



Recherche & Développement 2002

Centre National de Recherches Météorologiques

42 avenue G. Coriolis
31057 Toulouse Cedex 1
Tél. : (33) 5.61.07.93.70
Fax. : (33) 5.61.07.96.00
<http://www.cnrm.meteo.fr>

Crédits photographiques Météo-France
Edition : Météo-France
Direction commerciale et de la communication
Réalisation : format - Éditions Courcoux
Design et maquette : Philippe Tur
Achevé d'imprimer sur les presses de l'imprimerie Fot, Pusignan
© Météo-France, 2003 – Dépôt légal : juillet 2003
ISSN 1166-732X



Direction générale
1, quai Branly - 75340 Paris Cedex 07 - Tél. : 01 45 56 71 71 - www.meteo.fr



Sommaire

Avant propos	2
Modélisation	4
Processus atmosphérique	13
Campagnes expérimentales	20
Étude du climat et de l'environnement de la planète	26
Développements instrumentaux	34
Activités de développement	38
Organigramme du CNRM	44



Glossaire des sigles, acronymes et abréviations

3D-VAR	Assimilation variationnelle tridimensionnelle	IFREMER	Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la Mer
4D-VAR	Assimilation variationnelle quadrimensionnelle	IFS	Modèle de prévision numérique du CEPMT
AASQA	Associations agréées de surveillance de la qualité de l'air	IGBP	Programme international "Géosphère-Biosphère"
ACE 2	Campagne internationale sur les aérosols et leur influence sur le climat		Institut Géographique National
ADEME	Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie	IMFT	Institut de Mécanique des Fluides de Toulouse
ADEOS	Satellite d'observation de la terre en orbite polaire (USA)	INERIS	Institut National de l'Environnement et des Risques
AIRPARIF	Association chargée de la surveillance dela qualité de l'air en Ile-de-France	INRA	Institut National de la Recherche Agronomique
		INSU	Institut National des Sciences de l'Univers
ALADIN	Projet de Lidar vent satellital	IPSL	Institut Pierre Simon Laplace
ALADIN	Version à domaine limité du modèle Arpège	ISBA	Schéma numérique d'échanges sol-végétation-atmosphère
ALADIN-NH	Version non hydrostatique d'Aladin	LA	Laboratoire d'Aérodlogie (CNRS/Université Paul Sabatier de Toulouse)
ALATNET	Réseau de recherche et de formation relatif à Aladin	LACE	Programme de recherche en prévision numérique
ARAT	Avion de recherche Atmosphérique et de Télédétection	LEGOS	Laboratoire d'études en Géophysique et Océanographie Spatiales
ARAMIS	Réseau opérationnel de radars précipitations de Météo-France	LGGE	Laboratoire de Glaciologie et Géophysique de l'Environnement
ARGOS	Système de positionnement d'un mobile par satellite	LIDAR	Radar à laser
AROME	Application de la Recherche à l'Opérationnel à Més0-Echelle	LISA	Laboratoire Inter-universitaire des Systèmes Atmosphériques
ARPEGE	Modèle global de prévision numérique opérationnel de Météo-France	LMD	Laboratoire de Météorologie Dynamique
ARPEGE-CLIMAT	Modèle de recherche de Météo-France (CNRM) sur le climat	LOA	Laboratoire d'Optique Atmosphérique
ASPIC	Expérimentation dans le domaine de la prévision immédiate	LODYC	Laboratoire d'Océanographie Dynamique et de Climatologie
ASPOC	Application de Signalisation et de Prévision d'Orages pour le Contrôle aérien	LSCE	Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement
		LTHE	Laboratoire d'Etude des Transferts en Hydrologie et Environnement
ATR 42	Nouvel avion de Météo-France	MAP	Projet international et expérience de terrain associée relatifs à l'étude des phénomènes de méso-échelle sur les Alpes
AVHRR	Radiomètre perfectionné à très haute résolution	MASSIF	Projet relatif à l'étude des aspects météorologiques de IASI
BBC	Expérience "Baltex Bridge Cloud "	MEPRA	Système expert d'aide à la prévision des avalanches
CAM	Centre d'Aviation Météorologique (Météo-France)	MERCATOR	Projet de modèle opérationnel de l'océan mondial
CEN	Centre d'Etudes de la Neige (Météo-France)	MESO-NH	Modèle Non-Hydrostatique de recherche
CEPMET	Centre Européen pour les Prévisions Météorologiques à Moyen Terme	METEOSAT	Satellite Météorologique géostationnaire européen
CERFACS	Centre Européen de Recherche et de Formation Avancée en Calcul Scientifique	METOP	Futur satellite européen défilant à orbite polaire
CESBIO	Centre d'Etudes Spatiales de la Biosphère	MOGAGE	Modèle planétaire de chimie de la troposphère et de la stratosphère
CETP	Centre d'Etude des Environnements Terrestre et Planétaires	MODCOU	Modèle hydrologique
CLOUDY COLUMM	Composante de l'expérience ACE2 relative au couplage entre Propriétés physico chimiques des aérosols et propriétés radiatives des nuages	MOZAIC 2	Mesure de l'Ozone sur des avions Airbus Commerciaux
CMM	Centre de Météorologie Marine (Météo-France)	MOZART	Mesures d'Ozone à bord d'Avions Régionaux et de Trains à Grande Vitesse
CMS	Centre de Météorologie Spatiale (Météo-France)	MSG	Satellite Météosat de Seconde Génération
CNES	Centre National d'Etudes Spatiales	NCAR	Centre National de Recherche Atmosphérique (USA)
CNRM	Centre National de Recherches Météorologiques (Météo-France)	NIVOSE	Station automatique de Haute montagne
CNRS	Centre National de la Recherche Scientifique	NOAA	Administration Américaine pour les Océans et l'Atmosphère
COARE	Expérience sur les rédactions du système couplé océan-atmosphère	OASIS	Programme de couplage de modèles atmosphérique et océanique
COST	Coopération Européenne Scientifique et Technique	OLIVE	Outil de Lancement Interactif et de Visualisation d'Expériences
CROCUS	Modèle d'évolution du manteau neigeux	OMM	Organisation Météorologique Mondiale
DDE	Direction Départemental de l'Equipeement	ONERA	Office Nationale d'Etudes et de Recherches Aérospatiales
DEMETER	Development of a European Multimodel Ensemble system for seasonal to inTERannual prediction	OPA	Modèle de simulation océanique
DIR	Direction Interrégionale de Météo-France	PATOM	Programme Atmosphère et Océan à Més0-Echelle (Insu)
DLR	Organisation national allemand de recherche et d'essais dans les Domaines spatial, atmosphérique et environnemental	PCRD	Programme Cadre de Recherche et Développement de la Commission Européenne
DP	Direction de la production (Météo-France)	PEACE	Prévision d'ensemble
DRAST	Direction de la Recherche et des Affaires Scientifiques et Techniques du Ministère des Transports	PIRATA	Réseau (pour la recherche) de bouées ancrées dans l'Atlantique Tropical
DSI	Direction des systèmes d'informations (Météo-France)	PNCA	Programme Nationale de Chimie Atmosphérique
DSO	Direction des systèmes d'observation (Météo-France)	PNEDC	Programme National d'Etude de la Dynamique du Climat
DYCOMS	DYnamics and Chemistry Of Marine Stratocumulus	PNRH	Programme National de Recherche en Hydrologie (insu)
ECSN	Réseau de soutien européen aux études climatiques	PNRN	Programme National Risques Naturels
EGOS	Groupe européen sur les stations de mesures en mer	PNTS	Programme National de Télédetection Spatiale
ENVISAT	Projet de satellite européen d'étude de l'environnement	POI	Période d'Observation Intensive
ENM	Ecole Nationale de la Météorologie (Météo-France)	POLDER	Radiomètre embarqué sur le satellite Adeos
ERA	ECMWF Re-Analysis (ré-analyse de situations météorologiques passées par le CEPMT)	POMME	Programme Océanographique Multidisciplinaire Més0-Echelle
ERS1 et ERS2	Satellites européens de télédetection de la Terre	PROMISE	Predictability and variability of monsoons and the agricultural and hydrological impacts of climate change
ESA	Agence Spatiale Européenne	RAMCES	Réseau Atmosphérique des Gaz à Effet de Serre l'écoulement atmosphérique (Pyrénées, 1990)
ESCOMPTE	Expérience sur Site pour Contraindre les Modèles de Pollution Atmosphérique et de Transports d'Emissions	RANDOME	Réseau d'Acquisition de Données d'Observation Météorologiques Etendu
ESQUIF	Etude et Simulation de la Qualité de l'Air en Ile-de-France	RASS	Système de sondage acoustique de l'atmosphère associé à un radar ST
EUCREX	Expérience européenne sur les nuages et le rayonnement (1994)	ROD	Rapidly Developing Thunderstorm, produit de prévision des orages à partir des données de MSG
EUMETSAT	Organisation européenne pour l'exploitation de satellites météorologiques	REPROBUS	Modèle de chimie stratosphérique
EUROSTARRS	Campagne de mesures organisée par l'agence spatiale européenne pour l'évaluation du projet SMO5	SAF	Satellite Application Facility
FASTEX	Expérience sur le " rail " des dépressions atlantiques et les fronts, conduite en Atlantique nord début 1997	SAFRAN	Système d'analyse des données nivo-météorologiques
GAME	Groupe d'Etude de l'Atmosphère Météorologique (Unité de Recherche Associée 1357 CNRS/Météo-France)	SEVIRI	Imageur visible et infra rouge du futur satellite Météosat seconde génération
GDR	Groupe De Recherche	SHOM	Service Hydrographique et Océanographique de la Marine
GELATO	Modèle dynamique et thermodynamique de banquise	SMOS	"oil Moisture and Ocean Salinity" , projet de mesure satellitaire de l'humidité des sols et de la salinité de l'océan
GELCRO	Projet portant sur les interactions entre neige et chausée	SNOWMIP	Snow Models Intercomparison Project
GMES	Programme d'Instrumentation Globale pour l'Environnement etla Sécurité	SYAGE	Programme d'étude des tourbillons de sillage des aéronefs (aéroport de Toulouse Blagnac)
GICC	Gestion et Impacts du Changement Climatique, programme du Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement	SYMPOSIUM	Système automatisé multi-usagers de diffusion de prévisions par zones climatiques homogènes
GIEC	Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat	TEB	Schéma de surface pour la modélisation des zones urbaines
GIVRAGE	Etude du givrage des avions	TOGA	Programme d'étude des océans tropicaux et de l'atmosphère du globe
GPS	Système de positionnement par satellite	TOVS	Sondeur vertical opérationnel des satellites défilants américains
GSWP	Programme de recherche sur l'humidité des sols	UHF	Gamme des " ultra haute fréquences "
HAPEx	Expérience pilote sur les relations entre les facteurs hydroliques et atmosphériques	UKMO	Service Météorologique du Royaume-Uni
IASI	Interféromètre infra rouge satellital de EPS	UTC	Temps Universel Coordonné
		UV	Ultra Violets
		VHF	Gamme des "très hautes fréquences"
		WAMP	Projet relatif à l'étude de la mousson d'Afrique de l'ouest
		WIND	Lidar Doppler Aéroporté



Recherche & Développement 2002



**METEO
FRANCE**



Avant propos

L'année 2002 nous place à mi-chemin du contrat d'objectifs de l'établissement, mais seulement au début de la concrétisation des grands axes prospectifs tracés en 1999. Les résultats de cette année ont été marqués par l'aboutissement d'actions lancées les années précédentes et par la réalisation de jalons décisifs dans nos projets pour le futur.

Dans le domaine de la modélisation numérique notamment, un travail important a été conduit à l'assimilation directe des radiances brutes issues des satellites défilants de la NOAA et des mesures de vent des radars ST. Très bénéfiques pour les scores de notre modèle de prévision Arpège, les nouvelles méthodologies tracent la voie pour l'utilisation des données du satellite Météosat Seconde Génération, lancé avec succès cette année. Les données de ce satellite seront très utiles pour notre futur système de prévision à méso-échelle, Arome, dont on a commencé cette année à préciser les éléments. Son cœur dynamique et son système d'assimilation seront basés sur le logiciel Aladin, lequel a démontré toutes ses qualités lors d'un exercice d'intercomparaison, alors que sa physique empruntera principalement les éléments du modèle Mésô-Nh.

Pour les échelles climatiques, on a continué à améliorer les différentes versions du modèle Arpège/Climat. Le potentiel de sa version couplée au modèle d'océan du Lodyc a été montré lors des expériences numériques de prévision saisonnière du projet Demeter qui le place dans le peloton de tête de l'ensemble des modèles européens impliqués.

Pour ce qui est de l'étude de l'évolution du climat, on notera les travaux importants réalisés à la Direction de la Climatologie qui montrent la réalité du réchauffement climatique sur la France et sa cohérence avec les simulations régionalisées effectuées par le CNRM.

Du point de vue de la stratégie de développement des modèles numériques et de la recherche d'une meilleure synergie entre communauté utilisatrices, il a été décidé d'une part, de faire converger d'ici deux ans les modules physiques employés dans les versions prévision numérique et climat d'Arpège, et de mettre en place un environnement logiciel capable d'intégrer les paramétrisations physiques utilisées par les équipes de modélisation du climat du CNRM et des laboratoires de l'IPSL d'autre part.

Le document de prospective recherche avait identifié la nécessité d'accroître notre activité dans un certain nombre de domaines émergents, en particulier l'hydrologie, la qualité de l'air et l'océanographie. Pour l'hydrologie, on notera cette année l'extension au bassin de la Seine du modèle Isba/Modcou complétant ainsi les modélisations déjà en place sur les bassins du Rhône et de la Garonne. La mise en mode opérationnel des analyses Safran permettant, conformément aux objectifs fixés, un suivi en temps quasi-réel du bilan hydrique sur la France.

En chimie de l'atmosphère, l'année a connu aussi d'importants développements. Le modèle Mocage, permettant la prévisions sur plusieurs jours de la composition chimique de l'atmosphère à l'échelle globale et régionale sur la France, a subi avec succès un premier test semi-opérationnel, montrant ses capacités à prévoir, tant la concentration des principaux oxydants à la surface pendant l'été que la formation du trou d'ozone dans la stratosphère au printemps de l'hémisphère sud. De plus, les premières simulations du modèle Mésô-Nh chimie appliquées aux Périodes d'Observations Intensives de la campagne Escompte 2001 sur la zone de l'étang de Berre ont démontré l'importance des phénomènes de petite échelle pour la qualité de l'air et la capacité du modèle à les reproduire.

Le développement de l'océanographie opérationnelle s'organise autour des trois composantes, les données satellites principalement l'altimétrie, les données in situ et la modélisation. Dans le cadre de cette phase pré opérationnelle, les équipes de recherche de Météo-France ont apporté en 2002 une contribution dans chacune des trois activités. Le satellite Jason 1 ayant été lancé avec succès le 7 décembre 2001, l'année 2002 a été consacrée à la validation des données et leur comparaison avec les observations de Topex-Poséidon. Dans ce cadre, l'équipe de DP/Prévi/Mar a apporté une contribution fondamentale et reconnue lors des réunions interna-

tionales. Les données Jason 1 sont transmises en temps quasi-réel sur le réseau SMT préparant ainsi la transition de la recherche vers l'opérationnel. La mise en place d'un programme inter-organismes pour la collecte et la mise à disposition des données in situ, appelé Coriolis, a également progressé. La contribution des chercheurs de Météo-France s'est concentrée sur la vérification des données des bouées avant collecte et introduction sur le Système Mondial de Transmission. Enfin, l'année 2002 a vu la constitution du GIP Mercator-Océan qui a mis en œuvre sur le super ordinateur de Météo-France un nouveau modèle prototype, PSY2, de l'océan atlantique avec une meilleure résolution. Les équipes de recherche ont pour leur part utilisé les résultats issus de Mercator dans le cadre de l'expérience inter-organisme Pomme et pour modéliser des dérives de nappes de pétrole en Méditerranée à l'aide du code Mothy.

Dans le domaine instrumental, c'est sans conteste l'évolution du projet de nouvel avion troposphérique qui marquera l'année. Après la signature du contrat avec les sociétés ATR et Sogerma, nous sommes entrés dans la phase de définition précise des modifications qui seront apportées à l'ATR42 pour en faire un vecteur de premier plan pour la recherche atmosphérique et la télédétection. L'année 2003 verra donc le chantier de modification et la réalisation de l'aménagement intérieur pour les premiers vols d'essai en fin d'année. Le nouvel avion sera livré sur la base de Toulouse/Franczal où il rejoindra le nouveau CAM qui prendra possession d'un hangar spacieux et de nouveaux bâtiments. Le comité scientifique consultatif a également donné un avis très favorable pour que l'ensemble de la flotte scientifique soit géré au sein d'une unité mixte (Safire) avec des moyens du CNRS/INSU, du Cnes et de Météo-France.

L'année écoulée a donc été très dense et l'on ne peut dresser une liste exhaustive des actions menées. Pour l'an prochain, outre les développements déjà mentionnés, des rendez-vous importants sont d'ores et déjà programmés: le renouvellement du GAME association des équipes toulousaines au CNRS, la réponse aux appels d'offres de l'Union européenne dans le cadre du 6e Programme Cadre Recherche et Développement, la mise en place de l'unité Safire de gestion des avions, et la poursuite du montage du projet Amma d'étude de la climatologie du continent ouest africain, dont le CNRM a pris la coordination. Il est notamment prévu dans ce cadre une grande campagne internationale à l'horizon 2005 avec un large engagement des moyens du CNRM et de l'ensemble de la communauté nationale.

Le Directeur de la Recherche

A handwritten signature in blue ink, reading 'D. Cariolle', with a horizontal line underneath.

D. Cariolle

Modélisation

Les activités de modélisation, tant opérationnelle que recherche, ont pris un essor important cette année avec le début de nombreux développements autour du projet “Arome”, futur modèle opérationnel de prévision à 2-3 km de résolution pour l’horizon 2008.

Utilisation des radiances brutes des instruments Atovs

Plusieurs modifications ont été introduites dans le système opérationnel de Météo-France le 24 octobre 2002. La principale est le remplacement des radiances “pré-processées” par les radiances “brutes” Atovs, suivie de l’introduction dans l’analyse des données issues des profileurs de vent et de la modification de l’utilisation des températures et des géopotentiels des radiosondages. Ces trois ingrédients ont fait l’objet de tests préalables individuels avant d’être réunis dans une chaîne en double pré-opérationnelle.

L’impact majeur provient de l’utilisation des radiances brutes mesurées par les radiomètres Amsua et Hirs à la place des radiances “pré-processées”. Disponibles plus rapidement, les radiances brutes bénéficient d’un traitement relativement constant dans le temps, ce qui assure une certaine stabilité du système. En revanche, il faut pallier le manque d’information nuageuse pour le contrôle de qualité des données. Ceci pose un

problème pour l’assimilation des radiances infra-rouges Hirs qui sont très affectées par la contamination nuageuse, ce qui justifie l’option que nous avons choisie de n’assimiler dans un premier temps que les données Amsua.

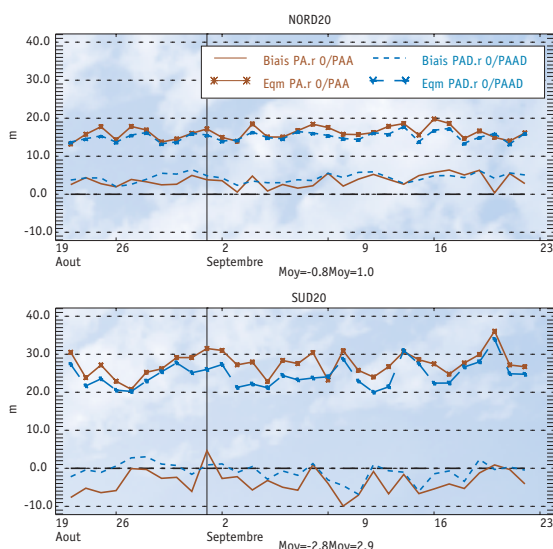
Compte tenu d’une meilleure couverture de données de radiances brutes (plus régulière, moins d’orbites manquantes) il s’avère que l’on est amené à utiliser dans l’analyse environ 50 % en plus de données micro-ondes Amsua. Il faut cependant noter la perte (provisoire) des canaux Hirs de NOAA-16. Des tests fins de détection nuageuse seront à régler avant de ré-introduire ces données sous leur forme brute.

L’impact sur les champs analysés et prévus de l’assimilation des radiances brutes dans le modèle Arpège a été testé individuellement. La chaîne en double contenant l’ensemble des modifications a été mise en route en juin 2002, cumulant au total une centaine de jours d’assimilation. On constate une amélioration localement importante à toutes les échéances sur le domaine Nord 20. Pour le domaine Sud 20, l’amélioration est considérable dans la stratosphère et moins importante dans la troposphère. Ces résultats sont assez stables d’un jour à l’autre (figure), ce qui indique la robustesse de ces améliorations.

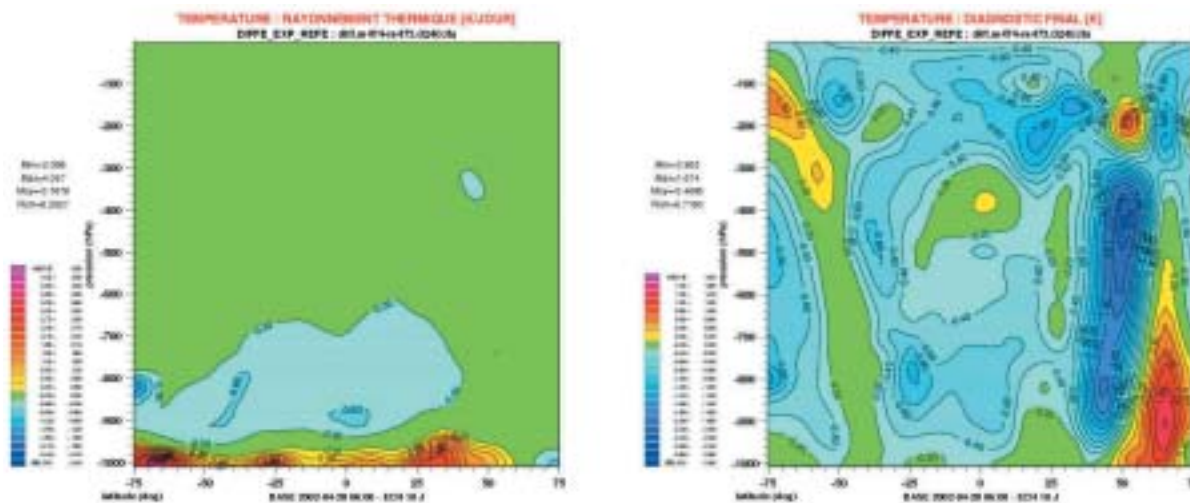
Un effet dynamique surprenant d’une faible modification du forçage radiatif dans la physique Arpège/Aladin

Le schéma de rayonnement est un élément central des modèles de prévision atmosphérique. C’est par lui que l’énergie entre et sort du système. On peut le considérer comme le régulateur de l’atmosphère. Une résolution complète du problème posé par les échanges radiatifs serait trop coûteuse en temps de calcul, il faut donc faire de nombreuses approximations.

Le schéma de rayonnement des modèles Arpège et Aladin est plus économique que ceux utilisés dans les autres centres météorologiques, mais en contre-partie les approximations y sont substantielles. Il n’y a qu’un seul intervalle spectral dans le solaire et l’infra-rouge respectivement. Surtout, les échanges infra-rouge sont simplifiés. On peut en effet considérer qu’il y a trois types d’échanges pour une couche donnée: les pertes vers l’espace, les échanges avec la surface et les échanges inter-couches. Dans la version opérationnelle, seules les pertes vers l’espace (prépondérantes) sont calculées exactement, les autres termes étant calculés de manière approximative. Il est néanmoins possible, pour un coût légèrement plus important, de calculer



Exemple (pour le domaine NORD20 en haut et le domaine SUD20 en bas) d’évolution comparée, jour par jour, des écarts quadratiques moyens (courbes en gras) et des biais des erreurs de prévision de la chaîne en double (en vert) et de l’opérationnel (en rose) pour le géopotentiel à 200 hPa à l’échéance 24h. Ces scores sont calculés par rapport à leur propre analyse.



exactement les échanges avec le sol. L'impact radiatif de cette modification est plutôt situé dans les basses couches de l'atmosphère (figure 1 gauche).

Les tests effectués sur des prévisions à trois jours indiquent que l'impact final est limité et plutôt symétrique par rapport à l'équateur (figure 1 droite). Des tests repris plus récemment en prévisions longues, puis en chaîne d'assimilation, ont montré que l'impact présente aussi un effet systématique avec forte rétroaction via le champ de vent. Ceci conduit sur dix jours, pour un même forçage, à une modification significative de la température (fig. 2 droite), dont l'impact positif devrait bientôt être rendu opérationnel.

