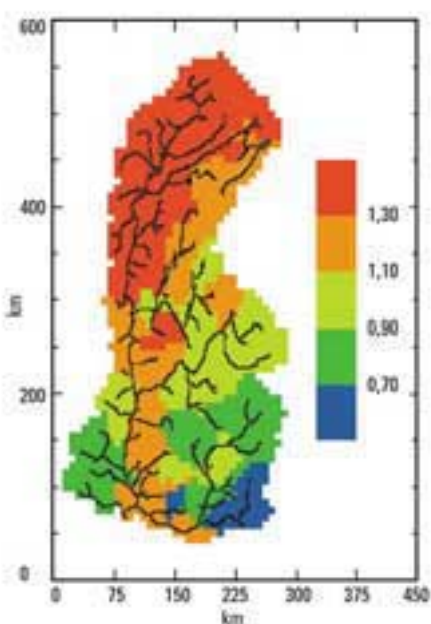
Dans le but d'intégrer l'évolution de la végétation dans le schéma Isba, un module d'assimilation du CO<sub>2</sub> atmosphérique par les plantes a été développé. Il décrit de manière réaliste le fonctionnement des stomates à partir de la photosynthèse, qui dépend des propriétés physiologiques des espèces végétales mais aussi des conditions environnementales. Il simule aussi, d'après le calcul de l'assimilation du CO<sub>2</sub>, la croissance et la sénescence des plantes.



Évolution de l'indice foliaire, LAI dans la simulation Isba standard (en rouge) et dans la simulation par le nouveau modèle Isba-AGS du CNRM (en bleu) en réponse à la variabilité des précipitations sur 10 ans.

Ce modèle, appelé Isba-AGS, reproduit l'évolution au cours du temps du couvert végétal en fonction des conditions climatiques réelles. Il a été appliqué à l'échelle régionale du bassin versant de l'Adour. Une simulation de dix années (1986-1995) a mis en évidence, pour la forêt, une forte sensibilité de l'indice foliaire aux variations de la hauteur de précipitations d'une année à l'autre. De plus, l'indice foliaire simulé par Isba-AGS est globalement plus faible que celui que le CNRM utilisait précédemment, ce qui engendre par conséquent une évaporation annuelle plus faible de 10 % à 15 %.

Au final, le couplage du modèle Isba-AGS avec le modèle hydrologique Modcou donne des résultats meilleurs pour les débits sur les bassins forestiers et une légère surestimation des débits sur les bassins cultivés, en période hivernale.



Rapport des débits annuels moyens sur le bassin du Rhône (moyennes sur 14 ans) dans le cadre d'un scénario climatique avec doublement de la quantité de dioxyde de carbone et pour le climat actuel.

## > LA CAMPAGNE ESQUIF D'ÉTUDE DE LA POLLUTION URBAINE

Le Centre d'aviation météorologique s'est particulièrement impliqué dans les programmes liés aux problèmes de pollution urbaine, au travers des campagnes Esquif et Ramces. Il a aussi entrepris, en collaboration avec le Laboratoire d'aérologie, l'adaptation d'un analyseur de CO aux conditions difficiles de la mesure aéroportée.

Le projet Esquif lancé en 1998 par l'IPSL, et auquel participent le Lisa, Airparif, Météo-France et le Laboratoire d'aérologie s'est poursuivi en 1999. Son objectif est d'étudier, au cours des épisodes de pollution urbaine, l'interaction entre les différentes échelles, locale et régionale, dans le but de mieux comprendre les causes des épisodes de pollution photochimique en Ile-de-France. La campagne s'est déroulée du 15 juin au 30 juillet, avec un prolongement en octobre. Neuf périodes d'observation intensives ont été documentées. Le dispositif expérimental comportait un ensemble de mesures au sol disposées sur trois sites, Paris, Créteil et Palaiseau-Saclay, et des mesures aéroportées avec le *Piper Arrow* mis en œuvre par le LSCE, l'avion *Arat* mis en œuvre par l'In-su et les avions de Météo-France. La base de données regroupant les deux années de mesures est en cours de constitution.

## > ÉTUDE FINE DE L'INTERFACE NEIGE-CHAUSSÉE

Le projet Gelcro, dont les principaux partenaires sont le Laboratoire central des ponts et chaussées, le CETE de l'Est, la DDE de l'Isère et Météo-France, s'intéresse à la caractérisation des propriétés thermiques de l'interface neige-chaussée, pour la mise au point d'un modèle d'évolution de la neige déposée sur une chaussée. Cette interface est difficile à appréhender et une mesure directe de ses propriétés thermiques n'est pas envisageable.

Un protocole de prélèvement d'échantillons neige-chaussée sur le site expérimental du Col de Porte a donc été mis au point. Il permet de préserver intacte la microstructure de la neige au voisinage de la chaussée.



*Présentation au salon du Bourget de la campagne Esquif d'étude de simulation de la qualité de l'air en Ile-de-France.*

sée. Une méthode de coupe adaptée à l'analyse des échantillons a été développée. Les images produites à l'issue de la coupe permettent de décrire finement les caractéristiques morphologiques de la structure neige/chaussée, et d'en déduire à partir d'un calcul de champ de température les propriétés thermiques de l'interface.

Cette méthode a permis de distinguer trois grands types de structures neige-chaussée, caractéristiques de types de neige et d'états de surface (température, humidité) de la chaussée différents. À l'issue de l'analyse d'images et des calculs, il s'avère que seuls les cas de neige sèche déposée sur une chaussée sèche et froide présentent une résistance thermique significative entre les deux matériaux. Ces résultats vont être intégrés dans le modèle Gelcro via une paramétrisation de la conductivité thermique à l'interface.

## > ASSISTANCE MÉTÉOROLOGIQUE À LA CONSTRUCTION DU VIADUC DE VERRIÈRES

Le projet du contournement de Millau par l'autoroute A75 nécessite la construction d'un viaduc pour traverser un affluent du Tarn au niveau du village de Verrières. L'ouvrage d'art, long de 720 m, surplombera, d'une hauteur de 150 m, une vallée encaissée. La mise en place de ce viaduc et son exploitation nécessitent la connaissance des conditions de vent sur le site et notamment l'angle d'incidence du vent par rapport au tablier pour appréhender des risques d'instabilité de la structure.

À la demande de l'Arrondissement interdépartemental des ouvrages d'art, le CNRM a été chargé de simuler

*Image reconstruite d'une section neige-chaussée dans le cas de neige humide sur chaussée mouillée.*



des écoulements suivant deux directions critiques du vent. La simulation a été entreprise dans la grande veine hydraulique sur une maquette à l'échelle 1/1 000. Les composantes moyennes et turbulentes du vent et son angle d'incidence ont été mesurés par vélocimétrie laser tout le long du tablier et aux abords du chantier. De plus, des visualisations par tomographie laser et par micro-girouettes, analysées par des logiciels de traitement d'image, ont permis de révéler la structure des écoulements.

*Maquette de la vallée de Verrières dans la veine hydraulique du CNRM, à Toulouse.*

Les résultats montrent que, pour la première direction du vent étudiée, l'écoulement est modelé par une importante colline située 4 km en amont et par le confluent de deux rivières à proximité du village de Verrières. Le viaduc subit alors un vent turbulent présentant des cisaillements très importants qui occasionnent des basculements rapides de l'angle d'incidence. Heureusement ces phénomènes se produisent par vent faible, ce qui diminue leur impact sur la structure du viaduc. Pour la seconde direction, l'écoulement est canalisé dans la vallée et le viaduc est soumis à un vent régulier légèrement accéléré qui ne présente pas d'angle d'incidence critique.

## > LA COUVERTURE VÉGÉTALE VUE PAR LES SATELLITES MÉTÉOROLOGIQUES

Le projet Pelcom, soutenu par l'Union européenne dans le cadre du programme Environnement, regroupe huit laboratoires européens, sous la coordination du SC-DLO (Pays-Bas). Son objectif est de cartographier l'occupation des sols sur l'Europe, avec une résolution d'un kilomètre, à partir des mesures des satellites défilants de la NOAA. Le CNRM, chargé de la partie de l'étude qui concerne la France et la péninsule ibérique, a mis au point un algorithme de clas-

sification qui comprend un masquage des plans d'eau et des zones urbaines. La validation s'appuie sur la base de données à haute résolution Corine Land Cover ainsi que sur des images du satellite Landsat. La précision dépasse 80 % pour les zones cultivées et 70 % pour les forêts. Elle est moins bonne pour les classes plus hétérogènes telles que les prairies et maquis.