Test de noyaux dynamiques non-hydrostatiques pour le futur modèle Arome

Le projet Arome (Applications de la recherche à l'opérationnel à mésoéchelle) vise à construire un modèle non-hydrostatique pouvant effectuer des prévisions à une résolution horizontale de l'ordre de 2 km en 2008. Un ingrédient crucial de ce système est le noyau dynamique, qui a été choisi en comparant plusieurs modèles : Méso-Nh, modèle de recherche du CNRM ; Aladin-Nh, prototype de modèle non-hydrostatique au

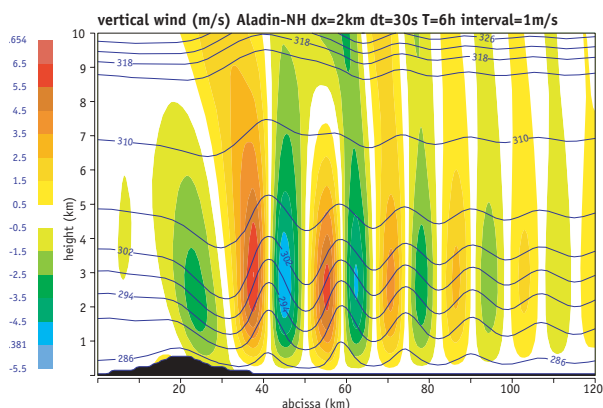
sein du logiciel opérationnel Arpège/Aladin ; et Hirlam-Nh, version non-hydrostatique du modèle communautaire des pays de la communauté Hirlam (le service météorologique anglais s'est récemment joint à cet exercice d'intercomparaison).

Les tests ont porté sur des études de cas idéalisés d'ondes orographiques, peu sensibles à l'inclusion de paramétrisations physiques, et dont les structures rappellent les phénomènes de convection intense que le projet Arome devra savoir prévoir. Les simulations bidimensionnelles d'ondes piégées (figure) ont notamment prouvé que Méso-Nh et Aladin-Nh sont tous deux physiquement réalistes. Le projet Arome sera construit autour d'Aladin-Nh, qui offre les meilleures perspectives en terme d'efficacité numérique et de maintenance logicielle.

Initialisation fine des prévisions par les satellites géostationnaires

Malgré leur richesse en information, les images produites par les satellites météorologiques géostationnaires ont été encore très peu utilisées pour initialiser les modèles de prévision numérique. L'évolution actuelle de la qualité des modèles (des résolutions horizontales opérationnelles de l'ordre du kilomètre sont prévues d'ici 5 ans) et des satellites (le récent Météosat Seconde Génération offre une résolution spatiale, temporelle et spectrale bien meilleure que celle des satellites géostationnaires précédents) permet de commencer à mettre au point l'utilisation directe des images observées par les satellites.

La stratégie des chercheurs de Météo-France repose sur la simulation directe des radiances dans les pixels en ciel clair, à l'aide d'un code simulant le transfert radiatif dans les canaux du satellite les plus sensibles à l'humidité, car des études préliminaires ont montré leur importance pour la prévision à courte échéance des phénomènes convectifs et des tempêtes.



Prévision à 3 jours : gauche - différences sur la tendance de température due au rayonnement (kelvin/jour, représentée en moyenne zonale) entre une expérience de référence et une expérience où on calcule exactement les échanges radiatifs entre l'atmosphère et le sol. Droite - différence des températures finales (kelvin) entre les deux prévisions.

Prévision à 10 jours : droite - Figure identique à la précédente. On observe que les différences de la tendance due au rayonnement sont similaires ; par contre l'impact en température est devenu très important (et favorable comme l'ont montré de nombreux tests).

Coupe verticale d'ondes orographiques simulées avec le noyau dynamique Aladin-Nh. Le vent souffle de la gauche vers la droite. La montagne est représentée par la courbe en cloche en bas de la figure. Les isolignes (iso-température potentielle) montrent les ondulations verticales de basses couches. Les zones de couleurs montrent les zones d'ascendances et de descentances, dont l'intensité atteint 8 m/s environ.

Estimations de réduction de la variance d'erreur de prévision dans la zone limitée par le trait vert sur l'Europe dues à différents déploiements de 40 dropsondes (sondes larguées par avion sous parachute). L'introduction dans le modèle des données issues des 40 dropsondes modifie la qualité de la prévision sur l'Europe selon leur plan de déploiement. La disposition des 2 meilleurs déploiements est montrée dans les cartes en insertion : l'un d'entre eux aurait pu faire l'objet d'un vol avion (en haut). La situation utilisée pour ces calculs est celle de la tempête du 26 décembre 1999.

En ciel couvert, des produits de classification nuageuse seront utilisés. Les données géostationnaires sont intéressantes pour leur haute résolution spatio-temporelle. Elles seront complétées, notamment, par les images radar, les radiances des satellites défilants et les messages des stations de surface et des avions.

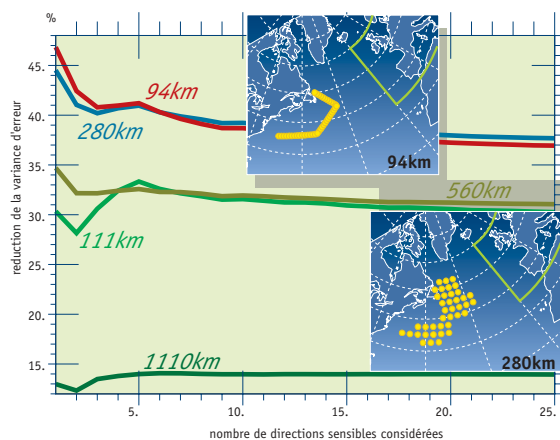
Conception d'une nouvelle méthode de décision pour l'observation adaptative

L'observation adaptative constitue l'un des réponses possibles des météorologistes face à la nature chaotique de l'atmosphère. Au cours des décennies récentes, on a pris conscience que la durée maximale de validité d'une prévision ou encore la prévisibilité d'une situation n'a aucune valeur intrinsèque, mais varie fortement au jour le jour selon le phénomène à prévoir et selon la situation elle-même. On peut espérer lisser les effets de la variation quotidienne de cette sensibilité aux conditions initiales de nos prévisions en ajustant chaque jour le système d'observation aux conditions du moment.

Suite aux premiers tests effectués à l'occasion du projet Fastex, une méthode de décision pour effectuer des observations dans les zones sources des plus grandes incertitudes pour les prévisions a été conçue, en intégrant d'une part l'étape d'assimilation et en fournissant d'autre part une mesure du bénéfice attendu. L'année 2002 a vu arriver une telle méthode s'appuyant sur des champs de sensibilité et sur le modèle adjoint de l'opération d'assimilation. Conçue par des chercheurs de Météo-France, elle permet d'associer à chaque déploiement d'observations nouvelles une réduction de la variance d'erreur de prévision d'un paramètre comme la pression de surface moyenne sur une zone.

Dans le cadre d'un projet coopératif avec le Ccpmm financé par la Marine des Etats-Unis, un visiteur scientifique a conçu une approche qui généralise d'une certaine manière cette méthode. Le cadre reste statistique : la nouvelle technique prévoit toujours une réduction de la variance d'erreur de prévision due à chaque déploiement possible testé sur la zone. Toutefois, au lieu d'une seule direction sensible, elle en utilise plusieurs et exploite la matrice des variances et covariances d'erreur de l'analyse.

Pas plus de trois ou quatre centres de recherches et de prévisions dans le monde maîtrisent ces techniques. Seuls les Etats-Unis ont, toutefois, les moyens de les mettre en œuvre, chaque hiver, pour améliorer la protection météorologique de leur côte Pacifique. Une expérimentation conduite par le programme Eucos pourrait toutefois avoir lieu à la fin de 2003.



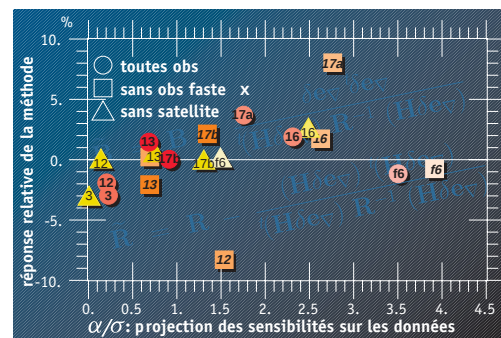
Du bon usage de la modification d'un état initial par des sensibilités

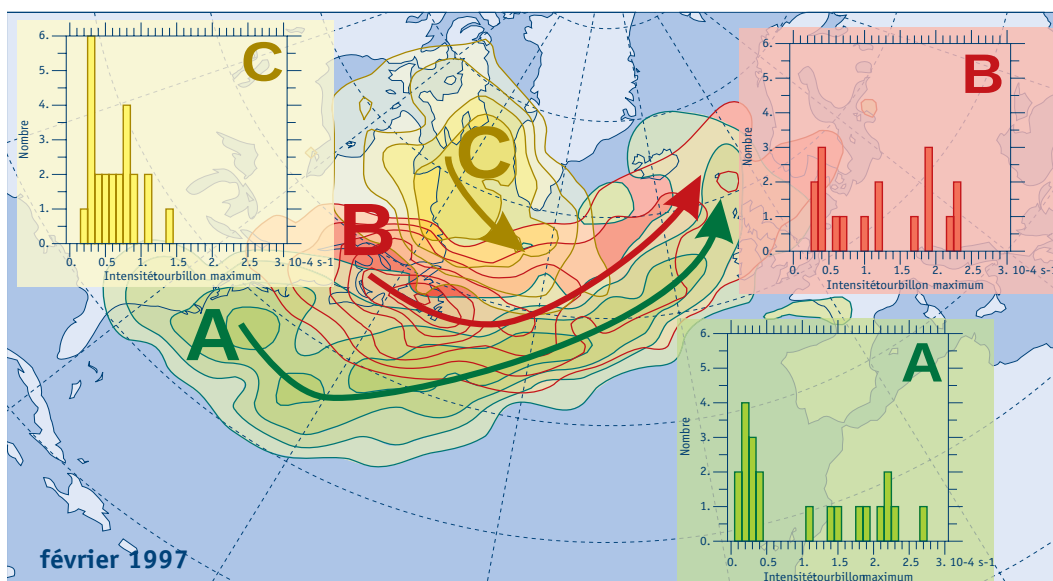
Les champs de sensibilité expriment en quoi une propriété prévue, par exemple la pression de surface moyenne sur une région, est fonction de l'état initial de cette prévision. Leur calcul réclame un modèle adjoint. De précédents rapports annuels montrent que l'on peut les utiliser par exemple pour apporter une correction à un état initial. Il en résulte des améliorations tout à fait remarquables de prévisions de fortes tempêtes. Toutefois, l'amélioration n'a rien de systématique. Si l'on n'observe pas de cas de franche dégradation des prévisions, le bilan d'ensemble est en revanche assez neutre.

Peut-on savoir, au moment d'appliquer une correction de ce type, si on peut en attendre un effet significatif et si l'on peut se fier à la réponse fournie ? Telle est la question abordée et largement résolue cette année, alors que, en parallèle, des prévisionnistes commencent de l'employer directement eux-mêmes dans le cadre du projet Symposium 2.

Une série de paramètres critiques de la méthode ont été identifiés. Il s'agit d'une part d'une norme de la sensibilité, d'autre part de l'estimation de la variance d'erreur du calcul de l'amplitude de la correction. Le premier paramètre dépend de la dynamique de la situation. Le second contient une mesure de la quantité d'observations disponibles là où les champs de sensibi-

Réponse relative de la méthode de correction des conditions initiales par des champs de sensibilité (en ordonnée) en fonction de l'amplitude de la correction « symbole alpha » normalisée par l'incertitude sur son estimation « symbole sigma » (en abscisse). Ce paramètre composite mesure la projection des champs de sensibilité sur les observations. Les différents symboles correspondent à différents systèmes d'observations (formes des symboles) appliqués à des cas de la campagne Fastex (numéros du cas dans les symboles). Une zone de comportement linéaire apparaît. Des valeurs anormales de « symbole sigma » et d'un autre paramètre non montré expliquent les cas sortant de ce comportement : l'ensemble permet de savoir si l'on peut avoir confiance dans la méthode ou non, au cas par cas. En arrière-plan, l'expression de l'équivalence de cette méthode avec la solution d'un problème d'assimilation variationnelle 3D.





Densités des trajectoires issues de trois zones notées A, B et C et identifiées par leur couleur. À chaque carte de densité est associé un histogramme montrant la distribution des intensités maximales atteintes. On a utilisé un algorithme de suivi automatique développé par Météo-France et la ré-analyse variationnelle de l'ensemble de la période de Fastex. L'intervalle de tracé est de 2,5 trajectoires par point.

lité sont de forte amplitude. En définitive, une plage de paramètres dans laquelle la méthode répond de manière prévisible et linéaire a été isolée (figure).

Identification automatique des régions de formation de nouvelles dépressions

Les recherches réalisées dans le cadre du projet Fastex (Expérience sur le rail des dépressions Atlantique et les fronts) comprennent une refonte complète des représentations du phénomène de tempête d'origine maritime. Cette refonte exploite l'idée moderne de structure cohérente pour caractériser un événement.

A partir d'une définition simple et robuste d'une tempête, un algorithme permet de constituer une collection "d'objets" météorologiques à partir d'une série plus ou moins longue d'analyses. Ici, chaque événement dépressionnaire est traduit par sa trajectoire et l'évolution de son intensité le long de cette trajectoire propre. Il n'existe que trois algorithmes originaux de ce type dans le monde, et un jeune chercheur de l'Etablissement est l'auteur de l'un d'eux, conçu voici quelques années spécialement pour étudier la naissance des tempêtes.

Disposant depuis 2002 d'une ré-analyse variationnelle de référence des données de la campagne de mesure Fastex, cet algorithme de suivi automatique a été remis en état en vue d'élaborer une nouvelle synthèse des cas observés à cette occasion. Un nouveau programme d'exploitation des trajectoires a été écrit, permettant de multiplier les diagnostics afin d'échapper aux particularismes des cas, et de dégager les grandes caractéristiques utiles pour, dans un contexte de prévision, penser ce phénomène et se faire une idée des risques associés.

A titre d'exemple, la figure montre les trois principales régions sources de dépressions en février 1997 (A, B, C). On constate ainsi que la zone C la plus productive de nouveaux noyaux dépressionnaires donne naissance à des systèmes qui, en fait, se développent et se déplacent peu. Les dépressions les plus intenses au large de l'Europe proviennent d'une vaste zone située grosso-modo au nord et à l'est des Bermudes.

Un nouveau schéma de rayonnement pour le modèle Més0-Nh

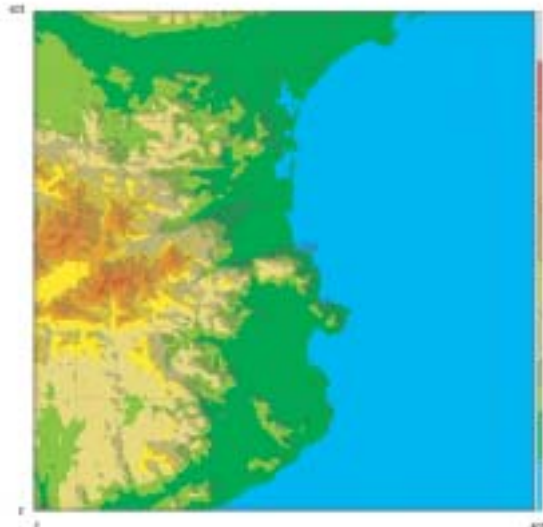
Le modèle atmosphérique de recherche Més0-Nh (modèle non-hydrostatique de méso-échelle) a été doté cette année d'une nouvelle paramétrisation des effets radiatifs adaptée du code informatique utilisé au Centre Européen de Prévision.

L'impact des aérosols (fines particules en suspension dans l'atmosphère) est maintenant pris en compte en imposant une distribution spatiale déduite soit de données climatologiques (pour chaque mois de l'année), soit de la nature du sol (mer, désert, ville, campagne). A terme, la concentration des aérosols pourra être directement prédite par le modèle Més0-Nh.

L'interaction entre l'eau nuageuse et le rayonnement a été mieux décrite car le modèle prévoit non seulement la quantité d'eau nuageuse, mais fournit aussi une indication sur le rayon des gouttes.

Les brises de pentes et de vallées sont bien connues des montagnards. Elles sont générées par la topographie complexe du fait de réchauffement (le jour) et du refroidissement (la nuit). L'établissement de ces brises, en début et fin de journée quand le soleil est bas, est de plus modulé par les ombres (en fond de vallée et en versant nord). Il est important d'en tenir compte pour

Ombres projetées par les massifs des Pyrénées orientales (en particulier celle du Canigou sur la plaine) lors du coucher du soleil en hiver. Le relief est en couleur, les ombres en grisé.



Prévision probabiliste de l'occurrence de température négative, effectuée à 15 UTC, valable pour 06 UTC le lendemain. Période d'octobre à mars, de 1997 à 2001. Régression Polymars couplée à une analyse discriminante flexible (en bleu) et une analyse discriminante linéaire (en vert). Le graphique représente le taux de détection (pourcentage des cas observés qui ont été prévus) en fonction du taux de fausse alarme (pourcentage des cas prévus qui étaient injustifiés). Chaque point de la courbe indique la performance pour un seuil donné de probabilité. La prévision par persistance (à partir de la température observée à 06 UTC) est représentée par le point rouge isolé. Le niveau de qualité de la prévision est indiqué par la position qu'occupe un point par rapport à l'angle supérieur gauche du graphique qui correspond à une prévision parfaite. On considère généralement que seule une prévision qui occupe le quadrant supérieur gauche présente une utilité pratique (taux de détection supérieur à 50%, taux de fausse alarme inférieur à 50%).

modéliser ces écoulements à fine échelle. Le calcul des ombres fait dans le modèle Mésio-Nh est maintenant complet en modélisant l'influence d'un massif montagneux sur les mailles voisines comme illustré sur la figure.

Utilisation de modèles non linéaires pour la prévision par adaptation statistique

Les méthodes statistiques classiquement utilisées à Météo-France pour la prévision locale sont basées sur une modélisation linéaire des relations entre une variable à prévoir et des prédicteurs issus de la prévision numérique. Ces méthodes sont utilisées avec succès pour la prévision de la température, du vent, de la nébulosité et de l'humidité.

La principale limitation de ces méthodes est que l'hypothèse de linéarité n'est pas toujours acceptable, en particulier lorsqu'on s'intéresse aux occurrences peu fréquentes de la variable à prévoir (basses visibilités, températures extrêmes, etc).

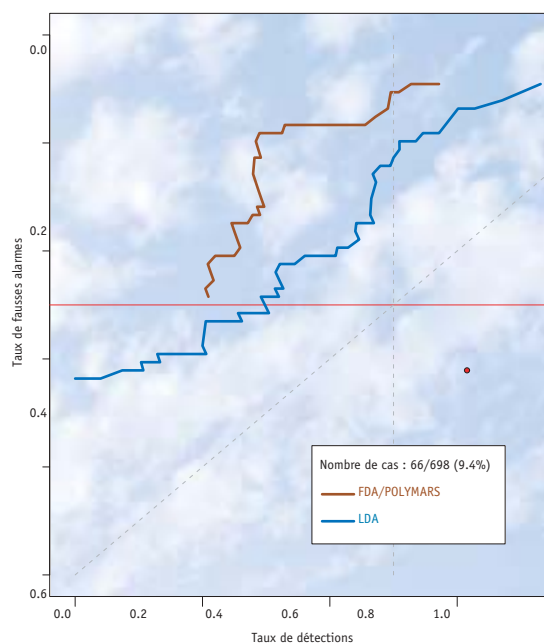
La plupart des méthodes statistiques non linéaires reposent sur l'utilisation de modèles additifs qui généralisent le modèle linéaire: l'estimation de la variable à prévoir est une somme de termes construits par combinaison et transformation non linéaires des prédicteurs. Les méthodes basées sur le modèle GAM (Generalized Additive Model) et les réseaux de neurones sont des exemples d'une telle approche.

Une première évaluation des méthodes de régression non linéaire Mars (Multivariate Adaptive Regression Splines) et Polymars (Polychotomous regression based on Mars) ainsi que d'un réseau de neurones a été réalisée en 2001, avec des résultats encourageants.

La FDA (Flexible Discriminant Analysis) permet d'effectuer une analyse discriminante à partir d'une méthode quelconque de régression additive. Cette méthode a été testée en 2002, conjointement à Polymars et à un réseau de neurones. Les résultats obtenus pour la prévision de température négative montrent l'intérêt de l'approche non linéaire (figure).

Diagnostics orientés objet pour la Prévision Immédiate de la Convection

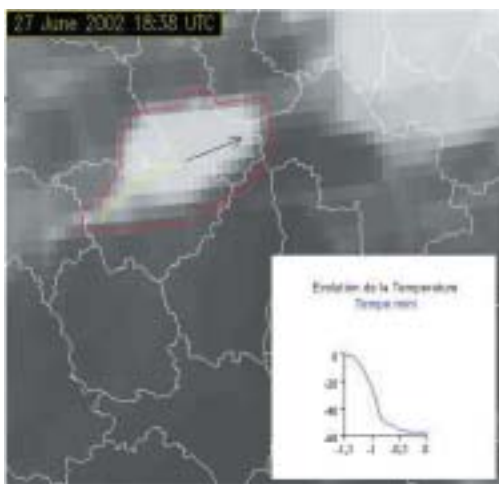
Le produit RDT (Rapid Developing Thunderstorms) du SAF-Nowcasting (Centre d'Applications satellitaires dédié à la prévision immédiate) est un outil d'analyse automatique orientée objet de la convection. Il réalise un suivi précoce et une caractérisation des systèmes convectifs à partir de l'imagerie infrarouge 10-12 microns des satellites géostationnaires.



L'application du logiciel RDT aux données "Rapid Scan" de Météosat a été rendue effective au cours de cette année. L'intérêt de ces données est qu'elles sont disponibles à la fréquence de 10 minutes. La précocité de détection et de suivi des systèmes convectifs s'en trouve donc renforcée. De plus, les performances de la méthode de discrimination satellitaire des systèmes convectifs devraient être augmentées. En effet, la disponibilité d'images à la cadence de 10 minutes permet d'observer plus précocement des taux de refroidissement du sommet des systèmes convectifs plus élevés qu'auparavant, et donc le potentiel discriminant de ce paramètre se trouve renforcé.

Enfin, l'année 2002 a été marquée par le début des développements portant sur les deux principales voies d'utilisation du produit RDT à Météo-France:

* Les OPIC (Objets de Prévision Immédiate de la Convection). Ces objets consistent en un enrichissement des objets RDT à partir d'autres sources données (foudre, radar, observations-sol) à cadence élevée (5 minutes).

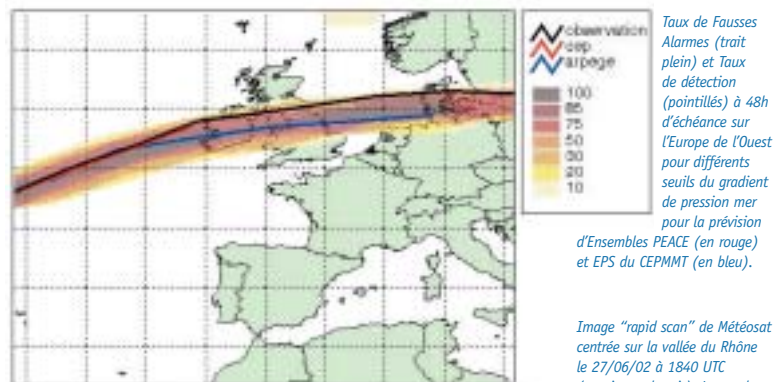


* Le suivi des cellules convectives en adaptant les principes de détection et suivi du logiciel RDT aux images radar.

Prévision d'Ensemble A Courte Échance

Météo-France désire disposer pour la courte échéance d'informations de type probabiliste, pour exprimer la marge d'erreur des prévisions. Pour cela, un système de Prévision d'Ensemble A Courte Échance (Peace) a été développé. Cet ensemble, basé sur le modèle Arpège, est dédié dans un premier temps à la détection des tempêtes. Il utilise la méthode des vecteurs singuliers pour échantillonner les incertitudes de l'état initial en ne retenant que les vecteurs ayant une influence sur l'Atlantique Nord et l'Europe de l'Ouest et pour produire des états initiaux "perturbés". 11 prévisions sont ensuite réalisées jusqu'à 48 h à partir des 10 états initiaux perturbés et de l'état initial non perturbé.

La prévision PEACE a été testée sur un échantillon de cas incluant des situations de tempêtes. A titre d'exemple, on présente ici les taux de fausses alarmes et de détection du gradient de la pression mer sur l'Europe de l'Ouest (figure) à l'échéance 48h et pour un seuil de probabilité de 30 %. On montre ainsi que l'ensemble PEACE détecte beaucoup mieux les forts gradients et produit moins de fausses alarmes que



d'Ensembles PEACE (en rouge) et EPS du CEPMMT (en bleu).

Image "rapid scan" de Météosat centrée sur la vallée du Rhône le 27/06/02 à 1840 UTC (en niveau de gris). La courbe bleue donne l'évolution temporelle (en °C) de la température de brillance du sommet du système convectif suivi par le logiciel RDT (axe des abscisses en heures). L'apport des données "rapid scan" permet au logiciel RDT d'observer un refroidissement du sommet du nuage 1,7 fois plus fort que celui observé à partir des données Météosat "opérationnelles".

l'Ensemble Prediction System du CEPMMT. Depuis le mois d'octobre 2002, le système est lancé tous les jours à partir de l'analyse 00 UTC. Une visualisation des onze prévisions sera bientôt possible sur les serveurs de développement Synergie de Météo-France. Durant l'hiver prochain, une expérimentation est prévue en collaboration avec DPREVI/Labo et les chefs prévisionnistes. Par la suite le système évoluera pour s'adapter également à la détection des fortes précipitations grâce à un couplage avec le modèle Aladin.

Modification interactive et inversion du tourbillon potentiel

Souvent, les prévisionnistes sont en mesure d'anticiper des erreurs dans les prévisions produites par les modèles numériques parce qu'ils ont pu identifier des erreurs dans les conditions initiales par comparaison entre la topographie de la surface appelée "tropopause dynamique" et les images fournies par le satellite Météosat dans le canal vapeur d'eau.

Grâce à une correction de la tropopause dynamique de l'analyse du modèle Arpège les prévisionnistes peuvent modifier les conditions initiales du modèle puis le relancer et ainsi produire un ensemble cohérent de prévisions compatibles avec le scénario synoptique qu'ils ont retenu. La modification est effectuée à la

a) Un décalage important entre les structures présentes sur l'image Météosat dans le canal vapeur d'eau et la tropopause dynamique de l'analyse Arpège justifie une correction. Les moyens d'actions pour corriger la tropopause dynamique sont indiqués par des flèches. Ils correspondent à une modification de l'amplitude ou de la position du signal présent dans une zone délimitée à la souris. La modification peut aussi s'effectuer isoligne par isoligne.

En (b) et (c) on distingue l'effet de la correction consistant à faire remonter l'altitude de la tropopause au milieu de la coupe verticale sur le champ de tourbillon potentiel 3D (la tropopause dynamique est représentée par l'isoligne en gras sur les coupes verticales).

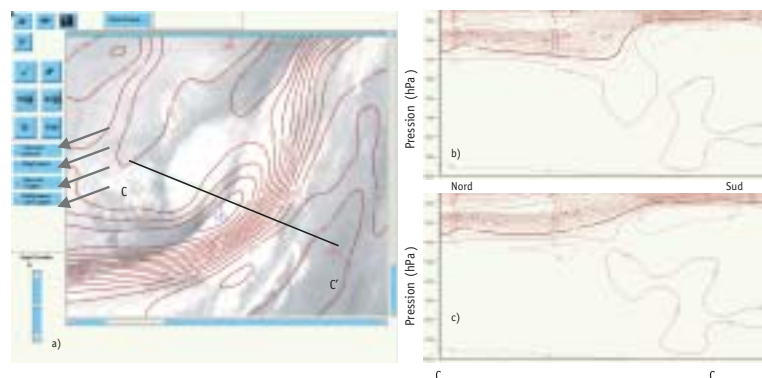


Image METEOSAT dans le canal
vapeur d'eau et image
synthétique réalisée à partir des
sorties de modèle.

souris grâce à un interface intégré sur la station de travail Synergie (figure (a)). La connaissance de la structure moyenne des erreurs de tourbillon potentiel permet de convertir les corrections de l'altitude de la tropopause en corrections de tourbillon potentiel 3D (voir b et c) converties finalement en corrections de vent et de température appliquées à l'analyse.

Cette dernière étape fait appel à un outil dit "d'inversion du tourbillon potentiel". Cette méthode correspond bien à la démarche de travail des prévisionnistes. Dans un futur contexte opérationnel, les prévisionnistes disposeront ainsi d'un outil efficace pour recalculer l'analyse du modèle par rapport aux images satellite.

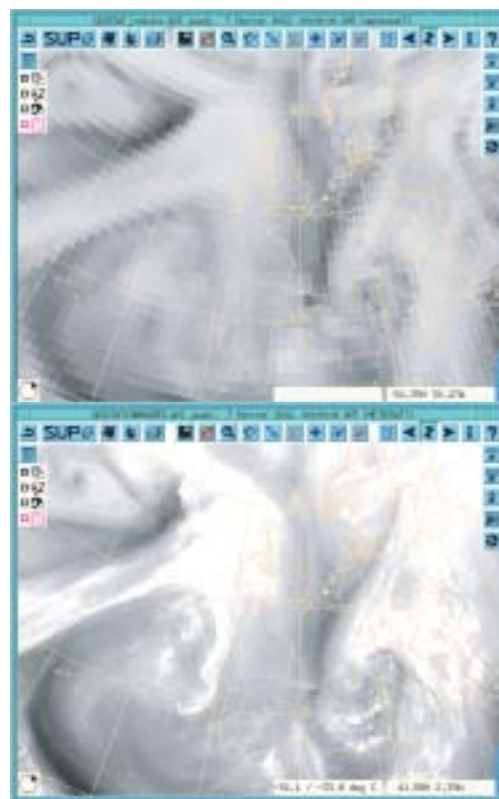
La trajectoire synoptique de référence : une année d'expérimentation

Diverses méthodes de production d'une Trajectoire Synoptique de Référence (TSR), prévision alternative après modification circonstanciée des conditions initiales ont été expérimentées sur une période de huit mois par des Chefs Prévisionnistes du Centre National de Prévision au Laboratoire de Prévision de Météo-France. Ceux-ci ont pu se familiariser avec les différents outils permettant de modifier l'état initial et de visualiser les prévisions correspondantes :

- * La modification consistant à ajuster au mieux les champs initiaux aux observations dans les zones de sensibilité maximale quant à l'évolution de la prévision, sur une zone cible choisie en privilégiant les possibles cyclogénèses, a rarement conduit à des prévisions vraiment différentes de celles du modèle opérationnel. Il est par conséquent difficile de porter un jugement définitif sur cette méthode.

- * La modification des conditions initiales par modification du tourbillon potentiel initial en se basant sur des comparaisons entre la topographie de la "tropopause dynamique" et les images fournies par le satellite Météosat dans le canal vapeur d'eau a été systématiquement testée par les prévisionnistes. La possibilité offerte au prévisionniste de visualiser une image vapeur d'eau synthétique réalisée à partir des champs prévus (figure) permet une critique du modèle. Les contrôles subjectifs, confirmés par des scores objectifs, montrent que l'intervention du prévisionniste conduit à une amélioration significative des prévisions dans près de 25 % des cas.

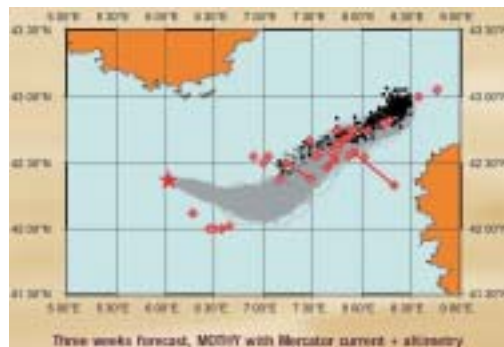
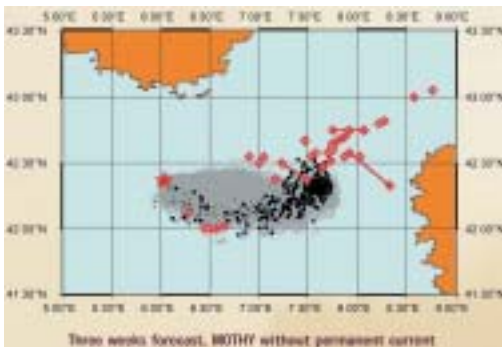
- * L'idée consistant à utiliser l'assimilation variationnelle 4DVAR pour rechercher comment modifier l'analyse opérationnelle, afin d'obtenir une prévision se rapprochant d'une prévision fournie par un autre modèle (CEPMMT), s'est révélée particulièrement efficace pour obtenir une "prévision intermédiaire" jusqu'à 48 heures et parfois au delà.



Intégration des courants de grande échelle issus de Mercator dans le modèle Mothy en Méditerranée

Le modèle Mothy, développé par DPrévi/Mar, est utilisé en opérationnel pour la prévision de la dérive des polluants à la surface de l'océan. Le système est constitué d'un modèle d'océan à domaine limité couplé à un modèle d'évolution du polluant et forcé par des champs de vent et de pression issus d'un modèle atmosphérique. Le calcul des courants utilise un modèle barotrope (2D) à aire limitée couplé à un modèle de viscosité turbulente qui permet de représenter le cisaillement de courant sur la verticale. Cette approche est particulièrement adaptée aux zones où les eaux sont bien mélangées et où les courants de grande échelle sont négligeables (par exemple, en Manche et dans le Golfe de Gascogne). Dans les mers où ces courants sont importants, les résultats sont moins bons. C'est le cas le long de nos côtes méditerranéennes.

L'intégration de moyennes mensuelles de courant de surface calculées par le prototype Mercator PSY2 au 1/12° permet de prendre en compte l'effet de ces courants permanents dans les prévisions de dérive, comme l'ont montré des tests de validations sur les situations du Haven (1991) et du Lyria (1993) (figure). On a pu également montrer, sur le cas du Lyria, que l'utilisation de la partie variable du courant, issue des



Simulations réalisées avec le modèle Mothy utilisant les courants permanents à gauche et les données de Mercator avec altimétrie à droite.

données altimétriques, améliore encore les résultats. Ce dernier point est encourageant dans la perspective d'une utilisation future des courants issus des prévisions opérationnelles de Mercator qui assimilent ce type de donnée.

Des modèles de vagues en pleine évolution

Le système de prévision de l'état de la mer Vag développé par la division marine et océanographie permet de prévoir l'état de la mer sur tous les océans du globe. Le modèle réalise des prévisions jusqu'à 2 ou 3 jours d'échéances, sur trois domaines emboîtés afin de bénéficier d'une description plus fine près des côtes françaises. Pour répondre aux besoins de soutiens spécifiques, notamment pour les opérations menées au sein de la Marine Nationale et autres opérations off-shore, il est également possible de réaliser ponctuellement des prévisions avec une résolution maximale sur n'importe quelle zone limitée des océans.

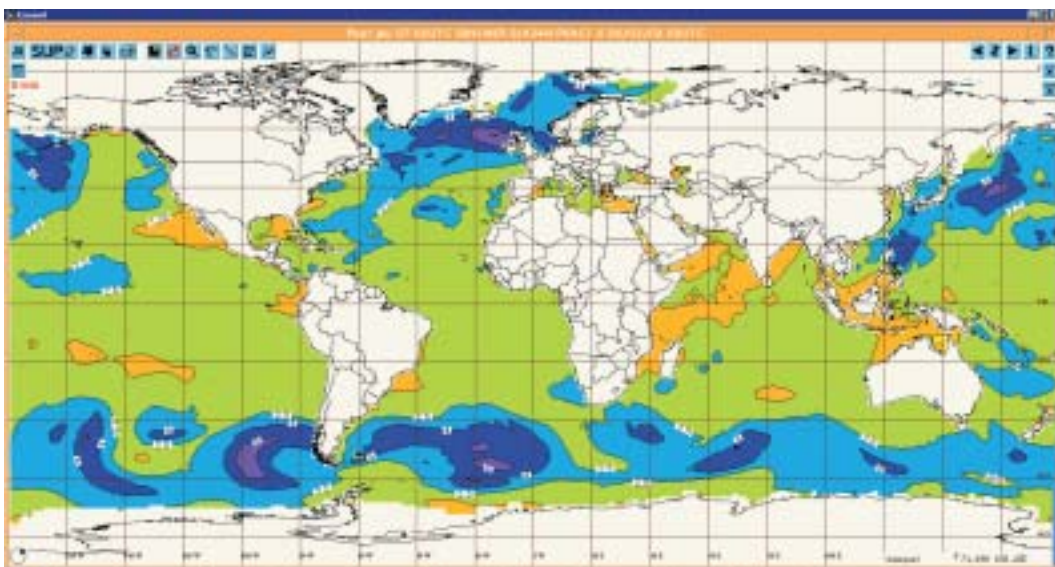
Grâce aux données recueillies lors de campagne en mer, comme Fetch en 1998, et aux travaux de recherches

réalisés sur la plan national en collaboration avec le CETP, et sur le plan international avec les instituts météorologiques de Bulgarie et de Roumanie, des progrès ont été réalisés dans la modélisation des vagues.

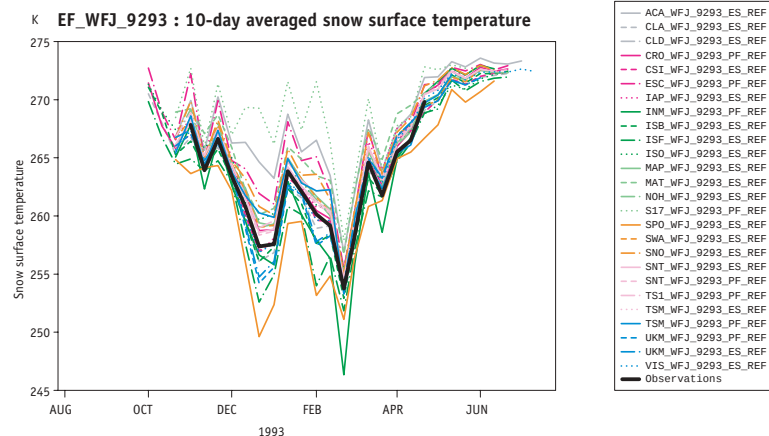
En parallèle, avec le soutien du CNES, en collaboration avec le CETP, des études ont été menées pour évaluer l'apport de nouvelles données spatiales pour la prévision de l'état de la mer. En particulier, la mesure de spectres directionnels de vagues pourront être fournies par des radars – de type Sar (Synthétique Aperture Radar) ou Rar (Real Aperture Radar) – embarqués sur des satellites. Ces données pourront servir à initialiser et à vérifier les modèles de prévision de l'état de la mer, en complément de données altimétriques déjà utilisées.

Snowmip : dépouillement de l'intercomparaison de modèles de neige

Le projet Snowmip (Snow Models Intercomparison Project) a pour objet la comparaison de modèles de neige dédiés à la météorologie, l'hydrologie et le prévision du risque d'avalanches. Piloté par le CNRM



Hauteurs significatives des vagues prévues à 24 heures d'échéance par le modèle Vag sur le domaine global.



Température de surface de la neige (moyenne sur 10 jours) observée (gros trait noir) et simulée par les modèles (traits de couleur) sur le site de Weissfluhjoch (Alpes suisses, à 2540 m d'altitude). La dispersion des modèles est particulièrement nette pendant les mois d'hiver, où la température de surface reflète directement l'évolution du bilan énergétique de surface. Au printemps, l'écart se resserre dès le début de la période de fonte (car la température de surface reste alors voisine de 0°C).

depuis deux ans, il regroupe une vingtaine de modèles de neige de complexité très variable. L'analyse des bilans de masse simulés par les modèles a mis en évidence une grande diversité de la qualité des résultats. Cette diversité est liée en premier lieu au critère examiné (durée de l'enneigement, maximum de l'accumulation hivernale, écart entre l'équivalent en eau du manteau neigeux simulé et observé hebdomadairement). Elle dépend également du site considéré (cohérence des différentes mesures entre elles, particularités du manteau neigeux liées au climat local) et du degré de complexité des modèles.

Afin de mieux comprendre l'apport et l'intérêt des différentes paramétrisations, des données de validation supplémentaires ont été utilisées, tels que la température de surface de la neige ou l'albédo. Elles permettent de mieux comprendre l'évolution du manteau neigeux simulé en fonction des flux énergétiques de surface simulés et de la bonne prise en compte des processus internes au manteau neigeux (telle que la rétention d'eau liquide). Une telle analyse est cependant complexe en raison des nombreuses rétro-

actions affectant le manteau neigeux. Cette étude sera poursuivie en 2003 et complétée par l'étude de la structure interne des manteaux neigeux simulés (en particulier des profils verticaux de densité, de température et de type de grains).

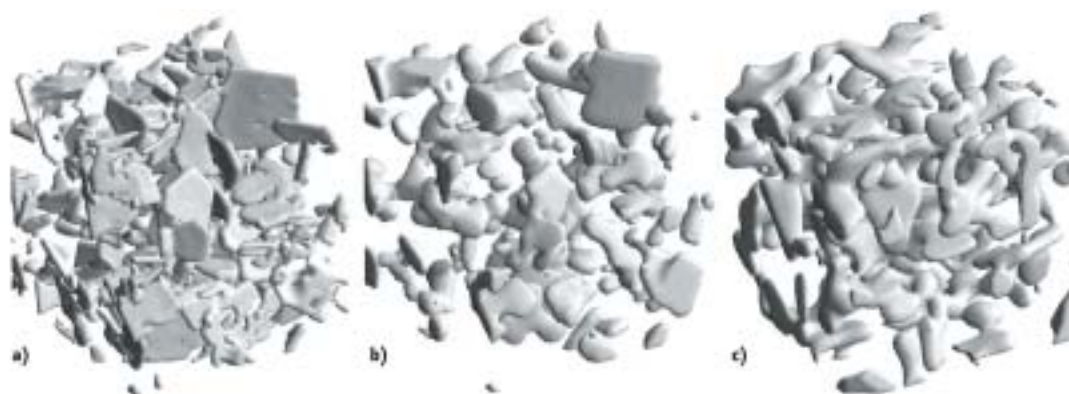
Premiers résultats de modélisation 3D de neige et comparaison avec des données microtomographiques expérimentales

La neige, depuis sa chute jusqu'à sa fonte totale, subit de nombreuses métamorphoses. Parmi celles-ci, les métamorphoses dépendant uniquement de la courbure des grains sont les plus accessibles à la modélisation. Il s'agit ici de modéliser la métamorphose d'isothermie d'un échantillon de neige à température faiblement négative. La pression de vapeur saturante de l'eau près de 0 °C étant élevée, la transformation peut être considérée en première approximation comme totalement régie par la courbure (orientation des grains et diffusion négligées).

Une expérience d'isothermie (trois mois en chambre froide à -2 °C) accompagnée de prélèvements réguliers a été réalisée cet hiver. Des images 3D de ces prélèvements ont été faites au Synchrotron de Grenoble par tomographie X pour fournir une base de validation au modèle. Celui-ci, appliqué à une des images obtenues, donne des évolutions temporelles de courbure moyenne et de surface spécifiques similaires à celles mesurées sur les données expérimentales. La prise en compte de la densification (par chute des grains non liés) est actuellement en développement. Ce travail s'inscrit dans une optique de paramétrisation des modèles unidimensionnels de manteau neigeux dédiés en particulier à la prévision du risque d'avalanche.

Evolution structurale d'un échantillon de neige vu sur des portions de 2.5 mm de côté :

- a) neige fraîche observée,
- b) métamorphose simulée (sans tassement),
- c) métamorphose observée.





Processus atmosphériques

Pierre angulaire de l'amélioration de la compréhension et de la prévision des phénomènes météorologiques et climatiques, l'étude des processus atmosphériques s'appuie à la fois sur l'investigation expérimentale et sur l'utilisation comme "laboratoires numériques" des modèles informatiques.

Analyse en ondelette de la convection et paramétrisation

Les ondelettes constituent un outil d'analyse et de compression très puissant. Leur utilisation s'est peu à peu développée au cours des dernières décennies, mais reste encore limitée en météorologie. On peut les

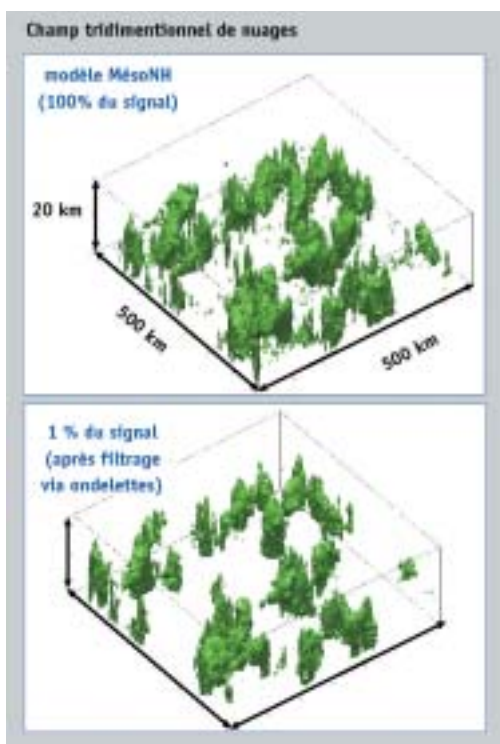
considérer schématiquement comme une extension de la transformée de Fourier, fournissant des informations sur la longueur d'onde et la localisation des phénomènes. Les ondelettes sont donc particulièrement bien adaptées à l'étude des structures intermittentes, comme celles observées dans les systèmes turbulents.

Les chercheurs du CNRM ont réussi à représenter de manière simplifiée, mais très réaliste un champ de nuages convectifs précipitants grâce à des ondelettes "tronquées", en ne retenant que 1 % de l'information initiale (figure). Le champ de nuages utilisé a été généré explicitement par le modèle Mésos-Nh (à fine résolution, ici 2 km sur l'horizontale), on notera le vaste domaine couvert. De plus, les flux convectifs associés sont aussi comparables à ceux fournis par la simulation explicite. Ce résultat traduit le fait que ce filtrage conserve bien les caractéristiques essentielles du système qui importent à plus grande échelle.

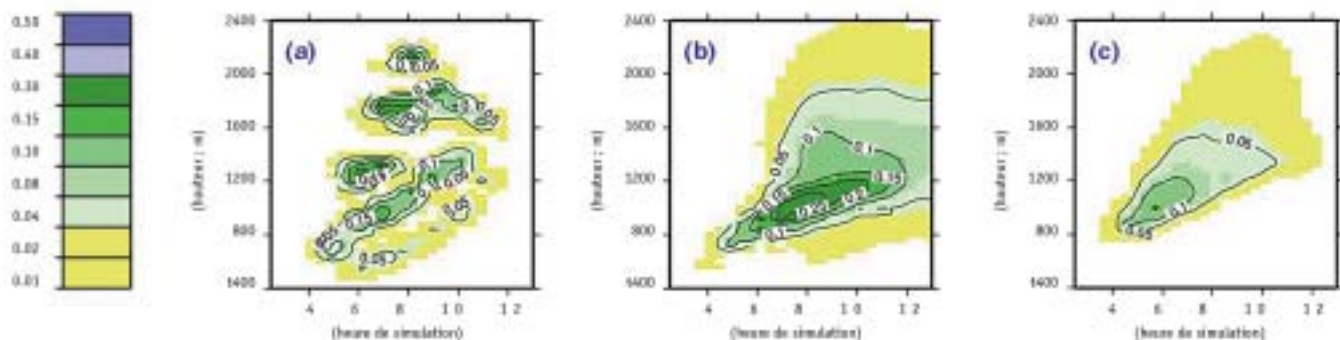
Ce mode de représentation sophistiqué des phénomènes convectifs de petite échelle à l'avantage d'être physiquement beaucoup plus satisfaisant que les méthodes actuelles (paramétrisations de la convection). Ces dernières, plus simples, sont souvent trop approximatives. Ces résultats indiquent que l'introduction d'ondelettes pour représenter la convection dans les modèles de grande échelle (à faible résolution) devrait permettre une avancée significative dans un domaine qui constitue encore un point faible de la modélisation de l'atmosphère, notamment pour la prévision des orages.

Une amélioration des paramétrisations du modèle Arpège-Climat

Les modèles numériques de simulation du climat traitent d'une part de la dynamique de l'écoulement, d'autre part d'une représentation des processus physiques. Un défaut important de ces modèles actuels est une mauvaise représentation des stratocumulus et petits cumulus sur les bords Est des océans tropicaux. Le projet européen Eurocs avait justement pour ambition d'améliorer la représentation des nuages dans les modèles de climat. L'idée était de confronter les données observées lors de campagnes de mesure avec celles simulées par une hiérarchie de modèles de résolution croissante (de quelques mètres jusqu'à 50 à 300 km).



Représentation d'un champ de nuages convectifs précipitants par le modèle Mésos-Nh en haut et après filtrage par ondelettes en bas. La représentation après filtrage s'avère de meilleure qualité.



Evolution diurne
d'un cumulus continental.
La nébulosité est simulée
par le modèle Arpège-Climat :

- a) version 3
du modèle Arpège,
- b) nouvelle version d'Arpège,
- c) référence issue
d'une "large eddy simulation"

Dans ce cadre, différentes paramétrisations physiques ont été adaptées ou codées dans le modèle Arpège-Climat. Grâce au projet Eurocs, des résultats prometteurs ont été validés. Ils ont été obtenus avec l'utilisation d'une part de schémas pronostics pour l'eau nuageuse et pour la turbulence, d'autre part avec de nouveaux schémas de convection profonde et peu profonde.

Le programme Eurocs améliore la représentation du cycle diurne des nuages convectifs

Le cycle diurne de la convection profonde est un mode d'organisation temporel particulièrement marqué sur les continents (e.g., les orages d'été). La convection profonde s'y développe préférentiellement en fin d'après-midi, en étroite relation avec le cycle diurne de la surface et de la couche limite atmosphérique. Cette organisation temporelle affecte profondément le cycle hydrologique et le bilan radiatif, via les pluies et les nuages associés à ces processus.

Les chercheurs du CNRM ont étudié ce phénomène dans le cadre du programme européen Eurocs, à l'aide d'une

hiérarchie de modèles, allant des modèles explicites de nuages aux modèles de circulation générale (environ 10 modèles, dont Mésio-Nh et Arpège). La plupart des modèles (de prévision ou de climat), n'arrivent pas à reproduire ce mode de variabilité fondamentale de l'atmosphère. La convection profonde, en avance de plusieurs heures par rapport aux observations, reste en phase avec le cycle diurne de la surface. Ce défaut est relié au traitement encore trop sommaire des nombreux processus de fine échelle, et de leur interactions, qui interviennent dans ce cycle.