Le projet inclut la construction d'un indice de qualité de l'environnement pour les pays européens, la cartographie des émissions de gaz par les forêts et, pour le CNRM, l'emploi de cette carte dans le modèle Méso-NH, et ultérieurement dans le modèle Arpège, afin de définir les paramètres de surface nécessaires à l'initialisation du schéma Isba.



*Carte de la végétation obtenue à partir de données AVHRR à 1 km de résolution des satellites NOAA.*

## > PUBLICATIONS DANS DES REVUES À COMITÉ DE LECTURE

- André, J.C., and J.F. Royer, 1999 : Les fluctuations à court terme du climat et l'interprétation des observations récentes en terme d'effet de serre. *Compte-rendu de l'Académie des Sciences Paris* (Série 2, Fascicule 2. Sciences de la Terre et des Planètes), 328, pp 261-272.
- Anastasio, N., A. Lopez, J.L. Attié and P. Durand, 1999 : Aircraft measurements during the Bema campaign (Burriana, Spain, June 1997). *Physics and Chemistry of the Earth*, vol 24 - pp 669-672.
- Attié, J.L., A. Druilhet, B. Benech and P. Durand, 1999 : Turbulence on the lee side of a mountain range : aircraft observations during Pyrex. *Quarterly Journal of Royal Meteorological Society*, vol 125, pp 1359-1381.
- Baehr, Ch., B. Pouponneau, F. Ayrault and A. Joly, 1999 : Dynamical characterization and summary of the Fastex cyclogenesis cases. *Quarterly Journal of Royal Meteorological Society*, vol 125, pp 3469-3494.
- Bergot, T., 1999 : Adaptive observations during Fastex. À systematic survey of upstream flights. *Quarterly Journal of Royal Meteorological Society*, vol 125, pp 3271-3298.
- Bergot, T., G. Hello, A. Joly and S. Malardel, 1999 : Adaptive Observations : a feasibility study. *American Meteorological Society, Monthly Weather Review*, vol 127, pp. 743-765.
- Billant, P., P. Brancher and J.M. Chomaz, 1999 : Three-dimensional stability of a vortex pair. *Physic of Fluids*, vol 11 - pp 2069-2077.
- Boisse, J.C., V. Klaus and J.-P. Aubagnac, 1999 : A wavelet transform technique for removing airplane echoes from ST radar signals. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, vol 16, pp 334-346.
- Bonnier, M., O. Eiff and P. Bonneton, 1999 : On the density structure of far wake vortices in a stratified fluid. *Dynamics of atmospheres and Ocean*, vol 31, pp 117-137.
- Boone, A. J.C. Calvet and J. Noilhan, 1999 : Inclusion of a third soil layer in a land-surface scheme using the force-restore method. *Journal of Applied Meteorology*, vol 38, pp 1611-1630.
- Bouysse, F., V. Cassé and J. Pailleux, 1999 : Variational surface analysis from screen level atmospheric parameters. *Tellus*, vol 51A, pp 453-468.
- Brzoska, J.B., B. Lesaffre, B. Coléou, K. Xu and R.A. Pieritz, 1999 : Computation of 3D curvatures on a wet snow sample. *The European Physical Journal*, vol 7, pp 45-57.
- Burnet, F. and J.L. Brenguier, 1999 : Validation of Droplet Spectra and Liquid Water Content Measurements. *Physics and Chemistry of the Earth*, vol 24, n° 3, pp 249-254.
- Calvet, J.C., P. Bessemoulin, J. Noilhan, C. Berne, I. Braud, D. Courault, N. Fritz, E. Gonzales-Sosa, J.P. Gourorbe, R. Haverkamp, G. Jaubert, L. Kergoat, G. Lachaud, J.P. Laurent, P. Mordelet, A. Olioso, P. Péris, J.L. Roujean, J.L. Thony, C. Tosca, M. Vauclin and D. Vignes, 1999 : Murex : a land-surface field experiment to study the annual cycle of the energy and water budgets. *Annales Geophysicae*, vol 17, pp 838-854.
- Cammas, J.P., B. Pouponneau, G. Desroziers, P. Santurette, A. Joly, P. Arbogast, I. Mallet, G. Caniaux and P. Mascart, 1999 : Fastex IOP 17 Cyclone : Introductory synoptic study with field data. *Quarterly Journal of Royal Meteorological Society*, vol 125, pp 3393-3414.
- Cariolle, D., 1999 : La régionalisation des scénarios d'évolution climatique : vers les études d'impacts. *Compte-rendu de l'Académie des Sciences - Sciences de la terre et des planètes*, vol 328, pp 249-259.
- Céron, J.P., and J.F. Guérémy, 1999 : Validation of the space time variability of african easterly waves simulated by the CNRM Gcm. *Journal of Climate*, vol 12. pp 2831-2855.
- Chong, M., and O. Bousquet, 1999 : A mesovortex within a near-equatorial mesoscale convective system during Toga-Coare. *Monthly Weather Review*, vol 127, pp 1145-1156.
- Coléou, C., K. Xu, B. Lesaffre, and J.B. Brzoska, 1999 : Capillary rise in snow. *Hydrological Processes*, n° 13.
- Dabas, A., 1999 : Semiempirical model for the reliability of a matched filter frequency estimator for Doppler lidar. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, vol 16 n°1, pp 19-28.
- Dabas, A., P. Drobinski and P.H. Flamant, 1999 : Adaptive filter for frequency estimate of heterodyne Doppler lidar returns : recursive implementation and quality control. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, vol 16 n°2, pp 361-372.
- Delmas, R., A. Druilhet, B. Cros, P. Durand, C. Delon, J.P. Lacaux, J.M. Brustet, C. Affre, D. Serca, A. Guenther, J. Greenberg, W. Baugh, P. Harley, L. Klinger, P. Ginoux, G. Brasseur, J.M. Gregoire, P. Barbosa, E. Janodet, M. Tournier, B. Glenat, P. Perros, Th. Marion, A. Gaudichet, H. Cachier, S. Ruellan, P. Masclet, S. Cautenet, D. Poulet, J.M. Pereira, P.A. Brivio, P. Ceccato and C. Nielsen, 1999 : Experiment for regional sources and sinks of oxidants (Expresso) : an overview. *Journal of Geophysical Research*, vol, D23, pp 30609-30624.
- Déqué M., 1999 : Eulerian versus Semi-Lagrangian in Climate Simulation : Verdict of the nudging technique. *Research Activities in Atmospheric and Oceanic Modelling. WMO/ED 942*, 721-722.
- Desroziers, G., B. Pouponneau, J.N. Thépaut, M. Janisková and F. Veersé, 1999 : 4D-Var analyses of Fastex situations using special observations : Part C. *Quarterly Journal of Royal Meteorological Society*, vol 125, n° 561, pp 3339-3358.
- Dolman, A.J., M. À Sylvia Dias, J.C. Calvet, M. Ashby, A. S Tahara, C. Delire, P. Kabat, G.A. Fisch, and C.A. Nobre, 1999 : Meso scale effects of tropical deforestation in Amazonia : Preparatory LBA Modelling studies. *Annales Geophysicae*, vol 17, pp 1095-1110.
- Douville, H., E. Bazile, P. Caille, D. Giard, J. Noilhan, L. Peirone et F. Taillefer, 1999 : Global Soil Wetness Project : forecast and assimilation experiments performed at Météo-France. *Journal Météorological Society Japan*, vol 77, n° 1B, pp. 305-316.
- Drobinski, P., A. Dabas, P. Delville, P.H. Flamant, J. Pelon and R.M. Hardesty, 1999 : Refractive index structure parameter in the planetary boundary layer : a comparison of measurements taken by a 10 µm-lidar, a 0.9 µm-scintillometer and in-situ temperature and humidity probes. *Applied Optics*, vol 38 n°9, pp 1648-1656, mars 1999.
- Durand, Y., G. Giraud, E. Brun, L. Mérindol et E. Martin, 1999 : a computer based system simulating snowpack structures as a tool for regional avalanche forecasting. *Journal of Glaciology*, vol 45, n° 151, pp 469-484.
- Essery R., E. Martin, H. Douville, A. Fernandez and E. Brun, 1999 : A comparison of four snow models using observations from an Alpine site. *Climate Dynamics*, vol 15, pp 583-593.
- Ehret, G., K.P. Hoinka, J. Stein, A. Fix, C. Kiemle, and G. Poberaj, 1999 : Low stratospheric water-vapor measured by an airborne DIAL. *Journal of Geophysical Research*, vol 104.
- Gavart, M., P. De Mey and G. Caniaux, 1999 : Assimilation of satellite altimeter data in a primitive equation model of the Azores-Madeira region. *Dynamics of Atmospheres and Oceans* 29, pp 217-254.
- Gérard, E., and R.W. Saunders, 1999 : 4D-Var assimilation of SSM/I total column water vapour in the ECMWF model. *Quarterly Journal of Royal Meteorological Society*, vol 125, pp 3077-3101.
- Gonzales-Sosa, E., I. Braud, J.L. Thony, M. Vauclin, P. Bessemoulin and J.C. Calvet, 1999 : Modelling heat and water exchanges of fallow covered with plant-residue mulch. *Agricultural and Forest Meteorology*, vol 97, pp 151-169.
- Habets, F., J. Noilhan, C. Golaz, JP Goutorbe., P. Lacarrère, E. Leblois., E. Ledoux., E. Martin., C. Ottlé., D. Vidal-Madjar : The Isba surface scheme in a macroscale hydrological model applied to the Hapex-