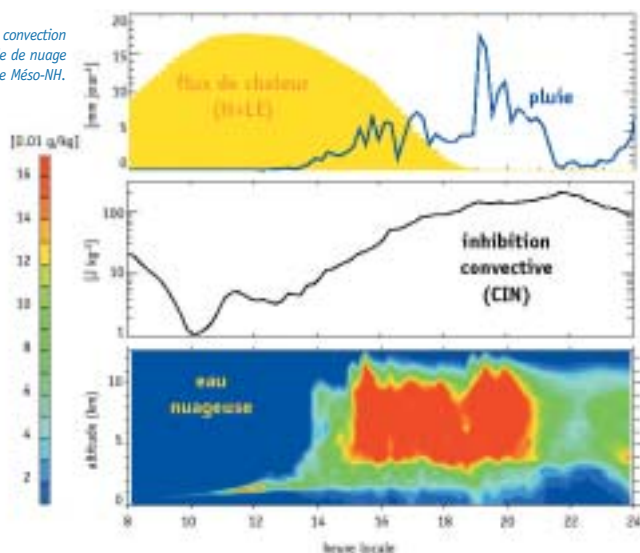
Les modèles de nuages explicites fournissent, eux, de meilleurs résultats (figure). L'inhibition convective, généralement mal prise en compte par les paramétrisations, joue ici un rôle important comme facteur de non-déclenchement de la convection. De plus, le déphasage entre les cycles diurnes des pluies et de la surface s'explique aussi par le fait que les premiers nuages qui se développent, peu épais, ont tendance à humidifier l'atmosphère pendant plusieurs heures plutôt qu'à précipiter directement, comme supposé dans de nombreuses paramétrisations.

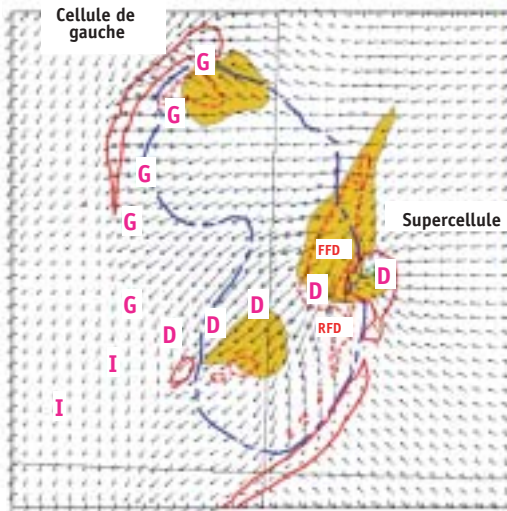
Vers une meilleure connaissance des orages supercellulaires en France

Les orages supercellulaires, fréquemment observés dans les grandes plaines américaines, ont beaucoup été étudiés aux Etats-Unis à cause de leur capacité à produire des tornades. En France, si les tornades ne sont pas aussi fréquentes que sur les grandes plaines américaines, la supercellule n'est pas pour autant un phénomène rare : selon un recensement non exhaustif au moins quinze orages de ce type ont été répertoriés durant les trois dernières années.

La dynamique bien particulière mise en évidence pour les supercellules aux Etats-Unis peut-elle s'appliquer aux supercellules en France et dans quelle mesure ? Pour répondre à cette question, les chercheurs de Météo-France ont étudié deux cas de supercellules en France à l'aide de simulations du modèle Mésio-Nh à haute résolution.

Cycle diurne de la convection
simulé par le modèle de nuage
explicite à partir de Mésio-Nh.





Les chercheurs du CNRM ont étudié, à l'aide de simulations Méso-Nh à haute résolution (2,5 km), le système convectif du 13-14 octobre 1995 où on a observé plus de 100 mm de précipitation en 3 heures. Un certain nombre d'ingrédients environnementaux bien connus pour être favorables au développement de systèmes quasi-stationnaires sur relief ont été identifiés. Puis à l'aide d'expériences de sensibilité au relief et de traceurs lagrangiens, l'étude a porté sur le rôle du relief ainsi que la formation répétée de cellules convectives alimentant le système convectif. Cette dernière s'explique par un processus en deux temps (figure) : i) la convergence de basses couches associée à un flux de contournement des Alpes et à un flux de sud longeant les côtes espagnoles, amène la saturation des basses couches de l'atmosphère et la formation de cellules précipitantes peu développées verticalement ; ii)

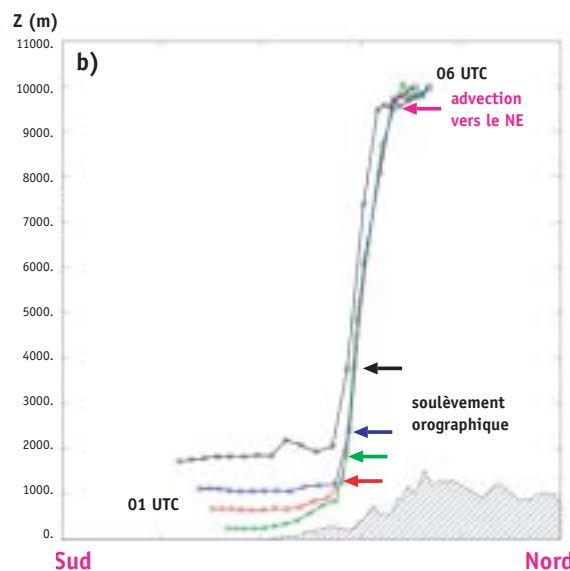
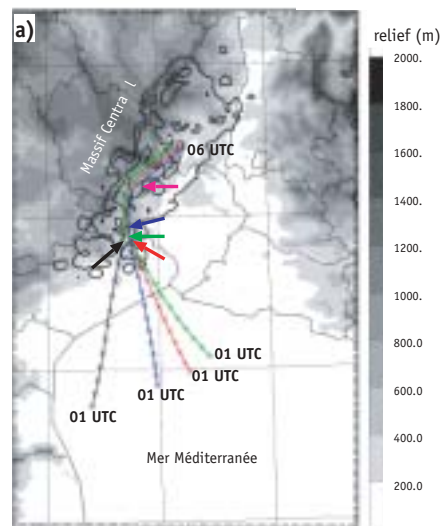
Structure simulée de l'orage supercellulaire du 30 mai 1999. Sont matérialisées sur cette figure : les zones d'ascendance (trait plein rouge, 0,75 m/s) et de subsidence (trait pointillé rouge, -0,5 m/s) à 500 m, le vent relatif à la supercellule à 500 m (sous forme de vecteurs), la perturbation de température à 500 m associée au refroidissement sous l'orage (trait pointillé bleu, -2K), et la somme des hydrométéores précipitants à 2,5 km (en plage de couleur, 0,5 g/kg) qui possède une forme caractéristique en crochet. La trajectoire de la cellule initiale, puis les trajectoires de la cellule se déplaçant à gauche du vent moyen et de la supercellule se déplaçant à droite après la division de la cellule initiale sont indiquées en rose par les lettres respectivement I, G et D. Les zones de subsidences de la supercellule à l'arrière (RFD pour "Rear Front Downdraft") et à l'avant (FFD pour "Forward front Downdraft") sont aussi matérialisées.

Pour les deux cas, le modèle réussit à reproduire le processus de division de la cellule initiale en deux cellules, celle se dirigeant à droite du vent moyen étant privilégiée par rapport à celle se dirigeant à gauche, comme dans les observations. La cellule de droite possède les caractéristiques d'une supercellule (figure). L'analyse des termes de production et conversion du tourbillon confirme les principaux résultats des études menées aux Etats-Unis. Le processus de division de la cellule s'explique par une interaction entre le cisaillement vertical de l'environnement et l'ascendance convective et la rotation dans les basses couches trouve son origine dans le gradient de température induit par le refroidissement sous-orage.

Cette étude a également conduit les chercheurs du CNRM à s'intéresser à un sujet émergent : l'interaction de l'orage avec une limite thermique de méso-échelle. Des aspects originaux de la dynamique tourbillonnaire d'une supercellule en présence d'hétérogénéités dans l'environnement ont ainsi pu être mis en évidence.

Étude numérique d'un cas de fortes précipitations cévenoles

La région du Sud-Est de la France est plus que toute autre région affectée par des épisodes de pluies diluviennes à l'origine de crues-éclair dévastatrices et meurtrières. C'est principalement en fin d'été et à l'automne que l'on enregistre de forts cumuls de précipitations. Ceux-ci sont souvent engendrés par des systèmes convectifs de méso-échelle quasi-stationnaires qui prennent généralement une forme caractéristique, dite en "V", dans l'imagerie satellitaire infra-rouge.



Rétro-trajectoires entre 06 UTC et 01 UTC le 14 octobre 1995 pour des particules situées à 10 km dans l'enclume du système convectif à 06 UTC :

a) projection horizontale avec superposition du relief (en grisé, m) et du contour du système convectif à 06 UTC (isolignes 5 et 40 dBZ des réflectivités à 3 km) ;

b) projection sur un plan vertical Sud-Nord avec superposition du relief.

lorsque ces cellules arrivent sur les premiers reliefs du Massif Central, le forçage orographique permet de déclencher l'instabilité convective. Les cellules convectives sont ensuite advectées par le flux de sud-ouest en altitude vers l'arrière du système convectif. Si le relief moyen du Massif Central joue un rôle de forçage, les fines structures du relief quant-à-elle influencent l'intensité des cellules et leurs trajectoires.

Etude de l'émission micro-onde des surfaces continentales : le projet Smos

Un projet de mission spatiale d'observation de la Terre (Soil Moisture and Ocean Salinity), dirigé par l'Agence Spatiale Européenne et le CNES, avec la collaboration de Météo-France, est actuellement en phase d'étude.

Le lancement est prévu en 2007. Il s'agit de placer en orbite héliosynchrone un radiomètre micro-ondes en bande L à synthèse d'ouverture. La technique interférométrique permet d'obtenir une résolution spatiale de vingt à cinquante kilomètres. L'antenne sera constituée de trois bras d'environ quatre mètres de long, formant un Y. Cet instrument mesurera des tempéra-

de mettre en place le projet SMOSREX (Surface Monitoring of the Soil Reservoir Experiment). Cette expérience a nécessité un gros investissement financier et humain, qui a abouti à une infrastructure unique : station météorologique complète, mesure des flux de chaleur et de vapeur d'eau, mesure des profils de contenu en eau et de température du sol, portique de mesure de 15 m de hauteur avec un mécanisme de visée entièrement automatisé, étudié pour manœuvrer un radiomètre en bande L de grande dimension (3 m, 200 kg). L'analyse de ces données permettra de préparer la mise en place d'un système opérationnel d'assimilation de données de télédétection.

Modélisation des flux d'eau, de chaleur, et de CO₂ générés par les forêts

Les modèles utilisés en météorologie pour décrire les surfaces continentales sont maintenant capables de prendre en compte la physiologie des plantes et de simuler les flux de CO₂. Les couverts forestiers doivent être traités différemment des cultures ou des prairies. En effet, les arbres ont une physiologie différente des plantes herbacées, en particulier pour ce qui est de la réponse à la sécheresse. En outre, une forêt peut être constituée de différentes couches de végétation de nature différente (présence d'un sous-bois herbacé par exemple).

Le modèle Isba-A-gs (Interactions entre le sol, la biosphère, et l'atmosphère) a été appliqué au cas de deux forêts françaises pour lesquelles un grand nombre d'observations ont été réalisées par l'Inra : la forêt des Landes (pin maritime) et la forêt de Hesse (hêtre). Une première étape a consisté à établir des règles de réponse au stress hydrique des paramètres de la photosynthèse des arbres à partir d'un grand nombre d'études publiées dans la littérature scientifique, à l'échelle de la feuille. Ces règles ont ensuite été introduites dans Isba-A-gs, qui calcule les flux pour l'ensemble du couvert. La transposition du comportement de feuilles isolées à l'ensemble du couvert est réalisée de manière satisfaisante par le modèle, qui est capable de bien simuler les flux, comme le montre la comparaison avec les observations. Dans le cas de la forêt des Landes, on montre qu'il est nécessaire de prendre en compte de manière explicite la contribution du sous-bois herbacé, dont la physiologie est très différente de celle des pins.

Programme d'intercomparaison Rhône - AGG

La base de données constituée dans le cadre du projet Gewex-Rhône a été mise à la disposition d'une vaste communauté internationale (incluant de nombreux services météorologiques) pour évaluer les perfor-

L'EXPERIENCE SMOSREX

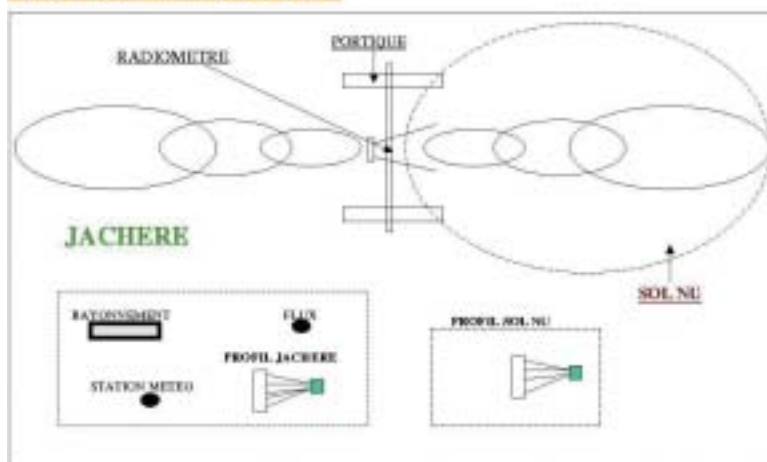
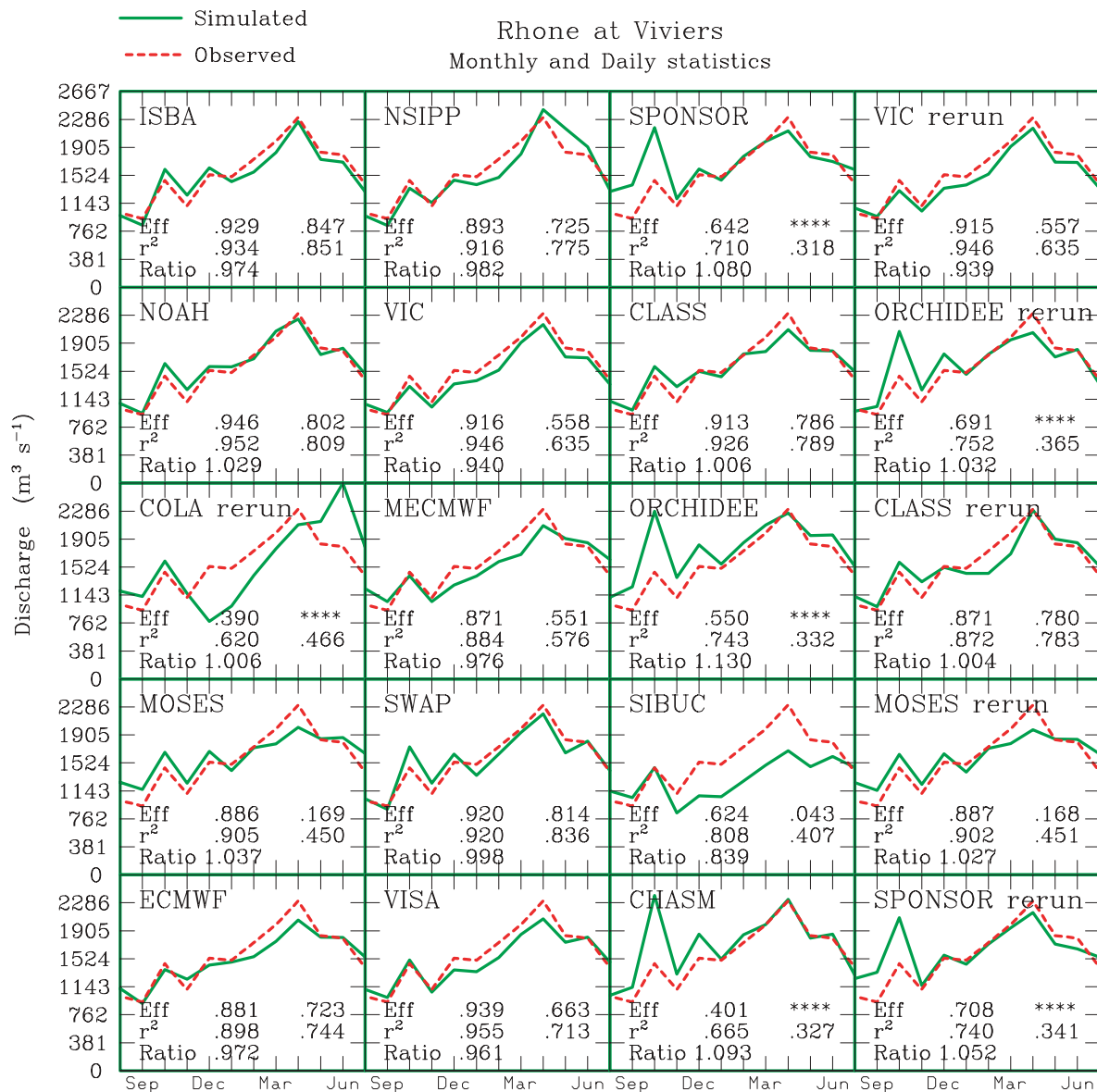


Schéma de l'expérience Smosrex, en cours de réalisation sur le site Onera de Mauzac, près de Toulouse. Deux zones sont observées par le radiomètre en bande L, monté sur un portique de 15 mètres de hauteur : jachère et sol nu. Une station météorologique complète, incluant des mesures de flux radiatifs et de flux de chaleur, et des mesures automatiques de contenu en eau du sol a été installée sur la zone de jachère. Sur sol nu, les mêmes mesures de contenu en eau du sol que sur la jachère sont effectuées.

tures de brillance avec un temps de revisite inférieur à trois jours.

Peu sensible aux effets atmosphériques, il permettra d'estimer, par tout temps, le contenu en eau des sols. L'assimilation des températures de brillance dans les modèles de transfert d'eau et d'énergie entre le sol, la végétation et l'atmosphère, devrait permettre d'améliorer l'initialisation de ces modèles.

Pour confirmer les bénéfices attendus de ces données, il est important de valider expérimentalement leur utilisation dans les modèles. Pour cela, il a été décidé



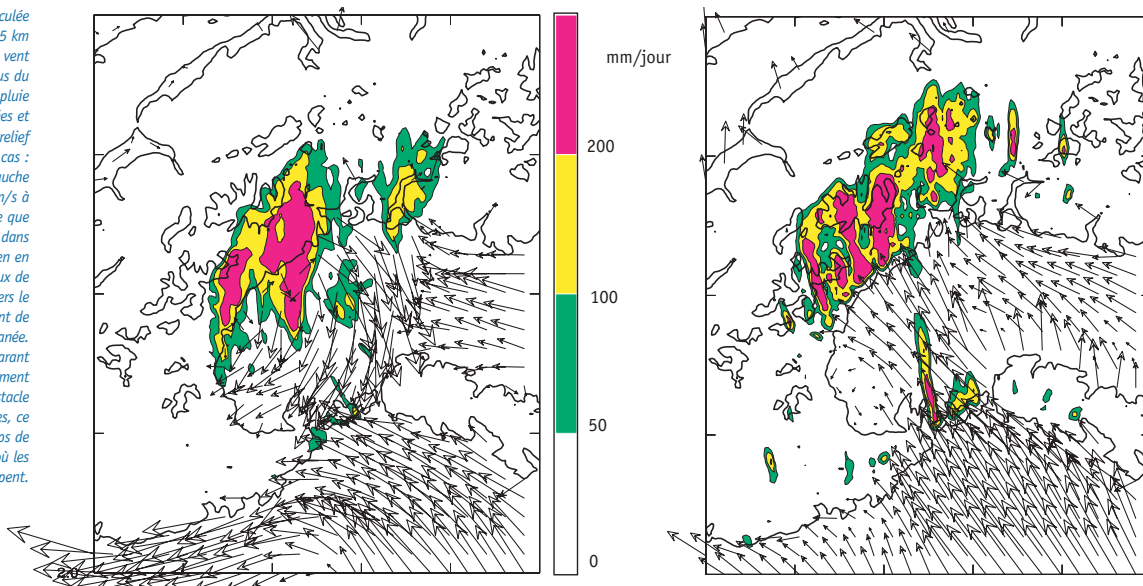
Comparaison des débits mensuels observés et simulés du Rhône à Beaucaire par 15 schémas de surface, lors de l'expérience Rhône-AGG. Pour chaque panel, les scores statistiques mensuels et journaliers sont rappelés (efficacité, écart type et corrélation).

mances hydrologiques de 15 schémas de surface. La validation hydrologique de simulations pluriannuelles est basée sur les débits journaliers observés en 145 stations de mesure, et sur les hauteurs de neige mesurées à 25 sites alpins. L'analyse des résultats montrent que la grande majorité des schémas de surface reproduisent correctement l'évaporation, la variation du stock d'eau du sol et le ruissellement annuels. Cependant, de grandes différences apparaissent dans la répartition du bilan hydrique aux échelles journalière et mensuelle (partition du ruissellement de surface et du drainage, partition des diverses composantes de l'évaporation), conduisant à une grande dispersion dans la simulation des débits journaliers du Rhône (figure). Les meilleurs résultats hydrologiques ont été obtenus par les schémas de surface

disposant d'une représentation sous-maille du ruissellement de surface. Par ailleurs, la supériorité des schémas de neige décrivant le contenu thermique du manteau neigeux et la rétention d'eau liquide a été clairement mise en évidence, comme c'est le cas du nouveau schéma de neige à trois couches d'Isba.

Des expériences de sensibilité des simulations hydrologiques à la variation de résolution spatiale (augmentation de la résolution jusqu'à des échelles comparables à la maille des modèles de climat) révèlent une augmentation de l'évaporation et une diminution du ruissellement de surface en fonction de la taille de la maille de calcul, et ceci malgré le large éventail de méthodes mises en œuvre pour décrire la variabilité sous-maille des divers processus.

Solution stationnaire calculée par le modèle Mésos-Nh à 2.5 km de maille. Flèches de vent normalisées à 500m au dessus du niveau de la mer, taux de pluie au sol en surfaces colorées et isolignes 500 et 2500m de relief sont représentées pour les cas : a) vitesse $U=10$ m/s à gauche (POI 2A) et b) $U=20$ m/s à droite (POI 2B). On observe que les orages se développent dans le cas à faible vitesse bien en amont du relief. Leurs lieux de naissance se propagent vers le Sud à contre-courant de l'écoulement sur la Méditerranée. Enfin, on observe en comparant ces 2 figures que l'écoulement passe plus autour de l'obstacle alpin pour les vents faibles, ce qui augmente le temps de résidence sur les pentes où les orages se développent.



Etude d'écoulements convectifs idéalisés sur les Alpes

Les épisodes de pluies importants sur le massif alpin naissent dans des conditions synoptiques assez complexes. A l'approche d'un front froid se propageant lentement d'Ouest en Est, le flux s'oriente de plus en plus Sud-Nord à l'avant du front. De ce fait, en passant sur la Méditerranée, l'air se charge en humidité et en chaleur. Dans certains cas, cette masse d'air peut devenir conditionnellement instable, et cette instabilité être relâchée lors du passage sur les flancs sud des Alpes. Ce type d'écoulement est un cas prototype pour les situations étudiées lors de la campagne de mesures internationale Map.

Afin de proposer des schémas conceptuels plus avancés pour interpréter ces cas, une étude plus idéalisée a été menée. Le relief alpin a été conservé avec toute sa complexité, mais l'atmosphère a été simplifiée en ne conservant qu'un écoulement de sud à vitesse uniforme et en prenant des champs thermodynamiques uniformes horizontalement (donnés par un radiosondage conditionnellement instable observé pendant MAP). La vitesse a été utilisée comme variable de contrôle afin de faire varier le régime de pluie sur les Alpes. Toutes les expériences numériques ont été réalisées grâce au modèle Mésos-Nh avec une maille horizontale de 2.5 kilomètres permettant de simuler explicitement les cumulonimbus qui se développent lors de la libération de l'instabilité.

Pour observer de la pluie sur les Alpes, le vent doit être suffisamment fort afin que la condition empêchant la libération de l'instabilité soit dépassée. Si le vent

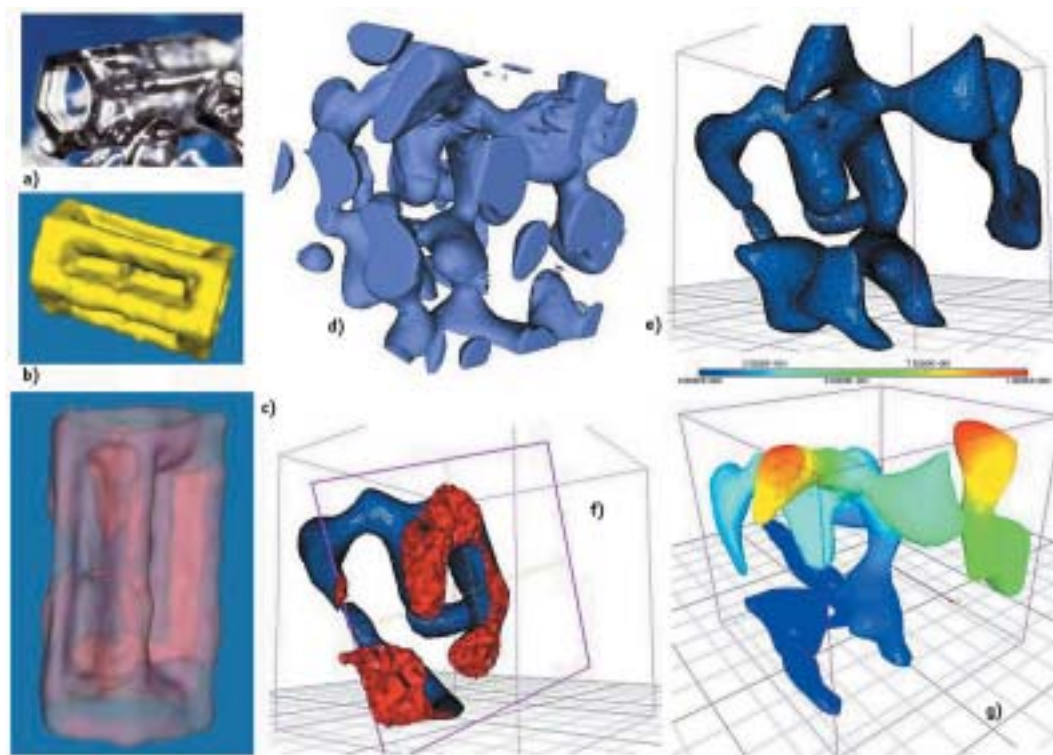
croît au-delà de ce seuil, on passe par un maximum d'efficacité pour enlever la vapeur d'eau de l'atmosphère pour la transformer en pluie au sol lorsque le temps de croissance des nuages est de l'ordre du temps de franchissement des pentes amont des Alpes. Ceci est visible en comparant les cas à $U = 10$ m/s et 20 m/s présentés sur la figure associée.

Premier résultat de la modélisation de la micromécanique de la neige à partir de tomographies par rayons X

Dans le but d'étudier la micromécanique de la neige sèche, le CNRM a mis au point une chaîne de simulation 3D par la méthode des Eléments Finis. Les images initiales, obtenues par tomographie X en absorption sur le site de l'Installation européenne de rayonnement synchrotron de Grenoble (ESRF), permettent de visualiser des volumes de neige d'une fraction de cm^3 sans briser les liaisons entre les grains (voxel de taille 10 à 5 microns – 10243 à 18003 voxel).

Divers codes d'analyse d'image, de calcul, de modélisation et de visualisation ont été mis au point et s'enchaînent :

Pré-traitement: i) Obtenir un bon rendu des images (figure: a, b, c) à partir d'un seuillage de l'image volumique (en niveau de gris), du filtrage, de l'extraction des normales discrètes et de la détermination de la surface de grains; ii) Préparer l'alimentation du modèle (Figure: d, e, f): décimation des triangles, conversion des données, reconnaissance des éléments de surface et volume, générateurs de



Simulation d'un échantillon de neige en vue d'une comparaison à des mesures en tomographie X
 a) Image par microscopie optique d'un grain du type " colonne ". - (b) Un grain du type colonne et (c) la structure interne obtenu à partir du traitement par la chaîne de simulation d'une image volumique. - (d) Surface des grains de neige, 3003 voxel, résolution 5 microns. - (e) Surface du plus grand objet inscrit dans ce volume. - (f) Section du maillage volumique de simulation par éléments finis du grain (24984 nœuds, 83721 tétraèdres) - (g) Résultat de la simulation thermique d'un gradient de température imposé entre la base et le sommet du volume.

maillage, paramétrisation des conditions aux bords et propriétés physiques;

Traitement (Figure: g): simulation implicite et explicite par éléments finis: mécanique, thermique et flux;

Post-traitement: convertisseur des données, visualisation des résultats.

Les premiers résultats de l'application de la chaîne ont permis la simulation de la conduction thermique et de la résistance au cisaillement sur un échantillon de neige de $3,375 \text{ mm}^3$, de géométrie complexe. La principale perspective de ce travail est la mise au point des modèles micromécaniques, puis l'utilisation des résultats pour paramétrer des modèles de manteau neigeux dédiés à la prévision du risque d'avalanche.

Campagnes expérimentales

Mât de mesure des flux d'énergie dans le centre-ville de la cité phocéenne pendant la campagne de mesures Escompte en 2001.

Le dépouillement des campagnes récentes bat son plein sur Escompte, Pomme et Map. Parallèlement a commencé la préparation du grand rendez-vous que constituera la campagne internationale "Amma" sur la mousson africaine.

Echanges d'énergie entre surface et atmosphère en milieu urbain : expérience Escompte.

La population urbaine est en nette expansion à l'échelle mondiale, et même en France l'extension des villes ne cesse de progresser. La pollution atmosphérique en est la conséquence la plus médiatisée. Toutefois, la présence des routes et bâtiments perturbe aussi de manière importante l'énergétique de la basse atmosphère au voisinage des centres urbains. Afin d'étudier ces impacts, un mât de mesures a été installé dans le centre-ville historique de Marseille en juin et juillet 2001 lors de l'expérience Escompte (photo), ainsi que diverses autres moyens de mesures dans l'ensemble de l'agglomération (de nombreux capteurs de température et d'humidité, des radars, des avions).

Les mesures de flux turbulents et radiatifs sur le mât ont permis de quantifier précisément les perturbations du bilan d'énergie de surface (en particulier le stockage d'énergie important le jour au sein même des murs, maintenant la nuit des températures relativement plus douces qu'aux alentours - c'est l'îlot de chaleur urbain -). Ces aspects complexes de l'énergétique urbaine ont été reproduits fidèlement par le modèle de canopée urbaine Teb du CNRM. En particulier, la température de l'air dans les rues a pu être simulée. D'autre part, l'impact de la ville sur la température à l'échelle de l'agglomération a pu être mesuré dans les rues, mais il faut noter qu'il est fortement nuancé par la brise de mer. Par contre, l'humidité est directement liée à l'influence de la baie de Marseille.

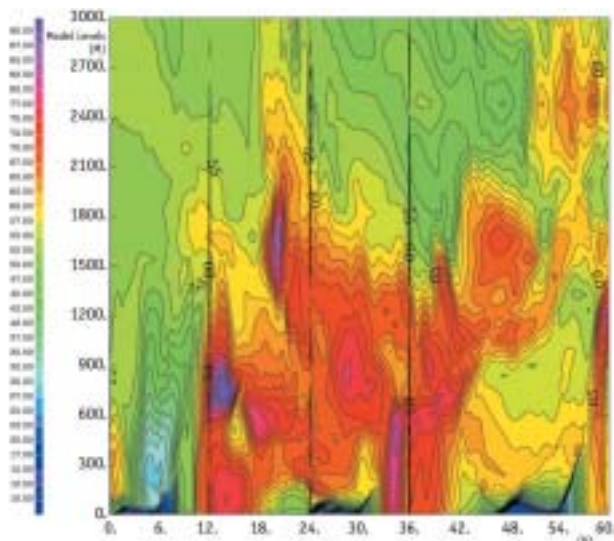


Les mesures en altitude (avions, ballons, radars) montrent une structure complexe de l'atmosphère au dessus de Marseille, à cause des effets combinés de la mer, de la ville et des reliefs. Ces aspects vont être étudiés en détail, en s'aidant d'une modélisation 3D très fine avec le modèle Més0-Nh.

Simulation de la pollution gazeuse durant la campagne Escompte avec le modèle Més0-Nh-Chimie

Le choix de la région phocéenne pour la campagne Escompte est intéressant car influencé par une dynamique complexe liée aux brises de la mer et de l'étang de Berre. Il se situe d'autre part au centre de sources intenses de pollution avec au Sud-Est Marseille, au Nord-Est Aix en Provence et à l'Ouest les usines pétrochimiques de Fos-Berre.

L'utilisation du modèle Més0-Nh-Chimie a permis la restitution du profil vertical d'ozone au-dessus d'Aix les Milles sur la période d'observation intensive 2b de la campagne Escompte (24 au 26 juin 2001).



Conformément aux observations du lidar Alto du Service d'Aéronomie, on retrouve une stratification verticale de l'ozone très prononcée avec des niveaux dépassant fréquemment les 90 ppb dans la basse atmosphère (entre 0 et 3000 m).

En milieu de journée, le rayonnement solaire et les niveaux importants d'oxydes d'azote et de composés organiques volatiles induisent des réactions de production d'ozone permettant d'approcher le niveau 2 d'alerte (90 ppb).

La nuit, les niveaux d'ozone en surface sont très faibles (< 15 ppb) résultant de l'effet conjugué du dépôt sec et des réactions chimiques liées aux émissions nocturnes de monoxyde d'azote. Au-dessus l'ozone produit au cours de journée est préservé et peut le cas échéant être réinjecté par entraînement la journée suivante lors de l'épaississement de la couche limite de mélange.

Parfois ces niveaux d'ozone d'altitude peuvent avoir une origine éloignée: le maximum d'ozone observé à 1000 m d'altitude le 25 juin entre 00 et 06 UTC a été produit et transporté le 24 juin par la pollution issue de la ville de Montpellier. Cette pollution à l'ozone viendra s'ajouter au panache de pollution produit par la ville de Marseille.

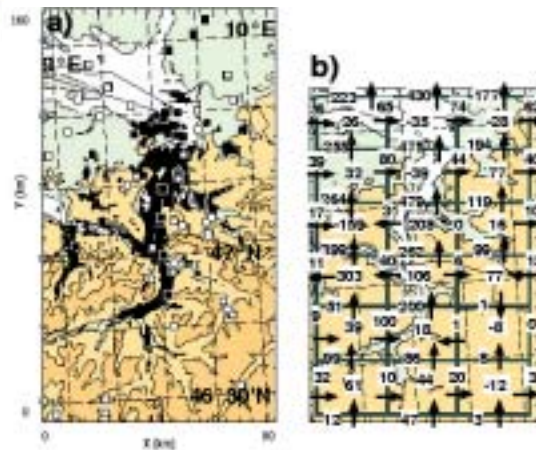
Simulation de cas de Foehn lors de la campagne Map

Le foehn est particulièrement fréquent et violent dans la haute vallée du Rhin, aux alentours du Liechtenstein, où cette vallée glaciaire, large de 5 à 15 km, est orientée perpendiculairement à la crête des Alpes.

L'un des buts de l'expérience MAP est l'étude des interactions entre l'air subsident, chaud et turbulent du foehn avec la couche limite préexistante, stable et plus froide préexistante, et les aspects stationnaires

du Foehn dans une large vallée. Le dispositif instrumental mis en place durant la phase terrain de Map (stations sol, radiosondages, radars divers, avions...) a permis de documenter plusieurs événements de ce type à l'automne 1999.

Le modèle non-hydrostatique MésO-Nh simule de façon réaliste, à l'aide de trois modèles emboîtés de maille 10 km, 2,5 km et 0,625 km, deux situations de Foehn très différentes: un cas peu développé, où l'air chaud subsident ne pénètre jusqu'au sol qu'en fond de vallée, puis est rejeté au-dessus de la couche limite d'air froid d'origine radiative (POI n° 8), et un cas de Foehn profond, où la vallée entière est balayée par un vent de sud violent et turbulent (POI n°2b).



Restitution du profil vertical d'ozone par le modèle MésO-Nh-Chimie au-dessus d'Aix les Milles sur la période d'observation intensive 2b de la campagne Escompte (24 au 26 juin 2001). Abscisses en heures à compter du 24/6 0 UTC.

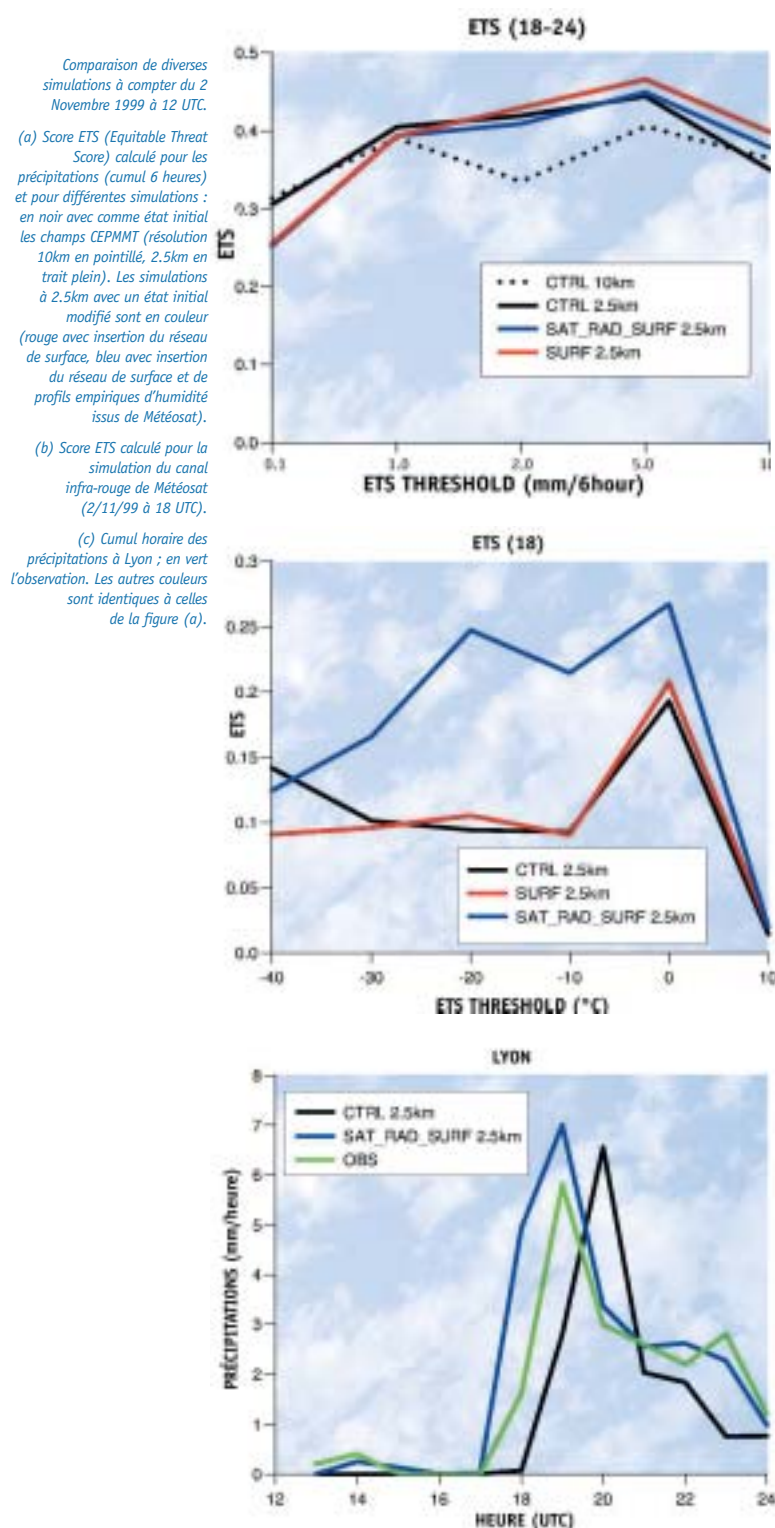
a) Foehn simulé par le modèle MésO-Nh à très haute résolution (maille 625 m) (surface noire) et mesuré par les stations sol (carré noir : foehn, carré blanc : pas de foehn) dans la région de la vallée du Rhin. Relief en couleur: <500m blanc, 500m < vert pâle <1000m, 1000m < beige <1500m, >1500m marron.

*b) Flux de masse entre le sol et 2000 m d'altitude. Le nombre au centre (côté) de chaque rectangle est le flux descendant (latéral) (10^{**6} kg s⁻¹). Taille des boîtes : 25 km x 18.75 km.*

La première simulation (figure 1) permet de quantifier l'organisation du flux subsident sous le vent des Alpes en jet de Foehn dans la vallée du Rhin. Pour le Foehn profond (figure 2), le flux de masse sortant des vallées tributaires est insignifiant, et la contribution de l'onde de relief sous le vent du dernier massif secondaire est prépondérante. Le jet de Foehn ne se prolonge au-delà des Alpes qu'au débouché de la vallée du Rhin. Pour un flux entrant moins intense, et une onde de relief sur les Alpes moins marquée, la pénétration du Foehn jusqu'au sol dans la vallée du Rhin dépend à la fois de l'épaisseur initiale de l'air froid de basse couche stagnant dans la vallée, de l'intensité du flux subsident sous le vent des Alpes et de sa canalisation en basses couches dans les vallées secondaires

Impact de l'injection de données sur la POI 14 de Map

Une évaluation objective de l'apport de nouvelles observations pour l'initialisation d'un modèle tel que MésO-Nh a été menée durant l'année 2002. Ces observations sont celles du réseau Radome (observations de surface) et des pseudo-observations d'humidité produites à partir de la mosaïque radar européenne



et de la classification nuageuse opérationnelle issue de Météosat. Dans la simulation Surf, seules les observations de surface sont ajoutées aux champs du CEPMMT, tandis que la simulation Sat_Rad_Surf utilise conjointement les observations de surface et les pseudo profils d'humidité.

La figure (a) présente un score objectif ETS qui compare les différents cumuls de pluie simulés sur 6 heures (entre 6 et 12 heures d'échéance de prévision) aux cumuls observés sur un domaine englobant le quart sud-est de la France. Ce calcul est fait pour différents seuils de cumuls pointés sur l'abscisse du graphe. On constate qu'à l'augmentation de résolution du modèle Méso-Nh est associé une augmentation significative des scores (le score parfait serait 1). On constate dans une moindre mesure une augmentation des scores pour les fortes précipitations avec des états initiaux modifiés.

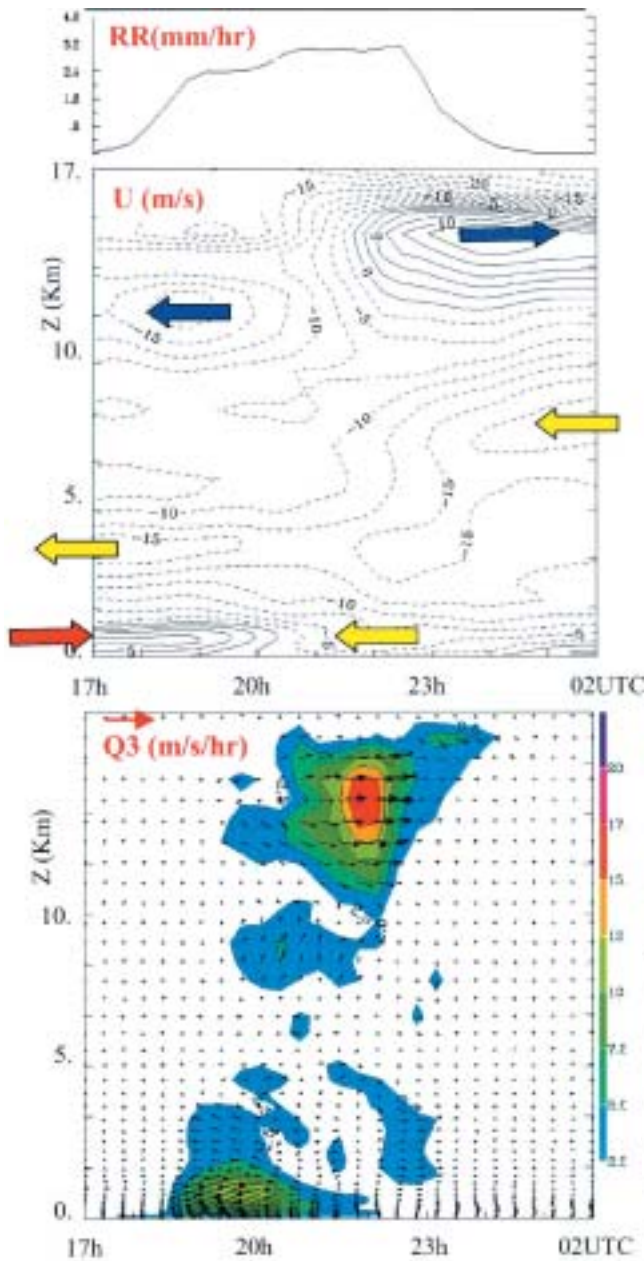
La figure (b) présente le même type de calcul pour la simulation du champ de radiance infra-rouge Météosat à un instant donné. L'impact positif des modifications de la distribution d'humidité en altitude est très net sur ce score. Les précipitations horaires observées et prévues pour les 12 premières heures de simulations ont été pointées sur la figure (c). On s'aperçoit de la capacité de recalage d'un front induit par l'utilisation de ces nouvelles observations. Le message important semble être l'effet positif conjoint des modifications apportées par les observations de surface et celles d'altitude.

Projet Amma d'étude de la Moussoon Africaine: apport de la modélisation à fine échelle

L'effort de Météo-France aux côtés des organismes français de recherches (CNRS, IRD, Cnes, Météo-France) a permis cette année de donner une dimension internationale au projet d'Analyse Multidisciplinaire de la Moussoon Africaine (Amma) avec l'implication des communautés scientifiques africaine, européenne et américaine. Il propose d'étudier un système dynamique complexe sur une gamme d'échelles temporelles très large (quelques heures à la décade) mettant en jeu l'atmosphère, la chimie atmosphérique, la biosphère, l'hydrosphère, l'océan et leur couplage.

Une approche multi-disciplinaire et multi-échelle est actuellement développée pour s'attaquer à cet objectif ambitieux. La modélisation y joue un rôle particulier et central de par sa capacité à intégrer différentes mesures, processus et à tester des scénarios et schémas conceptuels issus de l'analyse des observations. Ainsi Météo-France utilise le système Méso-Nh pour étudier explicitement les interactions d'échelles entre la convection, la circulation de grande échelle et les processus de surface à l'aide de simulations de cas réels et idéalisés.

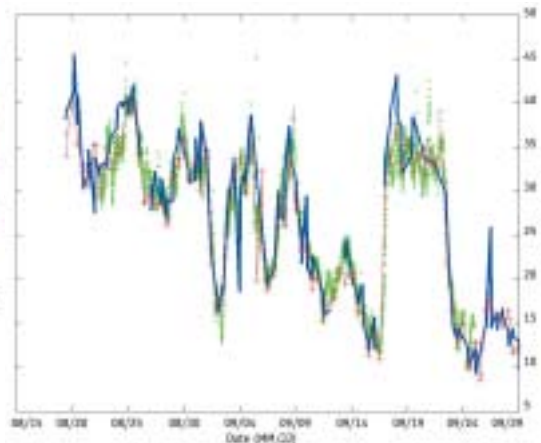
A titre d'illustration, des travaux récents ont permis de simuler à très fine échelle (5 km) le cycle de vie complet d'une ligne de grains africaine observée durant l'expérience Hapex-Sahel: avec sa genèse sur le relief



sélectionné la proposition de campagne dédiée émise par Météo-France.

La campagne s'est déroulée au CNRM du 19 août au 19 novembre 2002. Pendant ces trois mois, une station de surface incluant les rayonnements IR et visible montant et descendant a fonctionné en permanence ainsi que deux télémètres Vaisala CT25-K prêtés par la Direction des Systèmes d'Observation de Météo-France et une balise GPS. Cette dernière a été installée sur le bâtiment du CNRM dans le cadre d'un accord avec l'Institut Géographique National. Elle nous a permis de mesurer au pas horaire des colonnes atmosphériques de vapeur d'eau. A ce dispositif se sont rajoutés deux radiosondages à chaque passage du satellite au dessus de Toulouse (en moyenne 01:30 et 13:30 UTC) qui mettaient en oeuvre la nouvelle série RS90-AG de sonde VAISALA. Leur altitude maximale moyenne a été de 28 km. En tout 364 radiosondages auront été réalisés pendant la campagne, de jour comme de nuit, 7 jours sur 7, et les données ont été transmises à Eumetsat moins de 12 heures après chaque survol. La campagne fut aussi l'occasion de tester un radiomètre micro-onde Radiometrix appartenant à l'Onera/Cert, et un lidar vapeur d'eau Raman développé par une équipe IGN/Service d'Aéronomie.

Evolution sur 9h dans une boîte de 200 km de quelques paramètres associés au passage d'une ligne de grains africaine simulée ; (a) précipitations totales (en mm/heures), (b) profil de vent dans l'axe de propagation du système (vers la gauche, vitesse U en m/s), et (c) source apparente Q3 de quantité de mouvement dans l'axe de propagation (m/s/heure). À l'arrière de la ligne, on note l'arrêt et l'inversion du flux de mousson dans les basses couches et une intense accélération du flux dans la haute troposphère.



Contenus intégrés en vapeur d'eau (en millimètres) mesurés à Toulouse du 19 août au 30 septembre 2002 par une balise GPS (trait bleu continu, une mesure par heure), un radiomètre micro-onde (points verts, une mesure toutes les 7 minutes) et les radiosondages (tirets rouges avec croix). Il y a une assez bonne concordance entre les différents instruments qui révèlent tous les mêmes tendances générales.

de l'Aïr, sa propagation rapide durant la phase mature et sa dissipation 24 heures plus tard. Le réalisme de ce système convectif et la représentation de son interaction avec l'écoulement synoptique ont permis d'analyser les interactions d'échelles simulées (figure). On constate que le forçage dû à la convection reste mal représenté dans les paramétrisations actuelles de la convection dans les modèles de prévision ou de climat.