- Mobilhy area, 1999 - Part I : Model and data base. *Journal of Hydrology*, vol 217 - pp 75-96.
- Habets, F., J. Noilhan, C. Golaz, J.P. Goutorbe., P. Lacarrère, E. Leblois., E. Ledoux., E. Martin., C. Ottlé. and D. Vidal-Madjar, 1999 : The Isba surface scheme in a macroscale hydrological model applied to the Hapex-Mobilhy area, 1999 - Part II : Simulation of streamflows and annual water budget. *Journal of Hydrology*, vol 217 - pp 97-118.
  - Habets, F., P. Etchevers, C. Golaz, E. Leblois, E. Ledoux, E. Martin and J. Noilhan, 1999 : Simulation of the water budget and the river flows of the Rhône basin. *Journal of Geophysical Research*, série 104, D 24, pp 31 145-31 172.
  - Hèreil, P., and J. Stein, 1999 : Momentum budgets over idealized orography with a non hydrostatic anelastic model. I : two dimensional flows. *Quarterly Journal of Royal Meteorological Society*, vol 125, pp 2019-2051.
  - Hèreil, P., and J. Stein, 1999 : Momentum budgets over idealized orography with a non hydrostatic anelastic model. I : three dimensional flows. *Quarterly Journal of Royal Meteorological Society*, vol 125, pp 2053-2073.
  - Janiskova, M., J.N. Thépaut and J.F. Geleyn, 1999 : Simplified and regular physical parametrisations for incremental four-dimensional variational assimilation. *Monthly Weather Review*, vol 127, pp 26-45.
  - Janisková, M., F. Veersé, J.N. Thépaut, G. Desroziers and B. Poupponneau, 1999 : Impact of a simplified physical package in four dimensional variational analyses of Fastex. *Quarterly Journal of Royal Meteorological Society*, vol 125, pp 2465-2485.
  - Jaubert, G., C. Piriou, S.M. Loehrer, A. Petitpa and J.A. Moore, 1999 : Development and quality control of the Fastex Data Archive. *Quarterly Journal of Royal Meteorological Society*, vol 125, pp 3165-3188.
  - Joly, A., and al., 1999 : Overview of the field phase of the Fronts and Atlantic Storm Track Experiment (Fastex) project. *Quarterly Journal of Royal Meteorological Society*, vol 125, pp 3131-3164.
  - Josse, P., G. Caniaux, H. Giordani and S. Planton, 1999 : Intercomparison of oceanic and atmospheric forced and coupled mesoscale simulations. Part I : surface fluxes. *Annales Geophysicae* 17, pp 566-576.
  - Kaas E., A. Guldborg, W. May and M. Dequé, 1999 : Using tendency errors to tune the parameterisation of unresolved dynamical scale interactions in atmospheric general circulations models. *Tellus*, vol 51 A, pp 612-629.
  - Klaus, V., J.P. Aubagnac, J. Van Baelen, G. Chérel, R. Durbe and A. Frappier, 1999 : New developments with the CNRM INSU/Meteo Vhf radar : Rass, Fdi and upgraded processing techniques, *Meteorologische Zeitschrift*, N.F. 7, 355-365, décembre 1998.
  - Klaus V., J. Pilon, I. Selyan and G. Chérel, 1999 : Operational validation of the Meteo-France wind profiler in la Ferté Vidame, *Meteorologische Zeitschrift*, N.F. 7, 196-202, octobre 1998.
  - Koutsikopoulos, C., P. Beillois, C. Leroy and F. Taillefer, 1999 : Temporal trends and spatial structures of the sea surface temperature in the Bay of Biscay. *Oceanologica Acta*, vol 21, n° 2, pp 335-344.
  - Lacaze, R., J.L. Roujean and J.P. Goutorbe, 1999 : Spatial distribution of Sahelian land surface properties from airborne POLDER multiangular observations. *Journal of Geophysical Research*, vol 104, pp 12 131-12 146.
  - Lambert, D., P. Durand, 1999 : The marine atmospheric boundary layer during Semaphore, Part.1 : mean vertical structure and non-axisymmetry of turbulence. *Quarterly Journal of Royal Meteorological Society*, vol 125, pp 495-512.
  - Lambert, D., P. Durand, F. Thoumieux, B. Bénéch and A. Druilhet, 1999 : The marine atmospheric boundary layer during Semaphore, Part 2 : Turbulence profiles in the mixed layer. *Quarterly Journal of Royal Meteorological Society*, vol 125 - pp 513-528.
  - Mallet, I., J.P. Cammas, P. Mascart and P. Betchold, 1999 : Effects of cloud diabatic heating on the Fastex cyclone (IOP 17) early development. *Quarterly Journal of Royal Meteorological Society*, vol 125, pp 3439-3468.
  - Mallet, I., Ph. Arbogast, Ch. Baehr, J.P. Cammas and P. Mascart, 1999 : Effects of a low level precursor and frontal stability on cyclogenesis during Fastex IOP17. *Quarterly Journal of Meteorological Society*, vol 125, pp 3415-3438.
  - Masciadri, E., J. Vernin and P. Bougeault, 1999 : 3D mapping of optical turbulence using an atmospheric numerical model. Part I : A useful tool for the ground-based astronomy. *Astronomy and Astrophysics*, vol 137, pp 185-202.
  - Masciadri, E., J. Vernin and P. Bougeault, 1999 : 3D mapping of optical turbulence using an atmospheric numerical model. Part II : First results at Mt Paranal. *Astronomy and Astrophysics*, vol 137, pp 203-216.
  - Michalon, N., A. Nassif, T. Saouri, J.F. Royer, and C.A. Pontikis, 1999 : Contribution to the climatological study of lightning. *Geophysical research letters*, vol 26, n° 20, pp 3097-3100.
  - Olioso, A., H. Chauki, J.P. Wigneron, K. Bergaoui, P. Bertuzzi, A. Chanzy, P. Bessemoulin and J.C. Calvet, 1999 : Estimation of energy fluxes from thermal infrared, spectral reflectances, microwave data and SVAT modelling. *Physics and Chemistry of the Earth (B)*, vol 24, n° 7, pp 829-836.
  - Pitman, A.J., A. Boone, J.F. Mahfouf, J. Noilhan, and alii, 1999 : Results from the Off Line Control Simulation : Phase I of the project for inter-comparison of land-surface parametrization schemes (Pilps). *Climate Dynamics*, vol 15, pp 673-684.
  - Poupponneau, B., F. Ayrault, T. Bergot and A. Joly, 1999 : The impact of aircraft data on an atlantic cyclone analysed in terms of sensitivities and trajectories. *Weather and Forecasting*, vol 14, n° 1, pp 67-83.
  - Redelsperger, J.L., F. Guichard, and S. Mondon, 1999 : A parametrization of mesoscale enhancement of surface fluxes for large scale models. *Journal of Climate*, vol 13, pp 402-421.
  - Roujean, J.L., 1999 : Two story equations of transmission of solar energy (TSETSE) in open boreal conifer tree stands. *Journal of geophysical research*, vol 104, n° D22, pp 27 869-27 879.
  - Roujean, J.L., 1999 : Measurements of PAR transmittance within boreal forests stands during Boreas. *Agricultural Forest Meteorology*, vol 93, pp 1-6.
  - Schlosser, C.A., A. Boone, P. Etchevers, F. Habets, J. Noilhan, and alii, 1999 : Simulations of a boreal grassland hydrology at Valdai, Russia : Pilps Phase 2 (d). *Monthly Weather Review*, vol 128, pp 301-321.
  - Telisman, M., A. Marki and P. Bénard, 1999 : Refinement of the vertical diffusion scheme in the Arpège/Aladin model. *Geofizika*, vol. 15, pp. 27-51.
  - Van Baelen, J., J.P. Aubagnac, L. Hirsch and C. Prada, 1999 : A visualisation tool to compare the different multiple receiver techniques used with wind profilers, *Meteorologische Zeitschrift*, N.F. 7, 303-308, décembre 1998.
  - Wigneron, J.P., J.C. Calvet, A. Olioso, A. Chanzy and P. Bertuzzi, 1999 : Estimating the root-zone soil moisture from the combined use of time series of surface soil moisture and SVAT Modelling. *Physics and Chemistry of the Earth (B)*, vol 24, n° 7, pp 837-843.
  - Wigneron, J.P., P. Ferrazoli, J.C. Calvet, Y. Kerr, and P. Bertuzzi, 1999 : A parametric study on passive and active microwave observations over a soybean crop. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol 37, n° 6, pp 2728-2733.
  - Yamada Y., and M. Chong, 1999 : Vad-based determination of the nyquist internal number of doppler velocity aliasing without wind information. *Journal of the meteorological society of Japan*, vol 77, n° 2, pp 447-457.
  - Zagar, M., and J. Rakovec, 1999 : Small-scale surface wind prediction using dynamic adaptation. *Tellus*, vol 51A, n° 4, pp 489-504.
  - Zarader, J.L., A. Dabas, O. Adam and P.H. Flamant, 1999 : Adaptive parametric algorithms for processing coherent Doppler lidar signals. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol 37, pp 2678-2691.