Campagne de validation du radiomètre hyperfréquence Airs

Le 4 mai 2002, la Nasa mettait sur orbite le satellite Eos-Aqua avec à son bord le sondeur infra-rouge hyperfréquence Airs. Dotés d'environ 3000 canaux, il vise en priorité la restitution du profil vertical de vapeur d'eau. Préfigurant le sondeur Iasi que l'Europe lancera sur Metop en 2005, Eumetsat et le Cnes ont voulu participer à sa validation opérationnelle et ont

Campagne de mesure en altitude dans le bassin versant du Charquini (Andes)

Le CNRM a participé en 2002 à un projet soutenu par le Programme National de Recherches en Hydrologie intitulé "Dynamique de la couverture neigeuse dans les Andes tropicales". Ce projet, piloté par l'IRD, s'inscrit dans les actions menées par l'Institut depuis 1991 pour mieux comprendre l'impact de la variabilité climatique sur les ressources en eau de la très haute montagne des Andes.

Une station automatique de mesures météorologiques est installée depuis octobre 2001 à une altitude de 4795 m, à proximité de La Paz (Bolivie) dans la haute vallée du Zongo. Deux missions de mesures intensives

*Le dispositif expérimental
installé dans la haute vallée
du Zongo (Bolivie).
Au loin, le sommet
du Charquini (5392 m).*



ont été réalisées (de janvier à mars 2002) afin de documenter l'évolution du couvert neigeux "éphémère" durant la saison humide (mesures usuelles, rayonnements, flux de sol, hauteur de neige...). Sur la période octobre 2001 à avril 2002, les données mesurées ont été complétées de paramètres élaborés tels que : phase des précipitations, nébulosité... Le jeu de données ainsi constitué est unique par sa qualité et par le nombre de paramètres collectés sur un haut bassin Bolivien.

Il a été utilisé pour des simulations de bilan de surface (Isba) et de couvert neigeux (Crocus). Si, sur cette période initiale, on peut regretter le manque relatif de chutes de neige, on peut en revanche se réjouir du bon comportement des deux modèles à reproduire des bilans énergétiques de surface beaucoup plus "dynamiques" que ceux rencontrés communément aux latitudes tempérées. Le dispositif de mesures étant maintenu jusqu'à la fin de l'année 2003, souhaitons que d'ici là les Andes bénéficient de chutes de neige conséquentes qui permettraient de mieux tester la sensibilité de nos modèles à représenter le manteau neigeux tropical ; élément important pour les modèles de climat et la gestion des ressources en eau dans les Andes.

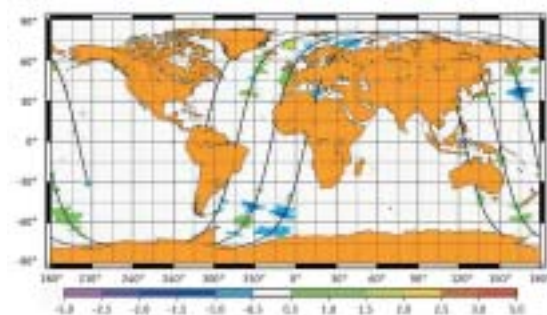
Calibration et validation des données Jason

Les satellites sont les supports les mieux adaptés pour des mesures globales. Météo-France est très impliqué dans l'altimétrie spatiale dont il est un des principaux clients opérationnels : des prévisions des états de mer sont réalisées chaque jour à l'aide de modèles

numériques qui assimilent les données fournies en temps réel par des satellites tel qu'ERS2, et sont aussitôt transmises aux marins, dans le cadre de la mission de sécurité des personnes et des biens, sous la forme de bulletins de météorologie marine ou, pour des opérations particulières, d'assistances spécifiques.

Bientôt, les données de nouveaux satellites seront disponibles pour la prévision marine. Le satellite Jason 1, fruit d'une collaboration entre le Cnes et la Nasa, a été lancé le 7 décembre 2001 depuis la base de Vandenberg située en Californie. Jason 1, successeur de Topex/Poseidon fournira des mesures de hauteur de vagues et de vitesse du vent le long de sa trace au sol tous les 7 km grâce à son altimètre Poseidon2. A ces données viendront s'ajouter celles du satellite Envisat, lancé le 1^{er} mars 2002 depuis la base spatiale guyanaise de Kourou.

En vue de leur utilisation opérationnelle, la division marine et océanographie de Météo-France a contribué, comme précédemment pour Topex/Poseidon, à la calibration et à la validation des données vent/vagues issues des altimètres de Jason et d'Envisat, grâce à



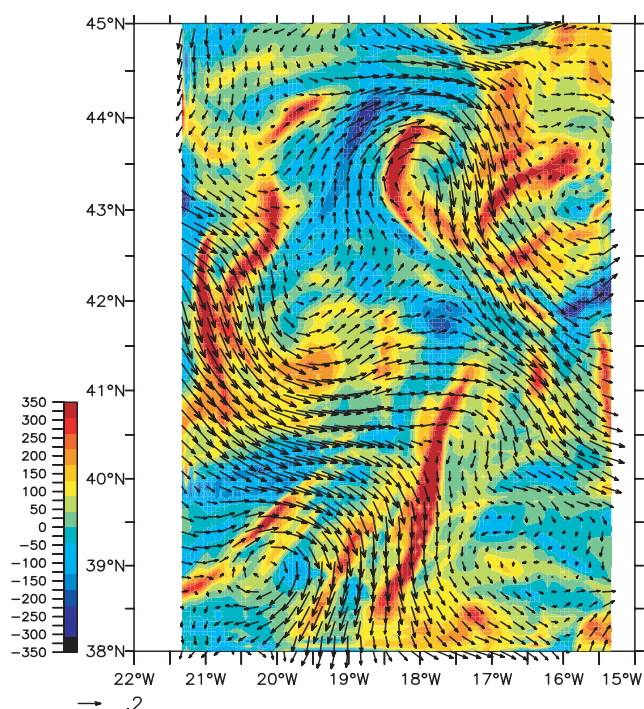
*Corrections apportées
au modèle de vagues global
lors de l'assimilation
des données ERS-2.*

l'utilisation conjointe de données issues de modèles météorologiques opérationnels et aux données issues de bouées ancrées.

Modélisation de la campagne Pomme

La subduction océanique est le processus par lequel les eaux restées en contact avec l'atmosphère pendant l'hiver s'isolent définitivement dans l'océan profond. Ce phénomène peut créer des anomalies de températures de longues années après qu'il se soit produit; il joue par conséquent un rôle fondamental dans l'étude du climat. De plus, il dépend largement des flux à l'interface océan atmosphère. Il n'est pas certain que les modèles océaniques soient aujourd'hui capables d'évaluer ce taux de subduction compte tenu de l'incertitude qui entache les flux de surface sur de grandes périodes de temps.

La campagne Pomme (Programme Océanographique Multidisciplinaire à Moyenne Echelle) a permis de recueillir suffisamment de données pour chiffrer précisément le taux de formation des eaux à 13 degrés sur le proche Atlantique nord-est. Grâce à de nombreuses mesures collectées sur une zone d'environ 1000 sur 1500 km, un bilan de chaleur très précis a pu être déterminé sur un an. Avec une résolution spatiale fine (5 km), ce bilan accorde une part importante aux hétérogénéités océaniques caractéristiques de la mésoéchelle. Ces flux ont servi à forcer un modèle régional issu du modèle Opa spécifiquement conçu pour la campagne. La figure, obtenue grâce à ce modèle, montre le taux de déentraînement des eaux en fin d'hiver, période correspondant au taux effectif de la subduction annuelle. Elle illustre de manière



frappante que le déentraînement se produit en des zones bien déterminées, qui sont associées à des structures océaniques de petite échelle (fronts, bords de tourbillons) et non pas sur des domaines uniformes comme le prétendent les études de grande échelle.

La campagne Valpareso

La campagne Valpareso (VALIDation with a Polarimetric Airborne Radar of the ENVISAT SAR over the Ocean), financée par le Cnes et l'Insue a été menée au large de Brest du 17 octobre au 21 novembre 2002, par des équipes du CNRS, de Météo-France, de l'Ifremer et avec le soutien du Cetmef (ministère de l'équipement).

Elle était dédiée à la mesure des caractéristiques de la surface de l'océan (vent/vagues), dans le cadre des études de validation géophysique du satellite Envisat lancé le 1^{er} mars 2002 par l'Agence Spatiale Européenne. Pour cette expérience, le radar Storm du CETP était monté à bord de l'avion Merlin-IV de Météo-France et échantillonnait la surface le long de trajectoires de l'avion, choisies pour coïncider avec les régions couvertes par l'un des instruments du satellite (le radar imageur "Asar" ou "Advanced Synthetic Aperture Radar", ainsi que pour survoler la bouée-phare d'Ouessant instrumentée pour la mesure des paramètres atmosphériques et de surface.



Après traitement des données, les paramètres fournis par le radar Storm, module et direction du vent, spectre directionnel des vagues (c'est à dire hauteur des vagues en fonction de leur direction de propagation et de leur longueur d'onde), seront utilisés pour valider et développer les algorithmes d'estimation de ces mêmes paramètres à partir des données du radar Asar d'Envisat. Les données de l'expérience seront également comparées aux sorties du modèle Vag de prévision des vagues de Météo-France.

Cette validation est une étape essentielle avant l'utilisation de ces données pour différentes applications liées à la prévision de l'état de la mer. Dans l'avenir, il est envisagé d'assimiler les données produites à partir du radar d'Envisat dans les modèles de prévision des vagues.

Le Merlin équipé du radar Storm à Brest. De gauche à droite : F.Boutet, T.Podvin, J.-C. Etienne, M.Laurens, D.Hauser, MP Lefebvre, W.Maurel, J-F. Daloze.

Champs de déentraînement (en m) calculé entre les campagnes Pomme1 (février 2001) et Pomme2 (mars 2002), auquel on a superposé le champ de courant de surface.



Étude du climat et de l'environnement de la planète

Grâce à des modèles de plus en plus performants, à la prise en compte de l'océan, des aérosols, de la végétation et de la chimie atmosphérique, des progrès notables ont été obtenus dans les simulations climatiques et leurs conséquences pour l'environnement terrestre.

Diagrammes de Hovmöller longitude/temps fournissant l'évolution temporelle le long de l'équateur des champs de température (à gauche) et d'anomalie de température (à droite) simulés par le modèle couplé OpaSTDH/Arpège au cours des années 14 à 20. Les champs sont moyennés dans la bande équatoriale comprise entre 2°N et 2°S. La ligne noire matérialise le bord Est de la warm pool, défini à partir d'un critère portant sur la salinité de surface ($SSS=34.75$ psu).

Réponse océanique aux coups de vent d'ouest sur le Pacifique

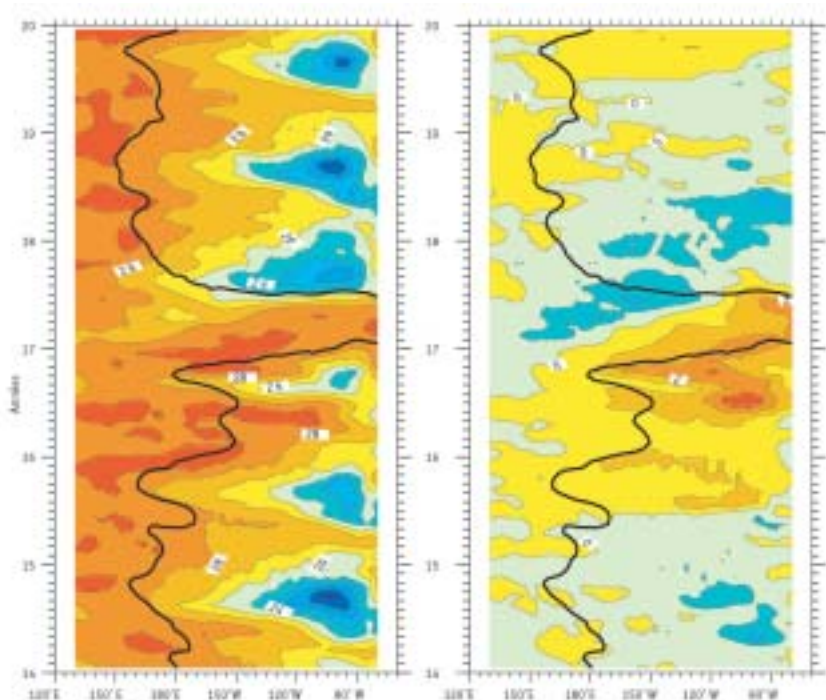
Le rôle des coups de vent d'Ouest, fréquemment désignés en terme de déclencheurs potentiels des événements El Niño, est ici étudié à l'aide d'un modèle

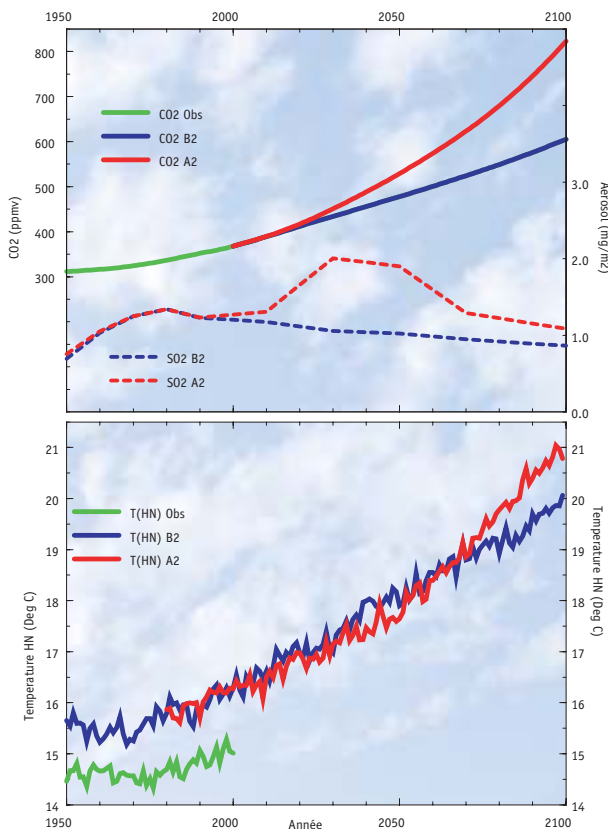
couplé océan Pacifique-atmosphère globale en introduisant, dans une simulation de référence, un coup de vent d'Ouest unique de forte amplitude. L'évolution du champ de température, remarquablement similaire à celle observée par le réseau Toga-Tao lors de la phase de déclenchement d'El Niño 1997/1998, est initialement caractérisée par la formation, dans l'Ouest du bassin, d'une anomalie en profondeur. La propagation vers l'Est de cette anomalie de température le long de la thermocline équatoriale, puis sa remontée en surface dans l'Est du bassin où un réchauffement le long des côtes américaines se développe, confirment ensuite, dans le cadre d'une simulation couplée, la capacité d'un coup de vent d'Ouest à déclencher un événement de type El Niño.

Un bilan de chaleur réalisé à l'échelle de l'anomalie de température en profondeur permet alors de souligner l'importance des processus advectifs linéaires et non linéaires impliqués dans l'évolution de cette anomalie : sa formation en profondeur dans l'Ouest du bassin provient d'une redistribution de chaleur océanique par la recirculation induite par le coup de vent d'Ouest, sa propagation vers l'Est à travers l'ensemble du bassin résultant quant à elle principalement de l'interaction entre état moyen et front de l'onde de Kelvin excitée par ce même coup de vent d'Ouest. Le rôle de l'upwelling (remontée d'eau) moyen, qui, en advectant vers le haut cette anomalie de température, permet l'apparition du réchauffement de surface le long des côtes américaines, est également souligné.

Nouveaux scénarios climatiques A2 et B2

La nouvelle version du système couplé atmosphère-océan-banquise incluant l'écoulement des fleuves a été appliquée pour réaliser deux nouveaux scénarios climatiques. Ce système couplé associe, par l'intermédiaire du coupleur Oasis du Cerfacs, les modèles Arpège-Climat (troncature T63) pour l'atmosphère, le modèle Opa de l'IPSL/Lodyc pour l'océan, le modèle Gelato de banquise, et le modèle Trip d'écoulement des fleuves.





Sur la période 1950-2000 ces scénarios sont similaires et utilisent les valeurs observées des concentrations des gaz à effet de serre et des aérosols sulfatés. Pour la période future 2000-2100, ils utilisent deux augmentations différentes des gaz à effet de serre et des aérosols fournies par deux scénarios proposés par le Giec, un scénario d'augmentation rapide, le scénario A2 aboutissant à une concentration de gaz carbonique de 823 ppm en 2100, et un scénario d'augmentation plus modérée, le scénario B2, déjà utilisé dans nos simulations précédentes, dans lequel le CO₂ ne dépasse pas 605 ppm à la fin du siècle.

Les résultats sur les températures en surface de l'hémisphère Nord montrent que le modèle couplé présente un biais chaud d'environ 1°C par rapport aux observations, mais reproduit la tendance observée au réchauffement de la fin du xx^e siècle. Le scénario A2 conduit à un réchauffement supérieur à celui du scénario B2 à partir des années 2070 pour atteindre environ un degré de plus à la fin du siècle. Auparavant, la concentration plus forte des aérosols sulfatés dans le scénario A2 compense en partie l'augmentation plus rapide du CO₂ et modère son réchauffement autour des années 2050. Ces deux scénarios illustrent comment différentes hypothèses de développement économique peuvent influencer la vitesse et l'amplitude des changements climatiques futurs.

Réponse de la banquise arctique à l'introduction du routage des fleuves dans un scénario climatique

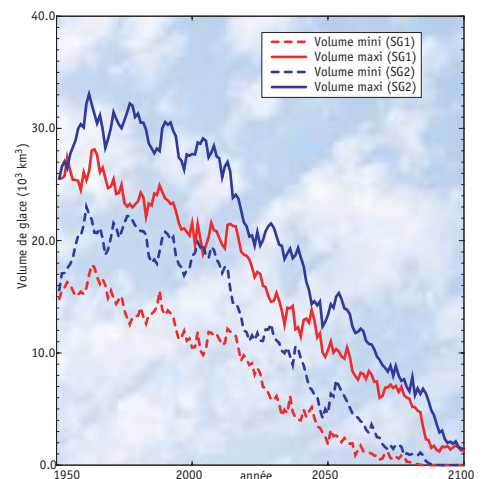
La version 2 du système couplé global du CNRM comprend désormais les modèles Arpège-Climat et Gelato (Météo-France), le modèle océanique Opa du Lodyc et le module d'écoulement de fleuves Trip (université de Tokyo), l'ensemble étant couplé par le logiciel Oasis du Cerfacs. L'ancienne version (1) ne comportait pas de traitement du routage des fleuves. Pour chacun des grands fleuves se déversant dans le bassin arctique (Ob, Ieniseï, Lena et Mackenzie), l'effet de Trip revient à étaler et retarder la saison à laquelle les débits les plus importants sont simulés. Les versions 1 et 2 du modèle couplé ont été utilisées respectivement pour réaliser les scénarios de changement climatique SG1 et SG2 (de type B2 dans la classification de l'IPCC).

La modification du cycle saisonnier de cet énorme apport d'eau douce au système couplé océan-glace entraîne une réponse significative de la banquise : par exemple, de 1950 à 2000, on observe une augmentation notable du volume de glace arctique dans SG2 par rapport à SG1. Il a été montré qu'aux abords des embouchures des fleuves, la salinité à la surface de l'océan est plus faible dans SG2 que dans SG1, particulièrement au début de l'automne. Sur toutes ces zones, les taux de croissance de la banquise se trouvent nettement augmentés suite à l'élévation du point de congélation qui résulte de l'abaissement de la salinité, mais aussi car ces conditions particulières à la surface interviennent à la période climatiquement la plus favorable à la formation de la glace. La banquise produite dans ces "usines à glace" localisées est ensuite transportée à travers tout le bassin arctique.

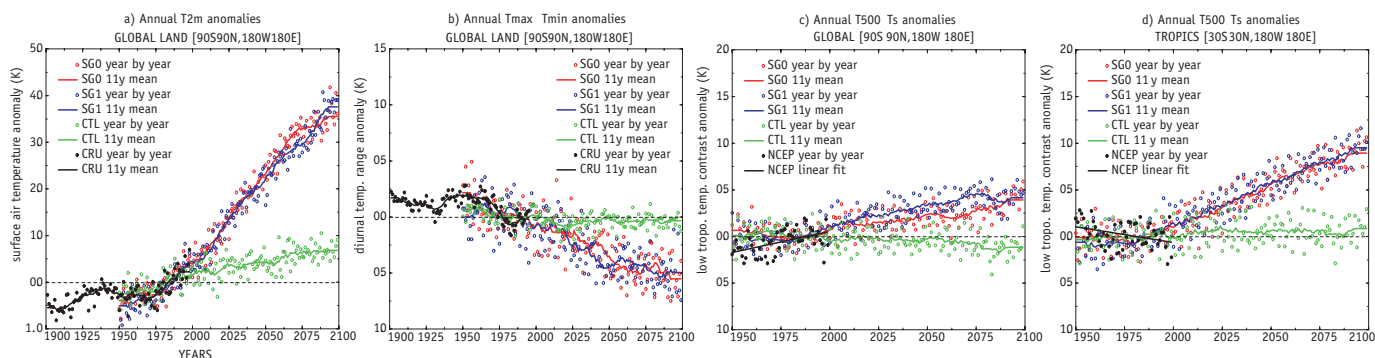
Validation de la répartition spatio-temporelle du réchauffement atmosphérique simulé dans les scénarios climatiques

Malgré les nombreux efforts effectués pour améliorer les modèles couplés océan-atmosphère, les projections climatiques du 21^{ème} siècle demeurent très incertaines. Il ne suffit pas de valider ces modèles en terme de climat moyen pour assurer la pertinence de leur réponse à un forçage externe, en l'occurrence ici une augmentation de la concentration des gaz à effet de serre.

Comparaison de l'évolution du gaz carbonique (traits pleins, échelle de gauche) et des aérosols (traits pointillés, échelle de droite) utilisés pour forcer le modèle couplé selon les scénarios A2 et B2 (figure du haut) et réponse des températures moyennes annuelles de l'hémisphère Nord (figure du bas) simulées par le modèle couplé, comparées aux températures observées issues de Jones, Climate Research Unit.



Minima et maxima annuels des volumes de banquise simulés en arctique dans le cadre des expériences SG1 et SG2 d'évolution du climat.



Evolution des anomalies annuelles (symboles) et en moyenne glissante sur 11 ans (courbes) ou en régression linéaire (droites) de différents indicateurs du changement climatique :

a) moyenne globale continentale de la température de l'air en surface,

b) moyenne globale continentale de l'amplitude du cycle diurne de la température de l'air en surface,

c) moyenne globale de la différence de température entre 500 hPa et la surface. Pour chaque indicateur, on compare les scénarios climatiques (SG0 et SG1) avec l'expérience de contrôle (CTL) sans changement de concentration des gaz à effet de serre, ainsi qu'avec les observations du CRU ou les réanalyses du NCEP. Toutes les anomalies sont calculées par rapport aux moyennes annuelles estimées sur la période 1970-1999.

En dehors des études paléoclimatiques, la fin du ^{xx}e siècle, riche en observations, nous offre la possibilité de tester cette sensibilité puisqu'on y discerne les premiers indices tangibles d'un dérèglement climatique global. Il est donc important de comparer sur cette période les tendances climatiques simulées aux tendances observées. C'est ce qu'illustre la figure (a) qui montre l'évolution de la moyenne annuelle et globale de la température de l'air en surface au dessus des continents.

Pourtant, il ne suffit pas de reproduire le réchauffement global en surface, mais il faut aussi simuler certaines de ses caractéristiques spatio-temporelles. Bien qu'à l'échelle globale (continents et océans confondus), le réchauffement simulé dans la troposphère (figure) semble consistant avec la tendance indiquée par les réanalyses météorologiques du NCEP (National Centers for Environmental Prediction), l'accord n'est pas satisfaisant en terme de répartition zonale. Ainsi, à l'inverse du changement climatique simulé, les réanalyses montrent un réchauffement plus marqué en surface dans les régions tropicales. Cette contradiction soulève des questions sur la pertinence du forçage radiatif utilisé (rôle possible des éruptions volcaniques) et/ou des mécanismes physiques mis en oeuvre dans le modèle couplé (par exemple les rétroactions liées à la nébulosité convective).

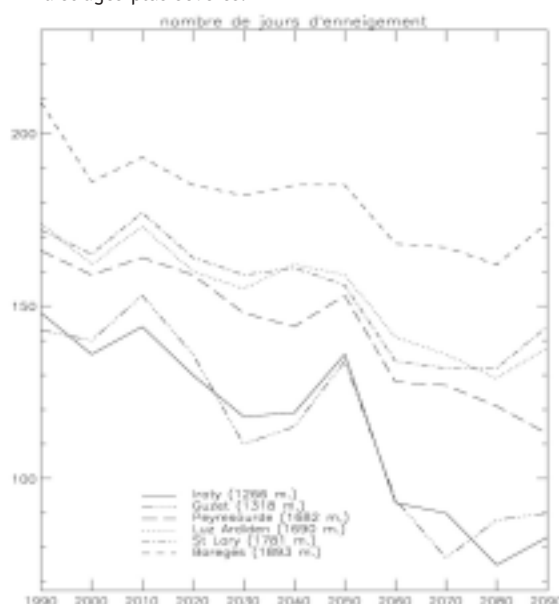
Impact hydrologique du changement climatique sur les bassins du Rhône et de l'Adour-Garonne

Les simulations de l'évolution du climat sous l'effet de l'augmentation des gaz à effet de serre indiquent des modifications importantes du régime de précipitations en Europe : augmentation des précipitations hivernales, diminution des précipitations estivales plus prononcée dans le sud de l'Europe.