## > PUBLICATIONS SANS COMITÉ DE LECTURE

- Brzoska, J.B., C. Coléou, B. Lesaffre, S. Borel, O. Brissaud, W. Ludwig, E. Bollé et J. Baruchel, 1999 : 3D visualization of snow samples by microtomography at low temperature. *Newsletter ESRF*, Avril 1999.
- Brzovic, N., 1999 : Factors affecting the adriatic cyclone and associated windstorms. *Contribution Atmosphérique Physique*, vol 72, n° 1, pp 51-65.
- David, P., et E. Martin, 1999 : Le laboratoire du Col de Porte pour l'étude de la neige. *La météorologie*, série 8, n° 28, pp 23-34.
- Gustafsson, N., S. Hornquist, M. Lindskog, L. Berre, B. Navascues, S. Thorsteinsson, X.Y. Huang, K. S. Mogensen and J. Rantakokko, 1999 : Three dimensional variational data assimilation for a high resolution limited area model (HIRLAM). *Hirlam Technical Report n° 40*, janvier 1999, pp 04-74.
- Sergent, C., 1999 : Les métamorphoses de la neige sèche. *La Montagne et Alpinisme*, 1/99.
- Sergent, C., 1999 : Les métamorphoses de la neige humide. *La montagne et Alpinisme*, 2/99.
- Sivadrière, F., C. Coléou, C. Giraud, J. Villecroze et L. Rey, 1999 : une situation avalancheuse exceptionnelle. *Neige et Avalanches*, n° 86.
- Zuanon, J.P., 1999 : La méthode de réduction de Munter. *Neige et Avalanches*, n° 87.

## > AUTRES PUBLICATIONS

- Amodei, M., "SAO and Klevin waves in the EuroGRPS GCMs and UK Meteorological Office analyses" ; *Note de centre n° 65*, février 1999.
- André, J.C., J. Noilhan and J.P. Goutorbe, 1999 : Mesoscale field experiments and models. In Browning, K.A. and R.J. Gurney, editors, *Global Energy and Water Cycles*. Cambridge University Press.
- Arbogast, Ph. and E. Chaigne, 1999 : PV thinking and sensitivity to initial conditions. Preprint, *8<sup>th</sup> Conference on Mesoscale Processes*, 4pp.
- Arbogast, E., F. Ayrault, B. Benech, H. Brunet, J. Coiffier, S. Desbios, A. Joly et J. Pailleux, 1999 : Outils et techniques utiles à la matérialisation de l'expertise des prévisionnistes. *Projet Symposium*. 109 pp.
- Aubert J. Ph., 1999 : Etude du système d'observations adaptatives utilisé pendant FASTEX. *Note de Travail de l'ENM n° 656*, 105pp, Toulouse, juin 1999.
- Autones, F., J.M. Carrière, S. Girres, S. Sénési and P. Thomas, 1999 : An operational thunderstorm product designed by Météo France for the needs of air traffic control. In *4<sup>th</sup> European conference on applications of meteorology, Norrköping, Sweden*. SMHI.
- Bergue, P., Ch. Berne, G. Bouhours, Th. Douffet, P. Durand, E. Gizard, G. Lachaud, F. Marin et O. Traullé, 1998 : Mesures météorologiques sur l'Atlantique pendant la campagne FETCH. *Rapport FETCH N° 5*, CNRM Ed., 240 p.
- Bougeault, P., et R. Sadourny, 1999 : Dynamique de l'atmosphère et de l'océan. *Cours de l'Ecole Polytechnique*. 237 pp.
- Broqua H., 1999 : Influence de l'humidité du sol sous la mousson asiatique. *Note de Travail de l'ENM n° 659* (Rapport de stage d'approfondissement effectué dans l'équipe UDC de janvier à juin 1999).
- Calvet, J.C., 1999 : Describing plan water stress in interactive vegetation SVAT models. In *ICB'99*, page to appear.
- Cibot C., 1999 : Potentiel hydrologique de la modélisation atmosphérique à haute résolution des épisodes Cévenols. *DEA Océan Atmosphère Biosphère*, Université Paul Sabatier Toulouse III.
- Deslandes M. et R. Abboubi, 1999 : L'impact de l'ENSO sur l'Europe. *Rapport de projet ENM de stage de climatologie*, 46 pp.
- Desroziers, G., B. Pouponneau, M. Janiskova and J.N. Thépaut, 1999 : 4D-VAR reanalysis of FASTEX data. Preprint, *8<sup>th</sup> Conference on Mesoscale Processes*, 4pp.
- Doblas-Reyes F.J., M. Déqué et J-Ph. Piedelièvre, 1999 : Some

results of the multimodel approach in the PROVOST seasonal forecasts. *Note du CNRM n° 66*, 28 pp.

- Douville H., Planton S., Royer J-F, Stephenson D.B., Tyteca S., Kergoat, L., Lafont S., Betts R.A., 1999 : The importance of vegetation feedbacks for assessing the climatic impact of CO<sub>2</sub> doubling on the Asian summer monsoon. *Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International GEWEX Conference*, Beijing.
- Douville H., Viterbo P., Mahfouf J-F, Beljaars A.C.M., 1999 : Sequential soil moisture analysis in the presence of international and prescribed errors using the ECMWF single column model. *Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International GEWEX Conference*, Beijing.
- Fritz, N. et J.C. Calvet, 1999 : Caractérisation de la surface durant TRAC 98. *Note de Centre, CNRM Ed.*, 31p.
- Fritz, N., et J.C. Calvet, 1999 : Caractérisation de la surface durant l'expérience TRAC98, *note GMEI*.
- Gedney N., Cox P.M., Douville H., Polcher J., Valdes P.J., 1999 : Characterising GCM land surface schemes to understand their responses to climate change. *Hadley Centre technical note*.
- Gheusi F. and J. Stein, 1999 : Air parcel tracking in an Eulerian model. *MAP newsletter* (à paraître août 1999).
- Giard D. et J.P. Lafore, 1999 : Prospective en prévision numérique à Mésos-échelle : Modèle direct. Période 2000-2005. Contribution au plan stratégique de Météo-France/ Modélisation.
- Giraud, L., R. Guivarch and J. Stein, 1999 : Parallel distributed fast 3D Poisson solver for Meso-scale atmospheric simulation. *Abstract étendu pour Euro-Par 1999*.
- GMME, 1999 : Résumés étendus des communications présentées par des chercheurs du GMME dans des conférences internationales en 1998. CNRM/GMME. *Note de groupe 58*. 84 pp.
- Jabouille, P., R. Guivarch, P. Kloos, D. Gazez, N. Gicquel, L. Giraud, N. Asencio, V. Ducrocq, J. Escobar, J.L. Redelsperger, J. Stein and J.P. Pinty, 1999 : Parallelization of the french meteorological mesoscale model Meso-NH. In *EUROPAR 99*, page to appear.
- Jaubert, G., 1999 : the FASTEX Experiment Data Archive. CNRM/GMME. *Note de groupe 57*. 35 pp.
- Joly, A., Y. Lemaître, S. Clough, K. Commins, F.H. Sigurdsson, J.P. Cammas, 1999 : The Fronts and Atlantic Storm-Track Experiment (FASTEX) : final report on the field phase. 267 pp.
- Koffi, E., S. Sénési, and C. Morel, 1999 : Characterization of european Meso-Scale convective systems using METEOSAT and lightning Data. *Note du groupe GMME. N° 60*. 43 pp.
- Lac, C., 1999 : Etude du déclenchement de la convection durant l'expérience TOGA-COARE. Rapport de stage de recherche. *Note de travail de l'ENM n° 673*.
- Lac, C., J.P. Lafore and J.L. Redelsperger, 1999 : Numerical study of the triggering of a squall line during TOGA-COARE. *Proceedings of 23rd Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology. AMS Annual meeting - Dallas (USA)*.
- Lacaze, R. and J.L. Roujean, 1999 : Upscaling the retrieval of biophysical parameters from the hot spot : the GHOST model and its inversion. Résumé étendu pour l'IGARSS.
- Mitchell, K., P. Houser, E. Wood, J. Schaake, D. Tarpley, D. Lettenmaier, W. Higgins, C. Marshall, D. Lohmann, M. Ek B. Cosgrove, J. Entin, Q. Duan, R. Pinker, A. Robock, F. Habets and K. Vinnikov, 1999 : GCIP land data assimilation system (LDAS) project now underway. *GEWEX-NEWS*, vol 9, n° 4, pp 3-6.
- Nacass, P., 1999 : Contribution de la modélisation des écoulements aérodynamiques externes à l'amélioration de l'instrumentation météorologique embarquée, édition du mémoire d'habilitation à diriger des recherches, Université Paris VI, Pierre et Marie Curie soutenue le 27/11/98 (184 pages).
- Nacass, P., 1999 : Simulation of airflow distortion around Aircraft and sensors for atmospheric measurement. *Presentazioni incontro utilizzatori fluent Italia 1999* (10 pages).

- Nacass, P., 1999 : Utilisation de la modélisation des écoulements aérodynamiques pour la mesure atmosphérique à bord du navire océanographique l'Atalante, *note de centre* (132 pages).
- Noilhan, J., 1999 : Recueil des résumés des présentations de l'atelier ISBA du 6 mai 1999. *Note du groupe GMME* n° 59.
- Peuch, V.H., F. Lefèvre et P. Simon : Expériences d'initialisation dans un modèle de chimie-transport 3D, *actes des journées CNFGG sur l'assimilation des observations de la chimie atmosphérique* (28-29 janvier 1999).
- Peuch, V.H., : "MOCAGE vers un modèle de chimie atmosphérique à grande échelle" ; *actes de la journée INSU sur la pollution atmosphérique aux échelles locale et régionale* (16 mars 1999).
- Peuch V.H., et P. Tulet : "Chimie atmosphérique : comprendre aujourd'hui et prévoir demain", *Atmosphériques* n° 2, avril 1999.
- Planton, S., 1999 : Réchauffement global et El Niño : une revue des connaissances actuelles. *Médecine Maladies infectieuses*, n° 29, pp 267-276.
- Redelsperger J.L., 1999 : European Project on Clouds Systems in Climate Models (EUROCS). Projet coordonné par J.L. Redelsperger. Soumis en mai 1999. 48 pages.
- Redelsperger, J.L., F. Guichard, and S. Mondon, 1999 : Enhancement of surface fluxes by mesoscale processes. *Proceedings of 13<sup>th</sup> Symposium on Boundary Layers and Turbulence*.
- Redelsperger, J.L., S.S. Chen, R.H. Johnson, M.A. LeMone, T. Nakazawa, D.B. Parson, S.A. Rutledge, W.K. Tao, and M. Yanai, 1998 : *Review on convection in TOGA-COARE*. WMO.
- Redelsperger, J.L., F. Guichard, and C. Hoff, 1999 : Report from Centre National de Recherches Météorologiques. *European Commission DGXII*. 38 pp.
- Redelsperger, J.L., I. Beau, F. Guichard and V. Lorant, 1999 : Improving GCM parameterization in using CRM experiments. To appear in "Cloud processes and cloud feedbacks in large scale models", *GCSS-WGNE*, 10 pp.
- Roujean, J.L., and R. Lacaze, 1999 : Upscaling the retrieval of surface parameters from the hot spot : application to POLDER measurements over BOREAS sites. In *ALPS 99*, 18-22 January 1999, Meribel.
- Royer, J.F., H. Douville, S. Planton, J. Lecou, S. Tyteca, J. Polcher, C. Burton : Analysis of the recycling rate of water in some LSPCR simulations. Contribution au rapport final du contrat Européen "Land Surface Processes and Climate Response", coordonné par J. Polcher.
- Salgado Rui, A. Boone, J.C. Calvet, S. Voirin, V. Masson et J. Noilhan : Recueil des résumés des présentations de l'atelier ISBA du 6 mai 1999. *Note GMME*, n° 59, octobre 1999.
- Sényi, S., U. Finke, W. Hand, M. Jaeneke, C. Morel, G. Pankiewicz, and R. Riosalido, 1999 : COST 78 Final report. Project Ib : Climatology and classification of convective systems. To appear.
- Sourgen, F., 1999 : Suivi lagrangien de particules et anomalies de tourbillon potentiel à la tropopause. *Rapport de stage de maîtrise*, mai-juillet 1999, ENS de Lyon.
- Stein J., E. Richard, J.P. Lafore, J.P. Pinty, N. Asencio and S. Cosma, 1999 : Meso-NH simulations with grid-nesting and ice-phase parameterization. *MAP newsletter* (à paraître août 1999)
- Stein J., L. Giraud et R. Guivarch, 1999 : Le problème de la pression pour un modèle non-hydrostatique. Abstract étendu pour le congrès d'analyse numérique CANUM 1999 à Bonascre.
- Stein, J., 1999 : cours sur les phénomènes de méso-échelle : influences orographiques dans le cadre du stage : Prévisions météorologiques - théories et méthodes actuelles.
- Stein, J., 1999 : école RETIC : présentation du modèle Meso-NH.
- Stein, J., 1999 : encadrement stages génie logiciel (N. Asencio et G. Jaubert) : Définition d'outils pour la comparaison données/champs de modèle à méso-échelle 1) tracés 1D (L. Perrin, L. Chamsard) 2) tracés 2D (P. Hérel, F. Fluviaud).
- Thari, N., 1999 : Système anticipatif de gestion des espacements.

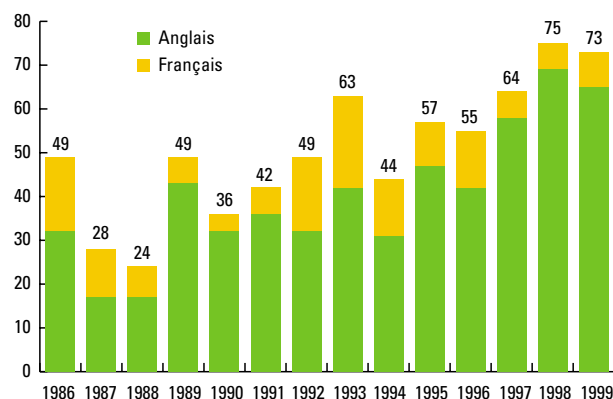
SYAGE II. *Rapport de stage AFPA*, 98 p.

- Thépenier, R.M., S. Sényi, : Relations entre indices d'instabilité, précipitations et activité électrique en Ile de France. *Note de centre* n° 61, novembre 1999.
- Van Baelen J., J. Stein and O. Bousquet, 1999 : Observational and numerical study.
- Van Baelen, J., J. Stein and O. Bousquet, 1999 : Observational and numerical study of an alpine cut-off low. *Abstract étendu* pour Eighth conference on Mesoscale processes de l'AMS à Boulder (USA).
- Voirin S., 1999 : Application du schéma de surface ISBA Ags au bassin versant de l'Adour. Etalonnage et simulations des bilans hydriques et énergétiques. *Rapport de stage DEA*.
- Wattrelot E., 1999 : Impact de l'allongement de la période d'assimilation du 4D-VAR : application à l'expérience FASTEX. *Note de Travail de l'ENM* n° 671, 72 pp, Toulouse, juin 1999.