Pour étudier l'impact du changement climatique sur le bilan hydrique et l'hydrologie de grands bassins versants français, les anomalies mensuelles de pluie et de température simulées par 7 scénarios de modèles climatiques ont été utilisées en entrée du modèle hydrologique Isba-Modcou sur les bassins du Rhône et de l'Adour-Garonne.

Pour la décennie 2050-2060, les simulations hydrologiques montrent une grande sensibilité aux variations climatiques sur les deux bassins : augmentation des débits hivernaux, plus marquée sur les bassins du Nord et diminution des débits d'été. En moyenne, on note une diminution de l'humidité des sols suite à l'augmentation de l'évapotranspiration et ceci malgré des conditions d'humidification plus favorables en hiver (augmentation du ruissellement).

Malgré les incertitudes actuelles des modèles de climat, on observe aussi une très forte sensibilité du manteau neigeux sur les Alpes et les Pyrénées en raison de la réduction de l'accumulation hivernale (davantage de précipitations liquides) et d'une fonte nivale plus précoce. Récemment, les simulations continues du modèle Arpège-Climat ont été utilisées pour étudier cette dynamique de l'évolution hydrologique de la période actuelle jusqu'à la fin du siècle. La figure montre la décroissance possible du nombre de jours de neige pour quelques stations de sports d'hiver des Pyrénées. La modification du manteau neigeux impacte nettement le régime hydrologique des rivières à caractère nival (Durance, Adour) avec des pics de crues printaniers plus précoces, entraînant des périodes d'été plus sévères.



Une première expérience de modélisation climatique régionale couplée sur la Méditerranée

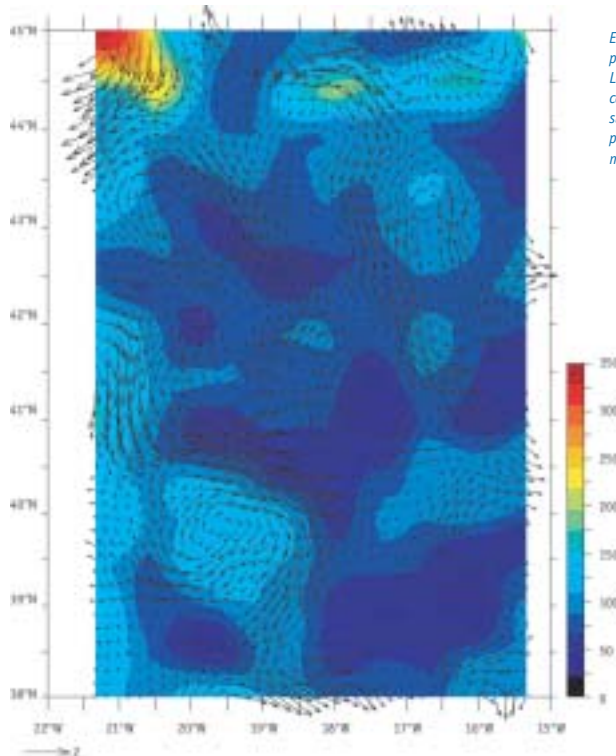
Depuis de nombreuses années, le CNRM exploite la possibilité du modèle Arpège de représenter le globe en résolution horizontale variable (grille basculée étirée) pour faire de la modélisation climatique régionale sur l'Europe. La grille utilisée, dite grille Médias, offre une résolution maximale de 50 km sur la Méditerranée.

Les scénarios climatiques régionaux réalisés jusqu'à présent sont obtenus en utilisant la température de la mer provenant d'un scénario couplé océan-atmosphère à basse résolution (300 km). Depuis 2002, le CNRM dispose d'une version du modèle océanique Opa (développé par l'IPSL) qui recouvre la Méditerranée avec une maille de 10 km. Une telle résolution est nécessaire pour représenter correctement la topographie du bassin. Le modèle Opa-Méditerranée et le modèle Arpège ont fait l'objet d'une simulation couplée de 30 ans au cours de laquelle aucune dérive notable n'a été observée malgré l'absence totale de terme de rappel.

En attendant de faire une expérience de scénario régional en mode couplé, nous avons étudié l'impact sur la Méditerranée de notre scénario régional Giec-B2. Ce scénario a été réalisé avec Arpège "Médias" forcé par les anomalies de température de la mer du scénario couplé global du CNRM. Les flux quotidiens de température et d'humidité de ce modèle ont été appliqués à la surface du modèle Opa-Méditerranée sur une période de 1960 à 2100. La figure montre l'évolution année par année de la température moyenne pour trois bassins : la partie occidentale, la partie orientale, et l'Adriatique. Il s'agit de la température moyenne du fond à la surface. On constate que le réchauffement en surface dû à l'effet de serre se propage à toute la colonne. La mer Adriatique, moins profonde, se réchauffe plus vite.

Assimilation de courants dans un modèle de couche mélangée océanique

Pour les besoins de la campagne Pomme (voir ci-avant), un modèle de couche mélangée océanique dit pseudo-3D a été conçu pour étudier les processus de surface et leur lien avec les flux océan-atmosphère. Ce modèle repose sur l'idée que l'océan est au premier ordre piloté par la géostrophie. Si cet équilibre est bien décrit par ailleurs (existence sur une zone de réseaux hydrologiques, de données altimétriques validées par des observations, comme dans le cadre de la campagne Pomme), alors tous les termes agéostrophiques peuvent être calculés par un modèle 1D de mélange vertical auquel on aura préalablement rajouté les termes tridimensionnels d'évolution.



Exemple de champs restitué par le modèle pseudo-3D. Le courant déduit de la campagne Pomme2 est superposé au champs de profondeur des couches mélangées.

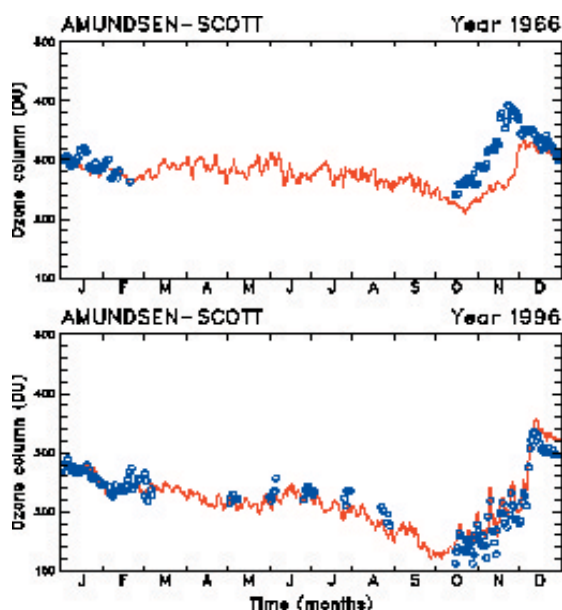
Des analyses de courant ont été produites tous les 7 jours pendant la campagne (travaux effectués au Legos). Ces analyses incluent des données de flotteurs, des données des réseaux hydrologiques, des données satellitaires d'anomalie de hauteur dynamiques, ainsi que des sorties d'un modèle quasi-géostrophique. Ces courants ont été introduits dans le modèle pour lui fournir l'état de base autour duquel les termes d'évolution des courants et de la thermodynamique sont calculés.

Les résultats fournis par ce modèle sont tout à fait encourageants puisqu'il a déjà permis de réaliser une intégration longue sur la moitié de la campagne Pomme (6 mois d'intégration). Ceci permet de combler une lacune importante des modèles existants car la courantométrie n'est toujours pas assimilée, malgré les efforts déployés pour la mise à l'eau de flotteurs.

Validation des champs d'ozone issus d'Era-40

Pour la première fois, le projet de ré-analyse de la période 1958-2000 du CEPMMT, Era-40, inclut la variable ozone comme variable du modèle. Le principal problème lié à cette nouveauté est le manque de données à assimiler par le modèle en particulier pendant la première moitié de l'expérience, les données satellitaires d'ozone offrant une couverture globale ne faisant leur apparition qu'en 1979. Pendant la période 1958-1978, les champs d'ozone issus d'Era-40 sont donc exclusivement générés par le modèle du CEPMMT,

Ozone total provenant d'Era-40 (trait rouge) et observations depuis le sol (points bleus) au pôle Sud pour les années 1966 (haut) et 1996 (bas).



qui utilise une paramétrisation simplifiée des sources et puits photochimiques d'ozone élaborée au CNRM. Pour la validation de ces champs d'ozone, les observations indépendantes (non utilisées par l'assimilation) sont malheureusement peu nombreuses : les seules données couvrant l'intégralité de la période sont celles du réseau mondial d'observation de l'ozone depuis le sol, compilées par le World Ozone and UV Data Center (WOUDC), dont la fréquence temporelle et la distribution géographique sont très irrégulières.

La figure présente un bon exemple de comparaison de la colonne totale d'ozone issue d'Era-40 et des mesures correspondantes par spectromètre Dobson au pôle Sud pour les années 1966 et 1996. On peut voir que l'assimilation des données satellitaires (Toms) dans les années les plus récentes permet au modèle de produire une colonne d'ozone tout à fait réaliste, alors que des erreurs significatives (plusieurs dizaines d'unités Dobsons) peuvent être observées antérieurement. Une analyse détaillée portant sur l'ensemble des stations du réseau met en évidence une grande variabilité temporelle et spatiale de ce biais ; le plus grand soin doit donc être apporté dans l'utilisation des champs d'ozone provenant d'Era-40, en particulier dans les études de tendances à long terme.

Interaction aérosol/nuage/rayonnement : étude expérimentale et paramétrisation pour les modèles de climat.

En juin et juillet 1997 s'est déroulé aux Iles Canaries le projet Cloudy-Column, un des 5 projets de Ace-2, soutenu par la Commission Européenne et coordonné par le CNRM. Il était dédié à l'étude de l'impact des aérosols sur les propriétés radiatives des nuages de couche limite.

Pour la première fois des mesures simultanées des propriétés physico-chimiques des aérosols, microphysiques et radiatives des nuages ont été collectées par des avions instrumentés, dont le Merlin-IV de Météo-France. Huit cas d'étude ont été documentés par des concentrations de gouttelettes de nuage variant de 50 à 250 cm^{-3} , une gamme bien représentative de la variabilité naturelle au dessus de l'océan.

A la suite de ce projet, la Commission Européenne a soutenu le projet Pace, toujours coordonné par le CNRM, dont l'objectif était d'utiliser les résultats de Ace-2 pour valider les paramétrisations de l'effet indirect des aérosols dans les modèles de climat et en développer de nouvelles. Sept groupes de modélisation du climat ont participé au projet : Europe (Hadley Centre, MPI et LMD), USA (GISS, Univ Michigan et PNNL), Canada (Univ Dalhousie). Les modélisateurs ont activement participé à la définition des procédures de traitement des données, afin de construire une base de référence qui leur a permis de tester leurs paramétrisations. Les résultats les plus originaux sont relatifs à la paramétrisation, diagnostique ou pronostique, de la concentration des gouttelettes et à celle des précipitations dans les nuages de couche limite.

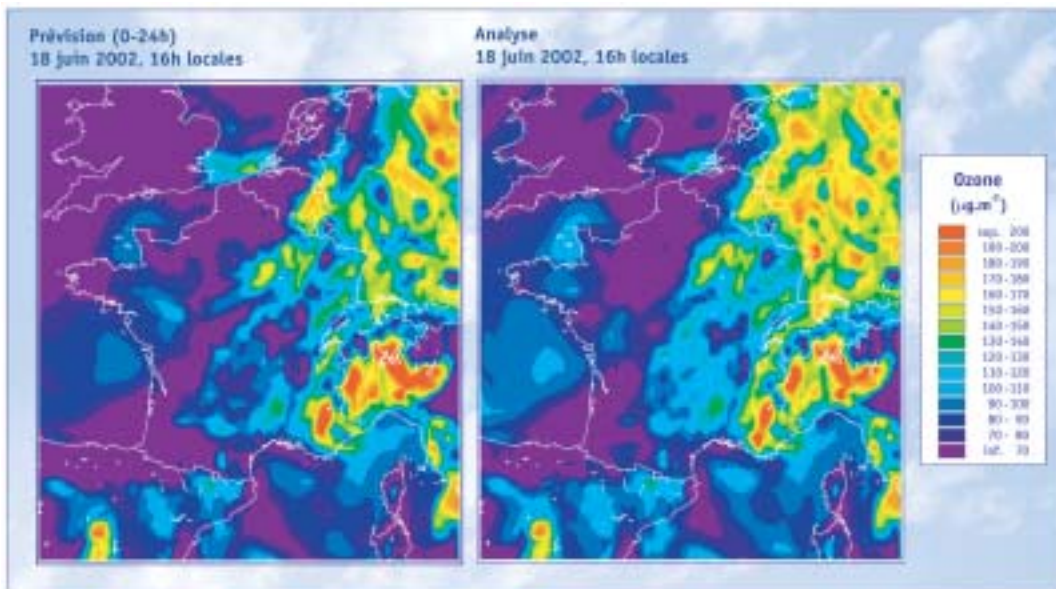
Ces résultats ont connu un impact international majeur à l'occasion de la réunion de clôture du projet qui s'est déroulée à Météo-France en juin 2002. Outre les partenaires du projet Pace, plus de cent participants ont assisté aux conclusions : 40 % de France, 20 % du Royaume Uni, 20 % du reste de l'Europe et 20 % des Etats-Unis, Canada et Japon.

Mocage : prêt pour des applications opérationnelles

En 2002, pour le second été consécutif, le modèle Mocage a été employé dans une configuration de prévision du « temps chimique ». Ce concept récent, directement hérité de la prévision numérique météorologique, connaît un intérêt croissant aux niveaux national et européen, notamment dans le cadre du programme GMES (Global Monitoring for Environment and Security) du 6ème PCRD et de l'Esa.

Le modèle Mocage a effectué quotidiennement des prévisions chimiques jusqu'à 96h d'échéance, depuis l'échelle globale jusqu'à l'échelle nationale. Portant sur la troposphère et la stratosphère, s'affranchissant du besoin de conditions aux limites du fait de sa couverture planétaire, il s'agit d'un système très novateur au plan international. Différentes sorties ont été diffusées au public, notamment au travers de la page « environnement » du serveur <http://www.meteo.fr>.

En temps réel, l'évolution du trou d'ozone très particulier de septembre-octobre 2002 a pu être prévue et suivie. Les index Ultra-Violet prévus par le modèle



Comparaison de la prévision, à un jour d'échéance, des concentrations d'ozone en surface pour la France et d'une référence ou "analyse", qui prend en compte plus d'une centaine d'observations d'ozone pour cette échéance. La forte similitude entre les deux cartes illustre la bonne qualité des prévisions.

Mocage, ont été utilisés par Sécurité Solaire et diffusés dans les grands média nationaux. Pour la qualité de l'air, des cartes de prévision d'ozone à grande échelle en surface ont été produites. Dans le cadre du projet de recherche Pioneer, piloté par le Laboratoire de Météorologie Dynamique, la qualité et les incertitudes associées à ces prévisions ont pu être analysées et confrontées aux mesures effectuées dans les Associations Agréées de Surveillance de la Qualité de l'Air. La figure présentée ici montre un exemple de comparaison de la prévision, à un jour d'échéance, des concentrations d'ozone en surface pour la France et d'une référence ou «analyse». La forte similitude entre les deux cartes illustre la bonne qualité des prévisions. Il est prévu de prolonger cette expérience de prévision du "temps chimique" pour une utilisation opérationnelle.

Le trou d'ozone 2002 vu par Mocage

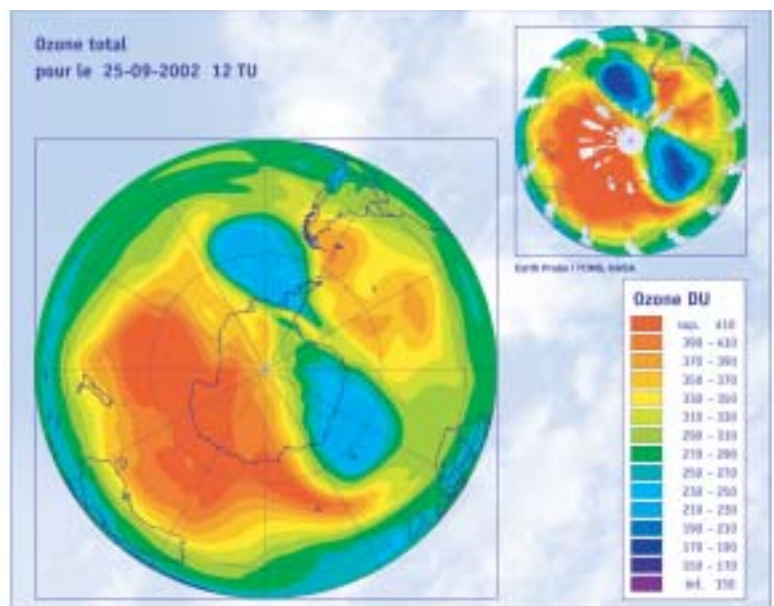
Le trou d'ozone correspond à la destruction rapide de la couche d'ozone au début du printemps austral en Antarctique. Officiellement découvert en 1986, mais observé depuis la fin des années 70, son origine est maintenant bien connue : les émissions de chlorofluorocarbures (CFC), manufacturés depuis la fin des années 50, ont conduit à une augmentation du contenu stratosphérique en chlore et en brome ; des processus dynamiques, thermodynamiques et chimiques couplés, maintenant identifiés, expliquent l'apparition annuelle de ce phénomène.

Météo-France a contribué de longue date à l'étude du trou d'ozone, essentiellement à l'aide d'outils de modélisation, d'abord bidimensionnel, puis tridimensionnels, capables d'en effectuer des simulations

numériques. Le modèle Mocage, héritier de ces précédents modèles, a prévu dans des conditions quasi-opérationnelles (prévisions quotidiennes à 96h d'échéance) le trou d'ozone de septembre-octobre 2002. Fait exceptionnel, le vortex polaire s'est scindé en deux à la fin du mois de septembre, ce qui a conduit à l'un des plus petits trous d'ozone jamais observé.

La figure illustre la qualité de la simulation de Mocage, effectuée sans aucune assimilation de données de mesures chimiques. Après deux années marquées par des trous d'ozone au contraire très profonds et étendus, également bien simulés par le modèle, cela montre sa capacité à reproduire la forte variabilité inter-annuelle des trous d'ozone. C'est un élément important pour

Épaisseur de la colonne intégrée d'ozone (unités Dobson) simulée par le modèle Mocage et observée par l'instrument EP/Toms (Nasa) pour le 25 septembre 2002.

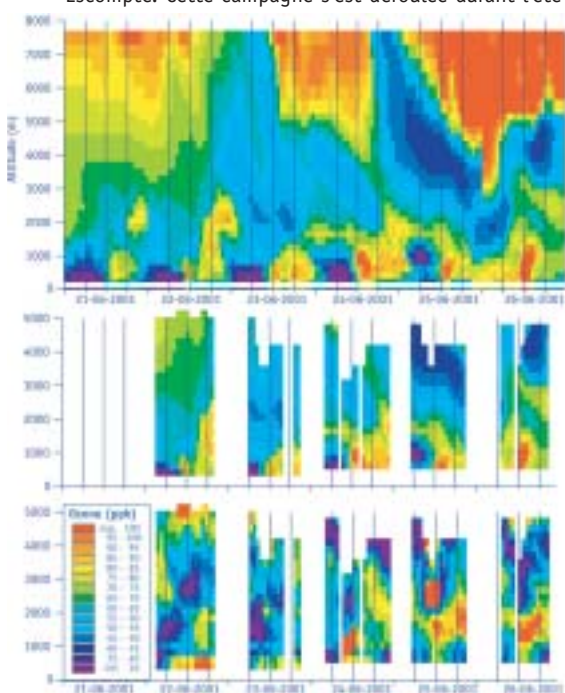


aborder le questionnement actuel sur l'évolution future et la prévision de la disparition du trou d'ozone au cours des prochaines décennies, suite à l'arrêt des émissions de CFC.

Simulations à multi-échelle de la campagne Escompte avec Mocage

Le modèle Mocage est appliqué à la simulation et l'étude d'épisodes de pollution documentés durant Escompte. Cette campagne s'est déroulée durant l'été

Concentrations d'ozone du lidar Alto (SA, IPSL) situé à Aix-les-Milles. Simulation (complète en haut ; projetée sur les observations disponibles au milieu) ; et observations (en bas).



2001 dans le Sud-Est de la France (région de Marseille et du complexe industriel de Fos/Berre). Les premières comparaisons des simulations à l'échelle régionale aux observations sont satisfaisantes tant en surface qu'en altitude, bien que la résolution la plus fine du modèle

ne soit que de l'ordre de 10 kilomètres (forçage météorologique par le modèle Aladin). En particulier, les caractéristiques complexes des mesures quasi-continues de plusieurs lidars ozone (de 0 à 5000 mètres d'altitude) sont reproduites dans les simulations (figure) : le développement de la couche diurne, la présence de panaches résiduels, mais également la très grande variabilité des couches supérieures de la troposphère.

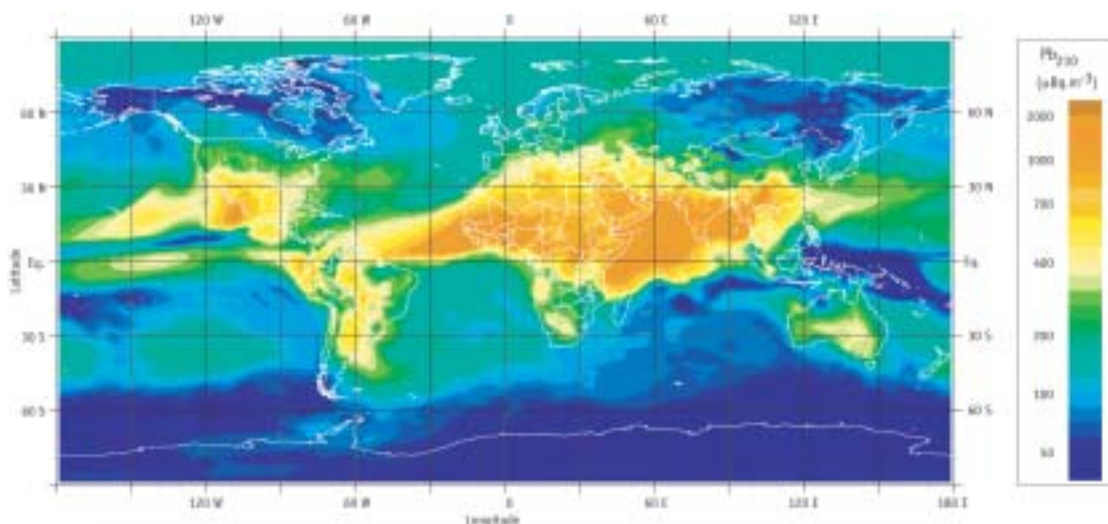
Parallèlement, sur la base de ces mêmes observations, diverses études de sensibilité sont menées afin d'évaluer l'influence sur la qualité des simulations de diverses hypothèses : résolutions horizontales du modèle et des cadastres d'émissions employés ; schéma chimique utilisé ; imbrication à double sens des différents domaines du modèle ; ainsi que l'importance des conditions aux limites chimiques tant horizontales que verticales. En effet, ce dernier point est souvent simplifié dans les modèles à aire limitée et la configuration du modèle Mocage permet d'évaluer explicitement les erreurs commises.

Le lessivage des espèces gazeuses et des aérosols dans Mocage

Le lessivage est un phénomène fondamental dans la représentation de l'évolution de la composition chimique de l'atmosphère. En effet, des précipitations d'intensité moyenne peuvent éliminer en quelques heures la quasi-totalité d'un constituant soluble, gaz ou particule. Pour les particules, ce lessivage intervient dans les nuages, par coagulation avec les gouttelettes d'eau, et sous les nuages précipitants, par collision avec les gouttes de pluie. Pour les gaz, outre l'entraînement dans les précipitation convectives ou de grande échelle, le lessivage pendant le transport dans les nuages convectifs doit être pris en compte.

Le modèle Mocage a été muni d'un jeu très complet de représentation des processus de lessivage pour les gaz

Concentration moyenne mensuelle (en janvier) de plomb 210.



et les aérosols, en grande partie basé sur des développements réalisés initialement au Laboratoire d'Aérodynamique pour Mésos-Nh-Chimie. Une procédure de reconstruction des flux tridimensionnels de précipitations de grande échelle a en outre été élaborée : ces flux sont indispensables pour le traitement du lessivage, mais ne sont pas archivés dans les sorties des modèles météorologiques opérationnels. La procédure de reconstruction a été validée par comparaison avec les diagnostics effectués en ligne dans le modèle Arpège. L'évaluation du nouveau module complet de lessivage dans le modèle Mocage s'appuie notamment sur la simulation des concentrations atmosphériques du plomb 210, espèce chimiquement inerte mais hautement soluble, et des particules de carbone suie, de solubilité moindre. Les résultats préliminaires de ces simulations sont satisfaisants, en bon accord avec la littérature récente et les observations disponibles.