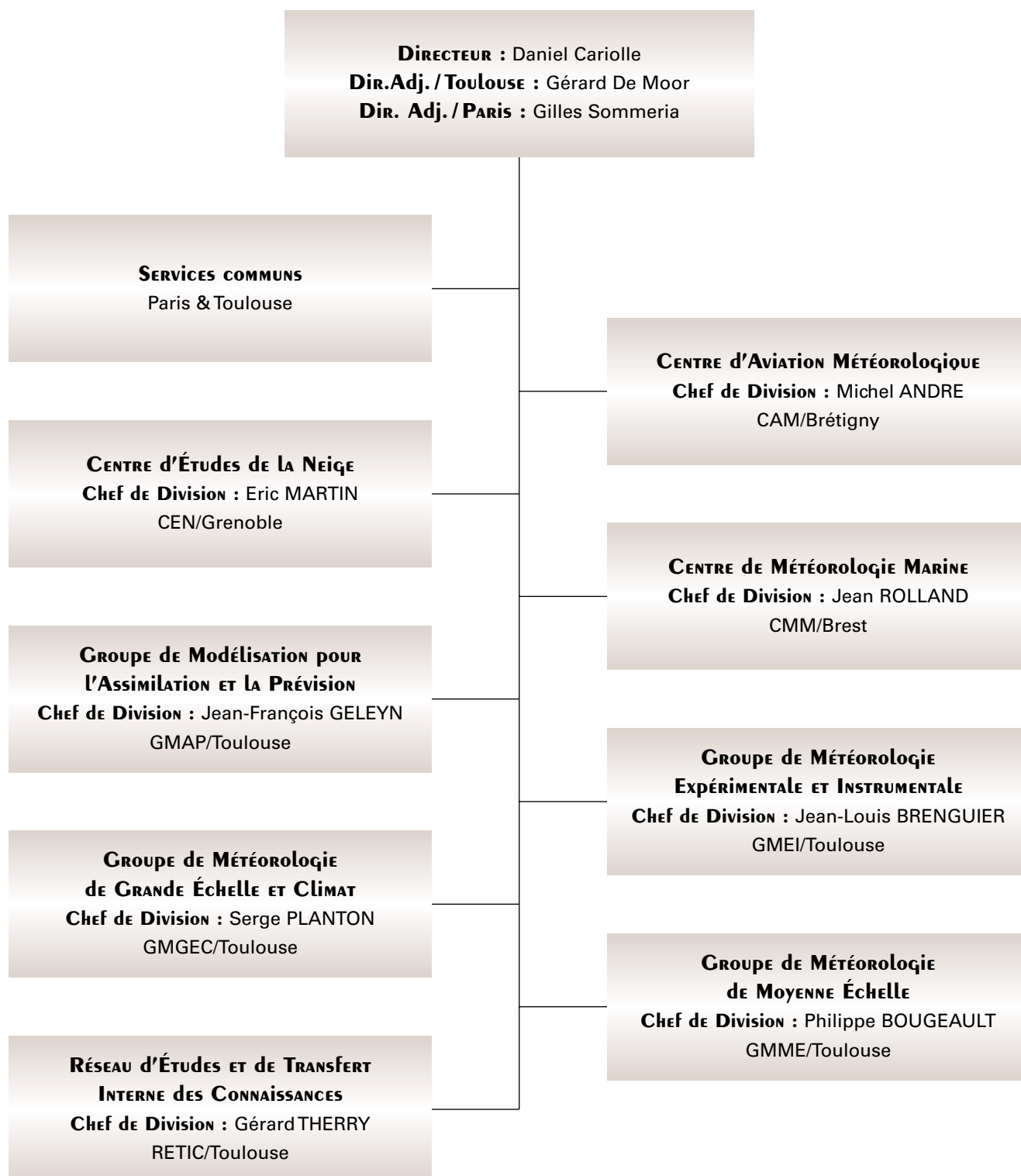
## > THÈSES

- Billant, P., 1999 : Dynamique d'une paire de tourbillons verticaux en milieu stratifié. Thèse de doctorat de L'Ecole Polytechnique, soutenue le 06 juillet 1999.
- Bonnier, M., 1999 : Sillage d'une sphère en milieu linéairement stratifié. Caractérisation des structures tourbillonnaires. Thèse de doctorat de l'Institut Mécanique des Fluides, soutenue le 21 juin 1999.
- Burnet, F., 1999 : Validation des mesures aéroportées de la microphysique nuageuse et des processus d'entraînement-mélange dans les nuages convectifs. Thèse de doctorat de l'Université Paul Sabatier, soutenue le 07 juillet 1999.
- Chaumat, L., 1999 : Etude expérimentale des processus de condensation dans les nuages convectifs : élargissement des spectres et distribution spatiale des gouttelettes. Thèse de doctorat de l'Université Clermont Ferrand, soutenue le 12 mars 1999.
- Josse, P., 1999 : Modélisation couplée océan atmosphère à méso échelle application à la campagne SEMAPHORE. Thèse de doctorat de l'Université Paul Sabatier, soutenue le 31 mai 1999.
- Lacaze, R., 1999 : Restitution des paramètres biophysiques des surfaces continentales utiles à l'étude du climat à partir des observations multiangulaires de la télédétection optique. Thèse de doctorat de l'Université Paul Sabatier, soutenue le 16 décembre 1999.
- Mallet, I., 1999 : Rôle des précurseurs et du diabatisme dans le déclenchement et le développement d'une cyclogénèse frontale. Thèse de doctorat de l'Université Paul Sabatier, soutenue le 18 juin 1999.

*Évolution entre 1986 et 1999 du nombre annuel d'articles, dans les revues à comité de lecture, ayant pour auteur ou co-auteur un agent de Météo-France.*



# ORGANIGRAMME du CNRM



# Glossaire des sigles, acronymes et abréviations

|               |                                                                                                                                          |              |                                                                                                                                  |
|---------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 3D-VAR        | Assimilation variationnelle tridimensionnelle                                                                                            | DPPR         | Direction de la Prévention des Pollutions et des Risques                                                                         |
| 4D-VAR        | Assimilation variationnelle quadrimensionnelle                                                                                           | DRA          | Etablissement de Recherche de la Défense Britannique                                                                             |
| ACARS         | Système de communication de messages aéronautiques                                                                                       | DRAST        | Direction de la Recherche et des Affaires Scientifiques et Techniques du Ministère des Transports                                |
| ACE 2         | Campagne internationale sur les aérosols et leur influence` sur le climat                                                                | DRET         | Direction de la Recherche et des Etudes en Télécommunication                                                                     |
| ADEOS         | Satellite d'observation de la terre en orbite polaire (USA)                                                                              | EASOE        | Expérience Européenne sur l'Ozone Stratosphérique                                                                                |
| ADIPRA        | Assistance Départementale Informatisée à la Prévision du Risque d'Avalanches                                                             | ECLAT        | Programme du Ministère de l'Environnement sur la régionalisation des effets climatiques                                          |
| AEROCHEM2     | Projet portant sur la modélisation de l'impact sur l'atmosphère de l'ozone et des autres composés chimiques émis par les aéronefs        | ECSN         | Réseau de soutien européen aux études climatiques                                                                                |
| AERONET       | Réseau de mesure automatique des aérosols                                                                                                | EFEDA        | Expérience relative aux interactions surface-atmosphère, conduite dans le sud est de l'Espagne à l'été 1991                      |
| AIDA          | Système d'Analyse et Interprétation des Données Avion"                                                                                   | EGOS         | Groupe européen sur les stations de mesures en mer                                                                               |
| ALADIN        | Projet de Lidar vent satellital                                                                                                          | EGS          | Société européenne de géophysique                                                                                                |
| ALADIN        | Version à domaine limité du modèle Arpège                                                                                                | ELMASIFA     | Programme d'études sur le climat du bassin méditerranéen                                                                         |
| AMIP          | Comparaison internationale de modèles de climat                                                                                          | EMATREF      | Expérience de terrain (forêt des Landes) concernant le transfert radiatif dans les couverts                                      |
| ANENA         | Association Nationale pour l'Etude de la Neige et des Avalanches                                                                         | ENVISAT      | Projet de satellite européen d'étude de l'environnement                                                                          |
| ARAT          | Avion de Recherche Atmosphérique et de Télédétection                                                                                     | ENM          | Ecole Nationale de la Météorologie (Météo-France)                                                                                |
| ARGOS         | Système de positionnement d'un mobile par satellite                                                                                      | EPS          | Futur satellite météorologique défilant européen                                                                                 |
| ARPEGE        | Modèle de prévision numérique opérationnel de Météo-France                                                                               | ERS1 et ERS2 | Satellites européens de télédétection de la Terre                                                                                |
| ARPEGE-CLIMAT | Modèle de recherche de Météo-France (CNRM) sur le climat.                                                                                | ESA          | Agence Spatiale Européenne                                                                                                       |
| ASPIC         | Expérimentation dans le domaine de la prévision immédiate                                                                                | ESCOMPTE     | Expérience sur Site pour Contraindre les Modèles de Pollution atmosphérique et de Transports d'Emissions (Fos-Berre, été 2001)   |
| ASPOC         | Application de Signalisation et de Prévision d'Orages pour le Contrôle aérien                                                            | ESQUIF       | Etude et Simulation de la Qualité de l'Air en Ile-de-France                                                                      |
| ASTRAIA       | Radar doppler aéroporté                                                                                                                  | EUCREM       | Programme européen d'inter comparaison de modèles de nuages                                                                      |
| AVHRR         | Radiomètre perfectionné à très haute résolution                                                                                          | EUCREX       | Expérience européenne sur les nuages et le rayonnement (1994)                                                                    |
| BOREAS        | Programme d'Etudes de la forêt boréale                                                                                                   | EUMETSAT     | Organisation européenne pour l'exploitation de satellites météorologiques                                                        |
| CAM           | Centre d'Aviation Météorologique (Météo-France)                                                                                          | EUROGRIPS    | Contribution européenne au projet GRIPS                                                                                          |
| CANARI        | Système d'analyse objective par interpolation optimale                                                                                   | EXPRESSO     | Etude de la physico-chimie de la couche limite                                                                                   |
| CATCH         | Campagne de mesures météo-océanographique conduite en Atlantique nord durant FASTEX                                                      | FASTEX       | Expérience sur le "rail" des dépressions atlantiques et les fronts, conduite en Atlantique nord début 1997                       |
| CEA           | Commissariat à l'Energie Atomique                                                                                                        | FETCH        | Campagne de mesures sur les échanges océan-atmosphère conduite en Méditerranée occidentale en avril 1998                         |
| CEDRE         | Centre de Documentation, de Recherche et d'Expérimentation sur les pollutions accidentelles des eaux                                     | FULL POS     | Logiciel de post traitement des résultats de modèles numériques                                                                  |
| CEMAGREF      | Centre National du Machinisme Agricole du Génie Rural, des Eaux et des Forêts                                                            | GAME         | Groupe d'Etude de l'Atmosphère Météorologique (Unité de Recherche Associée 1357 CNRS/Météo-France)                               |
| CEN           | Centre d'Etudes de la Neige (Météo-France)                                                                                               | GCSS         | Projet relatif à l'étude des systèmes nuageux dans le cadre de GEWEX (expérience globale sur l'énergétique et le cycle de l'eau) |
| CEPMET        | Centre Européen pour les Prévisions Météorologiques à Moyen Terme                                                                        | GELATO       | Modèle dynamique et thermodynamique de banquise                                                                                  |
| CERFACS       | Centre Européen de Recherche et de Formation Avancée en Calcul Scientifique                                                              | GELCRO       | Projet portant sur les interactions entre neige et chaussée                                                                      |
| CESBIO        | Centre d'Etudes Spatiales de la Biosphère                                                                                                | GIVRAGE      | Etude du givrage des avions                                                                                                      |
| CETP          | Centre d'Etude des Environnements Terrestre et Planétaires                                                                               | GOES         | Satellite météorologique géostationnaire (Etats-Unis)                                                                            |
| CEV           | Centre d'Essais en Vol                                                                                                                   | GRIPS        | Projet international relatif à la comparaison entre modèles et réalité pour les processus stratosphériques                       |
| CFR           | Centre des Faibles Radioactivités                                                                                                        | GPS          | Système de positionnement par satellite                                                                                          |
| CIG           | Centre d'Informatique Géologique                                                                                                         | GSWP         | Programme de recherche sur l'humidité des sols                                                                                   |
| CLAUS         | Projet visant à faciliter aux modélisateurs du climat l'accès aux archives de données nuageuses satellitales                             | HERA         | Programme d'étude des précipitations alpines intenses                                                                            |
| CLIF          | Projet sur la "Couche Limite en Ile de France"                                                                                           | HIRETYCS     | Programme de simulations à haute résolution de 10 années du climat passé                                                         |
| CLIVAR        | Programme d'étude de la variabilité et de la prévisibilité du climat                                                                     | HIRLAM       | Programme de recherche en prévision numérique                                                                                    |
| CLOUDS        | Projet de satellite d'acquisition d'informations sur les structures nuageuses et les paramètres radiatifs associés                       | HIRS         | Sondeur satellital infra rouge à haute résolution                                                                                |
| CLOUDY COLUMN | Composante de l'expérience ACE2 relative au couplage entre propriétés physico chimiques des aérosols et propriétés radiatives des nuages | HYDRAM       | Développement d'applications d'hydrologie quantitative à partir de mesures radar                                                 |
| CMM           | Centre de Météorologie Marine (Météo-France)                                                                                             | IASI         | Interféromètre infra rouge satellital de EPS                                                                                     |
| CMS           | Centre de Météorologie Spatiale (Météo-France)                                                                                           | ICE          | Expérience internationale d'étude des nuages de glace (1989)                                                                     |
| CNES          | Centre National d'Etudes Spatiales                                                                                                       | IFREMER      | Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer                                                                     |
| CNRM          | Centre National de Recherches Météorologiques (Météo-France)                                                                             | IFS          | Modèle de prévision numérique du CEPMMT                                                                                          |
| CNRS          | Centre National de la Recherche Scientifique                                                                                             | IGAC         | Projet international d'étude globale de la chimie atmosphérique                                                                  |
| COARE         | Expérience sur les réactions du système couplé océan-atmosphère                                                                          | IGBP         | Programme international "Géosphère-Biosphère"                                                                                    |
| COMPARE       | Comparaison internationale de résultats de modèles de prévision                                                                          | IMFT         | Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse                                                                                    |
| COST          | Coopération Européenne Scientifique et Technique                                                                                         | INERIS       | Institut National de l'Environnement et des Risques                                                                              |
| CRA           | Centre de Recherche Atmosphérique                                                                                                        | INM          | Institut National Météorologique Espagnol                                                                                        |
| CROCUS        | Modèle d'évolution du manteau neigeux                                                                                                    | INRA         | Institut National de la Recherche Agronomique                                                                                    |
| CWINDE        | Expérimentation européenne de réseaux de profilers de vent                                                                               | INSU         | Institut National des Sciences de l'Univers                                                                                      |
| DIR           | Direction Interrégionale de Météo-France                                                                                                 | IPSL         | Institut Pierre Simon Laplace                                                                                                    |
| DLR           | Organisme national allemand de recherche et d'essais dans les domaines spatial, atmosphérique et environnemental                         | ISARD        | Appareil de détection et de quantification du transport de neige                                                                 |
| DMI           | Institut Météorologique du Danemark                                                                                                      | ISBA         | Schéma numérique d'échanges sol-végétation-atmosphère                                                                            |
|               |                                                                                                                                          | ISCCP        | Projet international relatif à la climatologie satellital des nuages                                                             |
|               |                                                                                                                                          | LA           | Laboratoire d'Aérodynamique                                                                                                      |

|            |                                                                                                                        |                    |                                                                                                                                               |
|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| LACE       | Programme de recherche en prévision numérique                                                                          | PROTEON            | Outil de prévision locale du transport de neige par le vent                                                                                   |
| LBA        | Expérience sur le couplage biosphère-atmosphère à grande échelle (Amazonie)                                            | PROVOST            | Programme européen de recherche sur la prévision saisonnière                                                                                  |
| LEANDRE    | Lidars aéroportés pour l'étude des aérosols, des nuages, de la dynamique, du rayonnement et du cycle de l'eau          | PYREX              | Expérience relative à l'influence d'un relief montagneux sur l'écoulement atmosphérique (Pyrénées, 1990)                                      |
| LEGOS      | Laboratoire d'Etudes en Géophysique et Océanographie Spatiales                                                         | RADOME             | Réseau d'Acquisition de Données d'Observations Météorologiques Etendu                                                                         |
| LFA        | Logiciels de fichiers                                                                                                  | RASS               | Système de sondage acoustique de l'atmosphère associé à un radar ST                                                                           |
| LGGE       | Laboratoire de Glaciologie et Géophysique de l'Environnement                                                           | RENE               | Etude de la houle des vents en surface de l'océan                                                                                             |
| LIDAR      | Radar à laser                                                                                                          | RESSAC             | Radar pour l'observation de certaines caractéristiques de la surface océanique                                                                |
| LMD        | Laboratoire de Météorologie Dynamique                                                                                  | REPROBUS           | Modèle de chimie stratosphérique                                                                                                              |
| LOA        | Laboratoire d'Optique Atmosphérique                                                                                    | SAF                | Satellite Application Facility                                                                                                                |
| LODYC      | Laboratoire d'Océanographie Dynamique et de Climatologie                                                               |                    | Centre d'applications satellitaires d'Eumetsat                                                                                                |
| LSCE       | Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement                                                               | SAFRAN             | Système d'analyse des données nivo-météorologiques                                                                                            |
| LSPCR      | Projet relatif à la réponse du climat aux processus de surface continentale                                            | SAME               | Projet sur les avalanches en Europe (cartographie, avertissements)                                                                            |
| LTHE       | Laboratoire d'Etude des Transferts en Hydrologie et Environnement                                                      | SAOZ               | Spectromètre utilisé pour la mesure d'ozone                                                                                                   |
| MAGRET     | Schéma numérique d'échanges sol-végétation-atmosphère                                                                  | SCEM               | Service Central d'Exploitation de la Météorologie (Météo-France)                                                                              |
| MAP        | Projet international et expérience de terrain associée relatifs à l'étude des phénomènes de méso-échelle sur les Alpes | SCME               | Système Convectif de Méso-Echelle                                                                                                             |
| MASDEV     | Cycles de développement du modèle Meso NH                                                                              | SCMS               | Expérience sur les petits nuages convectifs (1995)                                                                                            |
| MASSIF     | Projet relatif à l'étude des aspects météorologiques de IASI                                                           | SEASONAL FORECASTS | Programme européen relatif à la variation du climat sur des durées saisonnières et inter annuelles                                            |
| MEPRA      | Système expert d'aide à la prévision des avalanches                                                                    | SEMAPHORE          | Campagne de mesures météo-océanographique au large des Açores (1993)                                                                          |
| MERCATOR   | Projet de modèle opérationnel de l'océan mondial                                                                       | SESAME             | Expérience européenne sur l'ozone stratosphérique dans l'hémisphère Nord (1995)                                                               |
| MESO-NH    | Modèle Non-Hydrostatique de recherche                                                                                  | SETIM              | Service des Equipements et des Techniques Instrumentales de la Météorologie, dorénavant "Direction des Systèmes d'Observation" (Météo-France) |
| METEOSAT   | Satellite Météorologique géostationnaire européen                                                                      | SEVIRI             | Imageur visible et infra rouge du futur satellite Meteosat seconde génération                                                                 |
| METOP      | Futur satellite européen défilant à orbite polaire                                                                     | SHIVA              | Programme d'étude de la mousson d'été indienne                                                                                                |
| MOBILHY    | Modélisation du Bilan Hydrique                                                                                         | SHOM               | Service Hydrographique et Océanographique de la Marine                                                                                        |
| MOCAGE     | Modèle planétaire de chimie de la troposphère et de la stratosphère                                                    | SIG                | Système d'Information Géographique                                                                                                            |
| MODCOU     | Modèle hydrologique                                                                                                    | SIMBAD             | Réseau de mesures par bouées sur l'Atlantique                                                                                                 |
| MOZAIC 2   | Mesure de l'Ozone sur des avions Airbus Commerciaux                                                                    | SLAPS              | Ensemble partagé de procédures pour le traitement des données avion                                                                           |
| MOZART     | Mesures d'Ozone à bord d'Avions Régionaux et de Trains à Grande Vitesse                                                | SMOC               | Système Mondial d'Observation du Climat                                                                                                       |
| MSG        | Satellite Météosat de Seconde Génération                                                                               | SMOS               | Projet de mesure de l'humidité des sols et de la salinité des océans par télédétection micro ondes satellitale                                |
| MUREX      | Site expérimental de mesure de flux en région Toulousaine                                                              | SODA               | Projet relatif à la détermination de la distribution d'ozone par assimilation de données satellitaires                                        |
| NCAR       | Centre National de Recherches Atmosphériques des Etats-Unis                                                            | SSM/I              | Imageur micro-ondes du satellite DSMP                                                                                                         |
| NEPHOS     | Etude des caractéristiques des nuages de grande dimension                                                              | STAAARTE           | Projet permettant l'accès des chercheurs aux avions de recherche atmosphérique européens                                                      |
| NIVOSE     | Station automatique de Haute montagne                                                                                  | SUC                | Sciences de l'Univers au CERFACS                                                                                                              |
| NOAA       | Administration Américaine pour les Océans et l'Atmosphère                                                              | SWADE              | Expérience sur houle et vent en surface de l'océan (1991)                                                                                     |
| NUAC       | Etude des composés chimiques des précipitations                                                                        | SYAGE              | Programme d'étude des tourbillons de sillage des avions (aéroport de Toulouse Blagnac)                                                        |
| OASIS      | Programme de couplage de modèles atmosphérique et océanique                                                            | SYMPOSIUM          | Système automatisé multi-usagers de diffusion de prévisions par zones climatiques homogènes                                                   |
| OMM        | Organisation Météorologique Mondiale                                                                                   | TEB                | Schéma de surface pour la modélisation des zones urbaines                                                                                     |
| OMP        | Observatoire Midi-Pyrénées                                                                                             | TOAST C            | Expérience sur les échanges tropo-stratosphériques d'ozone (1996/97)                                                                          |
| ONERA      | Office National d'Etudes et de Recherches Aérospatiales                                                                | TOGA               | Programme d'étude des océans tropicaux et de l'atmosphère du globe                                                                            |
| OPA        | Modèle de simulation océanique                                                                                         | TOMS               | Spectromètre imageur d'ozone total                                                                                                            |
| OPERA      | Préfiguration d'un système de suivi opérationnel de l'océan                                                            | TOPOZ              | Projet relatif à la prévision de l'ozone stratosphérique                                                                                      |
| PATOM      | Programme Atmosphère et Océan à Méso-Echelle                                                                           | TOSCANE            | Expérience sur l'interface océan-atmosphère (1985/87)                                                                                         |
| PEP        | Etude de la microphysique des nuages                                                                                   | TOVS               | Sondeur vertical opérationnel des satellites défilants américains                                                                             |
| PILPS      | Projet de comparaison des schémas de surface des principaux modèles climatiques mondiaux                               | UARS               | Satellite de recherche en haute atmosphère (NASA)                                                                                             |
| PIRATA     | Réseau (pour la recherche) de bouées ancrées dans l'Atlantique tropical                                                | UHF                | Gamme des "ultra hautes fréquences"                                                                                                           |
| PNCA       | Programme National de Chimie Atmosphérique                                                                             | UKMO               | Service Météorologique du Royaume-Uni                                                                                                         |
| PNEDC      | Programme National d'Etude de la Dynamique du Climat                                                                   | UTC                | Temps Universel Coordonné                                                                                                                     |
| PNRH       | Programme National de Recherche en Hydrologie                                                                          | VHF                | Gamme des "très hautes fréquences"                                                                                                            |
| PNRN       | Programme National Risques Naturels                                                                                    | WAMP               | Projet relatif à l'étude de la mousson d'Afrique de l'ouest                                                                                   |
| PNTS       | Programme National de Télédétection Spatiale                                                                           | WIND               | Lidar Doppler Aéroporté                                                                                                                       |
| POI        | Période d'Observation Intensive                                                                                        | WOCE               | Expérience mondiale concernant la circulation océanique                                                                                       |
| POLAR SNOW | Projet européen relatif à l'étude du manteau neigeux en Antarctique                                                    |                    |                                                                                                                                               |
| POLDER     | Radiomètre embarqué sur le satellite Adeos                                                                             |                    |                                                                                                                                               |
| POMME      | Programme Océanographique Mutidisciplinaire Méso-Echelle                                                               |                    |                                                                                                                                               |
| PORTOS     | Radiomètre profileur hyper fréquences                                                                                  |                    |                                                                                                                                               |
| POTENTIAL  | Projet européen relatif au perfectionnement des simulations à long terme de l'atmosphère                               |                    |                                                                                                                                               |
| PRECOCE    | Campagne de mesures en mer                                                                                             |                    |                                                                                                                                               |
| PRIMEQUAL  | Programme de Recherche Inter organismes pour une Meilleure Qualité de l'Air à l'Echelle Locale                         |                    |                                                                                                                                               |
| PROFIL     | Projet relatif à la réalisation d'un radar profileur de vent opérationnel                                              |                    |                                                                                                                                               |