Enrichir les bases de données climatologiques africaines

Constituée dans les années 1980 une importante base de données climatologiques historiques portant sur des données d'observations de surface et d'altitude de 14 pays d'Afrique Centrale et d'Afrique de l'Ouest est aujourd'hui accessible à la communauté scientifique (143 stations, 120 millions de données synoptiques, 65 millions de données quotidiennes et 5 millions de données en altitude).

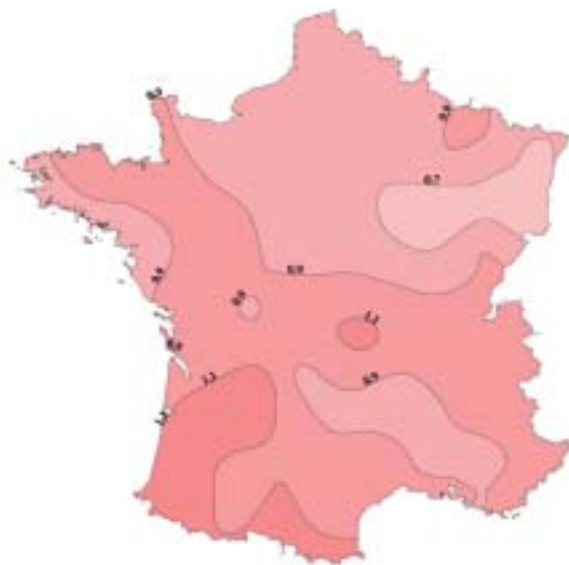
Fruit de la collaboration entre le CNRS, l'Asecna et Météo-France, cette base de données a, cette année, été inventoriée et analysée et mise sur un support Cédérom.

Invités lors du vingtième anniversaire de la Météopole, les 14 pays concernés se sont vu remettre leurs données historiques nationales. Avec l'enrichissement des bases de données climatologiques africaines, cette

base représente également un important potentiel en matière de recherche pour des sujets comme la prévision saisonnière, la mousson africaine ou le changement climatique.

L'action "longues séries de données et homogénéisation"

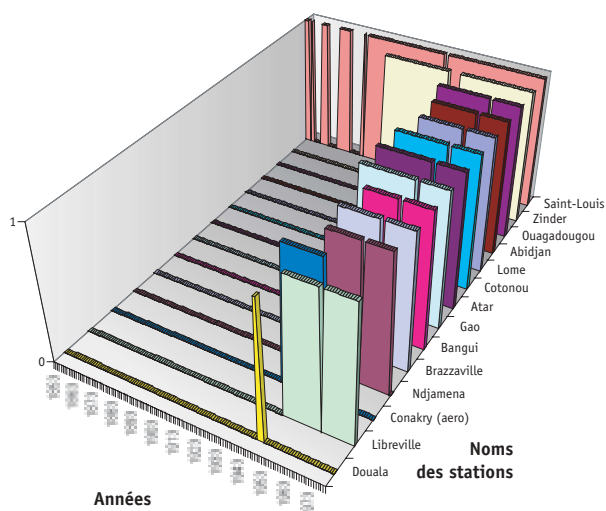
L'action Longues Séries de Données Homogénéisées de la Direction de la Climatologie a permis la constitution d'une base de référence en séries thermométriques et pluviométriques couvrant le 20^{ème} siècle. Ces données permettent l'étude des changements climatiques à échelle fine. Elles sont aussi les candidates privilégiées pour la validation des modèles de climat, en particulier les modèles à forte résolution sur la France. Elles participent aux études de détection des changements climatiques à échelle régionale.



Tendance 1901-2000
(en °C/siècle) des températures
moyennes homogénéisées
(70 séries).

L'utilisation de ces données par la communauté scientifique a eu lieu ou est prévue par exemple dans le cadre de différents projets (projets Eclipse 2001 sur le petit âge glaciaire, projet Imfex du GICC). L'action se poursuit vers la l'homogénéisation de données plus anciennes et d'autres paramètres.

Le graphique des tendances des températures moyennes sur la France illustre les disparités régionales du réchauffement au cours du xx^e siècle, avec un gradient marqué du nord-est au sud ouest.



Échantillon des périodes
d'observations quotidiennes
pour 14 pays d'Afrique,
contenu dans la base de
données de Météo-France.



Développements instrumentaux

L'année a été marquée par l'achat du nouvel avion de recherche atmosphérique et sa mise en usine pour y subir toutes les transformations nécessaires à l'embarquement des différents capteurs qu'il pourra emporter. Dans le même temps, divers travaux prometteurs ont été menés, notamment en matière de mesure océanique.

Le nouvel avion de recherche de Météo-France

Dans le cadre de leurs activités de recherche, Météo-France depuis 1946, le CNRS/INSU depuis 1973 et le CNES, ont mis en oeuvre des avions spécialisés dans la mesure atmosphérique et dans l'emport d'instruments de télédétection. Une prestigieuse lignée d'avions scientifiques a ainsi permis d'accomplir des progrès considérables dans les domaines les plus variés des sciences atmosphériques.

Aujourd'hui les trois plus importants avions de recherche français, le Merlin IV, le Fokker 27 ARAT et le Mystère 20, terminent leur carrière. Les études de besoins menées dès 1995 ont montré la nécessité de disposer de deux nouveaux avions : un biturbopropulseur de grande charge utile pour la troposphère et un bi-réacteur pour la haute troposphère et basse stratosphère. Par ailleurs, le petit bimoteur Piper Aztec de Météo-France était confirmé dans ses missions "basse troposphère".

L'ATR42 de météo-France en chantier sur le site de la Sogerma à Bordeaux.



Météo-France a alors décidé de lancer le projet d'acquisition d'un biturbopropulseur. Ce nouvel avion devra permettre de réaliser des mesures simultanées in-situ et de télédétection, de réaliser des vols de longues durées (jusqu'à 6 heures d'autonomie), de pouvoir recevoir jusqu'à neuf scientifiques et plusieurs instruments lourds (charge utile 2,5 tonnes) et de voler aussi bien à 30 m qu'à 7 000 m.

L'appel d'offre lancé en 2001 a débouché sur le choix d'un ATR 42-320. Cet avion est devenu formellement propriété de Météo-France, le 13 septembre 2002 pour la somme de 4,3 millions d'Euros. Le chantier de modification (8,1 millions d'Euros) a commencé aussitôt avec notamment la création d'emports spécifiques sous les ailes, sur et sous le fuselage, de deux immenses fosses sous le fuselage pour radars et autres lidars. Le calendrier prévoit la livraison de l'avion en mars 2004. Commencera alors l'intégration finale des capteurs, des postes de travail et du calculateur ainsi que la phase d'étalonnage qui seront réalisés par Météo-France.

Nota : Le CNRS/INSU a procédé de son côté à l'achat d'un Falcon 20 qui sera livré également en 2004.

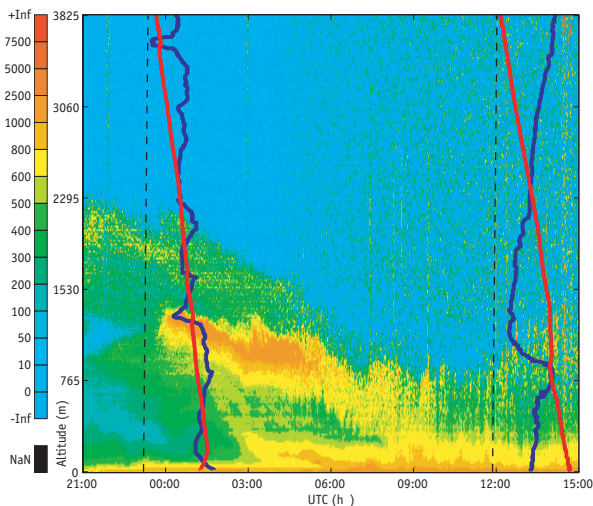
Suivi de la couche de mélange à l'aide d'un télémètre de nuages du commerce

Un lidar installé au sol et pointé verticalement est capable de suivre en continu les variations de hauteur de la couche de mélange atmosphérique. Une étude conduite à Météo-France, montre qu'il est possible d'obtenir ce même suivi à l'aide d'un télémètre de nuages du commerce légèrement modifié, dont Météo-France dispose d'une centaine d'exemplaires dans son réseau opérationnel d'observation.

L'idée initiale de ce développement instrumental repose sur le constat que les signaux bruts de ces télémètres de nuages à laser montrent, outre l'écho principal rétrodiffusé par la base des nuages, des échos secondaires, plus faibles, rétrodiffusés par les gouttelettes et les aérosols situés entre le sol et la base des nuages. Ainsi, la mesure de l'altitude des échos secondaires permet de déterminer la hauteur de la couche de mélange, mais aussi d'obtenir une coupe, de la forme et de l'altitude des couches d'aérosols et des zones de précondensation localisées à la verticale du système.



Le télémètre a été modifié afin de produire un profil dont la résolution verticale est de 15 mètres, et qui est obtenu sur la base de cycles d'intégrations de 15 secondes, dont le nombre dépend de l'intensité des échos rétrodiffusés. Les échos rétrodiffusés présentent des valeurs significatives dès l'altitude de 15 mètres.



Un télémètre CT25K (figure) de la société Vaisala a été testé pendant dix mois sur le site de Trappes et ses résultats comparés à deux radiosondages quotidiens qui fournissaient les profils verticaux de la température et de l'humidité. Ces quelques mois d'essais ont montré que ce télémètre est apte, dans des conditions météorologiques propices à la stratification verticale, à mesurer en continu l'épaisseur de la couche de mélange, mais également à déterminer la forme et l'altitude des couches d'aérosols dans les premiers kilomètres de l'atmosphère.

La bouée Marisonde "NG"

Les bouées Marisonde GT ont été développées au début des années 90. Elles permettent la transmission des données et leur localisation grâce au système Argos. Elles mesurent le vent en force et direction, la pression atmosphérique et des températures en profondeur de la mer jusqu'à 200 mètres. Les solutions utilisées pour

la réalisation des chaînes bathythermiques arrivent à une limite technique. Cette limite est liée au nombre de conducteurs et au poids du câble. Pour pouvoir augmenter le nombre de capteurs il a fallu concevoir une électronique capable de gérer un nouveau type de chaîne bathythermique.

L'idée générale est de pouvoir dialoguer avec les différents capteurs régulièrement espacés le long de la chaîne à l'aide d'un simple "bus". La carte électronique de la nouvelle génération des Marisondes a été définie de façon à pouvoir interfacer trois "bus" sous-marin et un "bus aérien". Les capteurs des "bus" de la chaîne bathythermique sont alternées de façon à assurer l'obtention d'un profil de température en cas de défaillance d'un des "bus".

Le premier prototype de Marisonde NG (N pour Nouvelle) a été mis en mer au début du mois de septembre à mi-chemin entre l'île d'Ouessant et le Cap Finisterre (figure). Sa chaîne bathythermique de 300 mètres de long comprend 16 sondes de températures et 4 capteurs de pression hydrostatique sur deux "bus". Vingt cinq jours de données ont été engrangées, puis la bouée a du être récupérée à la suite de la défaillance d'une partie de l'un des deux bus.

Photographie du télémètre Vaisala CT25K en essais sur la plateforme expérimentale de la Direction des Systèmes d'Observation à Trappes.

Visualisation d'une série temporelle d'échos rétrodiffusés, observés le 16 juin 2002 à Trappes avec, en superposition, les profils de température et d'humidité mesurés par les radiosondages de 00 UTC et 12 UTC.

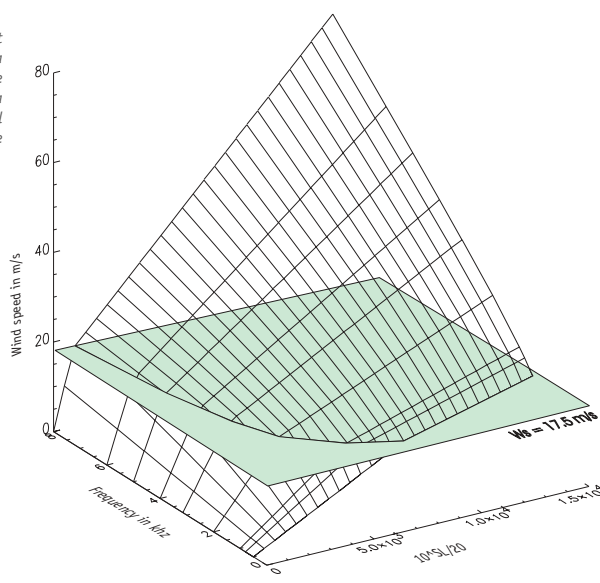


Évaluation de la mesure du vent sur bouée dérivante par méthode acoustique

A la mi-avril 2002, deux flotteurs SVP-BW construits par Metocean (Canada) pour Météo-France, ont été mis à l'eau au sud de Terre-Neuve près de deux bouées ancrées appartenant au service météorologique du Canada. Les flotteurs SVP-BW sont des flotteurs de suivi du courant de surface qui utilisent la technique Wotan (Wind Observation Through Ambient Noise) pour

Mise à l'eau d'une bouée Marisonde NG

Estimation de la vitesse du vent à 5 mètres au dessus de la surface de la mer en fonction de l'énergie sonore et de la fréquence selon le nouvel algorithme



estimer la vitesse du vent à partir de l'énergie sonore qu'il engendre et qui se propage dans l'eau. Ces flotteurs sont utilisés depuis quelques années, mais ne donnent pas entière satisfaction.

Alors que l'une des bouées dérivantes s'est rapidement éloignée de la bouée ancrée près de laquelle elle avait été mise à l'eau, la seconde est restée à moins de 50 milles marins de 3 bouées ancrées visitées successivement. Cinq mois de données comparatives ont ainsi pu être collectées.

Utilisant les données de vent mesurées par les bouées canadiennes de manière classique et les données brutes d'énergie sonore sous-marine mesurées à différentes fréquences par les bouées dérivantes, un nouvel algorithme a été réalisé et testé par les chercheurs de Météo-France afin d'améliorer les estimations faites par ces dernières.

Mini station automatique pour navire d'opportunité

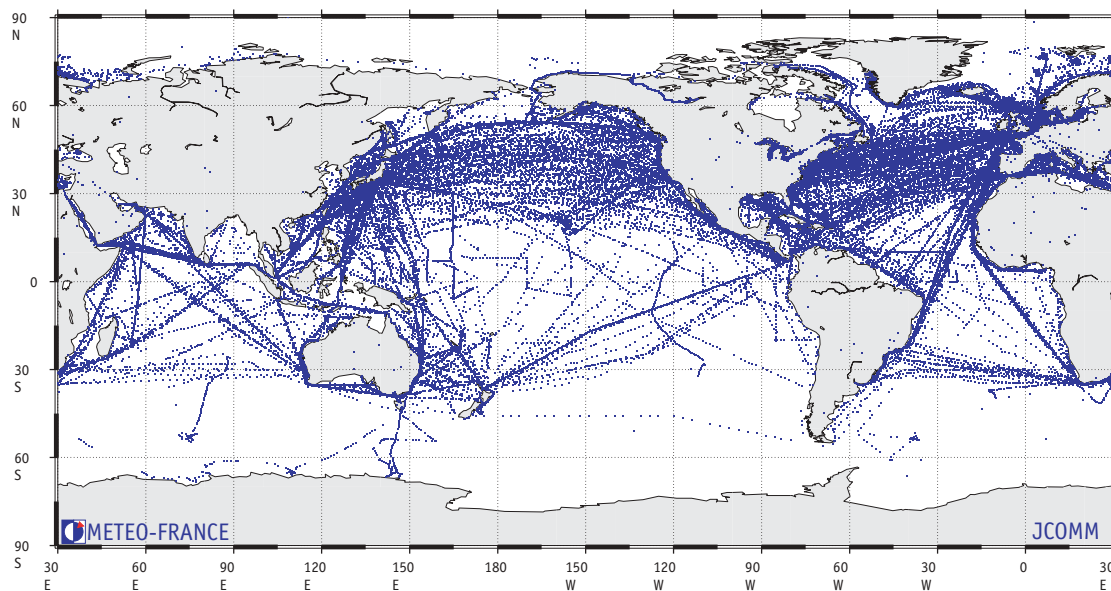
Début décembre 2002, la première mini station automatique Minos, embarquée à bord du porte conteneur Matisse (indicatif FNHG) de la CMA-CGM, avait effectué 6 tours du monde (en 18 mois). Près de 9800 observations horaires de pression atmosphérique, réduite au niveau de la mer, ont été transmises sur le Système Mondial de Transmission au cours de ces voyages, lorsque le navire se trouvait en mer.

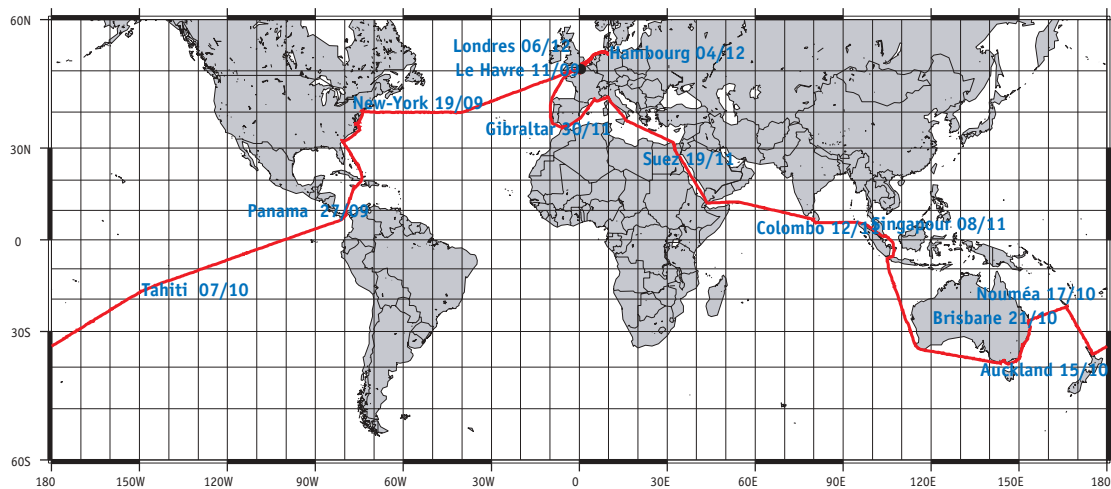
Le 8 décembre, cette station a été remplacée par sa sœur jumelle dont le nouvel abri pour la mesure de température de l'air a été testé et validé durant plusieurs mois à bord du navire océanographique Thalassa de l'Ifremer. Dorénavant, les données de température de l'air mesurée à bord du Matisse complètent, dans le message Ship, celles de pression atmosphérique, de tendance barométrique sur 3 heures, ainsi que de direction et vitesse du navire.

Un prototype de station Minos, capable de mesurer le vent en vitesse et direction, a été réalisé fin 2002 par la société Serpe basée près de Lorient. Il sera testé en 2003 sur le nouveau bâtiment hydro-océanographique du Shom, le Beautemps-Beaupré, lors de son voyage inaugural autour de l'Afrique et dans l'Océan Indien.

Les stations Minos sont très simples à mettre en œuvre. Peu coûteuses en investissement et en fonctionnement par rapport à des systèmes plus complets, elles transmettent leurs données via le système Argos et nécessitent seulement d'être alimentées par le courant du bord.

Répartition géographique des observations Ship effectuées au mois d'octobre 2002





Route habituelle
du Matisse autour
du monde

Distorsion du vent autour des navires océanographiques

Depuis plusieurs années Météo-France arme des navires océanographiques de l'Ifremer (Atalante, Suroît et Thalassa) pour réaliser des campagnes de mesures sur les échanges océan-atmosphère. La mesure des paramètres météorologiques au milieu des océans est une opération délicate qui dépend fortement de l'installation des capteurs sur les navires. L'analyse des campagnes, Fetch en 1998 et Equalant en 1999, a montré que les vents enregistrés au sommet d'un pylône de 11 m de hauteur, situé sur le pont avant, présentaient un déficit de 10 % sur le module de la vitesse et une augmentation de la composante verticale.

Afin de déterminer l'origine de cette perturbation et de calculer les coefficients correcteurs nécessaires à la restitution du vent réel, une étude systématique a été

réalisée en simulation hydraulique dans la grande veine du CNRM sur les maquettes des trois navires à l'échelle 1/60. L'étude a exploré différents azimuts du vent de -30° à $+30^\circ$ par rapport à l'axe du navire et différentes attitudes du navire : tangage de -15° à $+15^\circ$ et roulis jusqu'à 20° . Ces simulations mettent en évidence les contributions de l'enveloppe aérodynamique du navire et de la présence du pylône sur la distorsion globale du vent. La perturbation due au pylône est maximale à son sommet et est indépendante de l'attitude du navire. L'enveloppe aérodynamique contribue pour 50 % à la distorsion globale et dépend fortement de l'attitude du navire.

Cette étude montre que les coefficients correcteurs sont dépendants du type de navire et de la position du capteur sur le navire. Ceci entraîne que toute implantation d'un capteur sur un navire doit être considérée comme un cas unique et doit s'accompagner d'une étude spécifique.



Maquettes des navires
océanographiques Suroît,
Thalassa et Atalante dans
la veine hydraulique
de Météo-France.

Activités de développement

De nombreuses actions de développement ont émaillé cette année montrant ainsi la vitalité des opérations de transfert de connaissance entre recherche et opérationnel.

Les illustrations phare de l'année 2002...

Le programme Saf pour l'Analyse des Terres émergées : état d'avancement du projet sur le prototypage des algorithmes

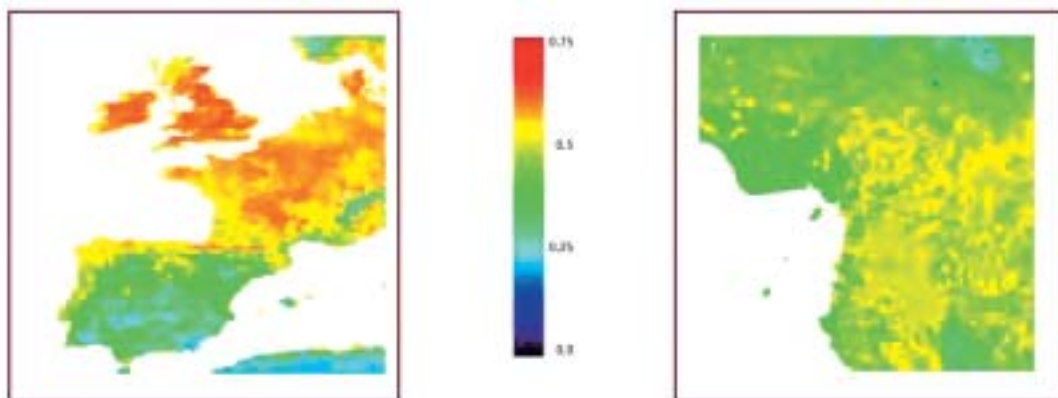
Le programme Saf pour l'Analyse des Terres Emergées à partir des systèmes d'observation Météosat Seconde Génération (MSG) et EPS arrive à mi-projet avec une Revue de Moyen-Terme. Celle-ci se fera en deux étapes dont la première consistera à s'intéresser aux algorithmes prototype des produits classés prioritaires : l'albédo et la température de surface, les produits neige. L'année 2002 a été ainsi consacrée à mettre au point les chaînes de traitement et algorithmes prototype pour la détermination du produit albédo de surface. Leur livraison effectuée cet automne à l'Institut Météorologique du Portugal, qui est responsable de la chaîne de production opérationnelle, a permis de mettre en évidence leur bonne intégration sur la plate-forme représentative.

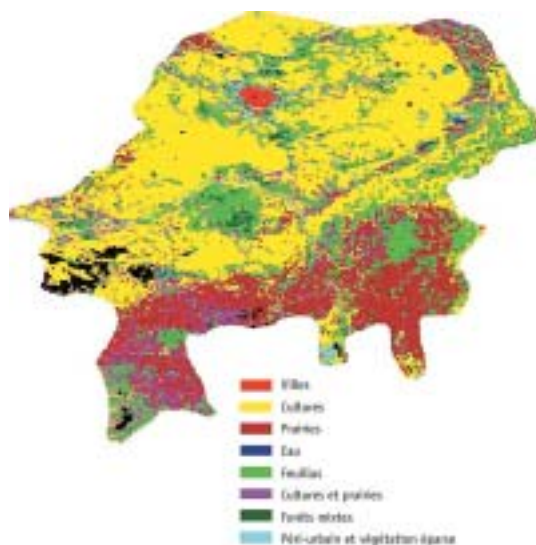
D'autre part, des nouveaux jeux de données synthétiques MSG/Seviri ont été préparés, incluant notamment des zones enneigées, et diffusés avec succès au sein du Consortium. Le principal événement pour cette année a été l'atelier des utilisateurs qui a eu lieu à Lisbonne en Juillet. Cet atelier était tourné vers les utilisateurs de la prévision numérique, mais a aussi permis d'accueillir des utilisateurs issus de domaines variés tels que la météorologie, l'agriculture, la climatologie, la gestion de l'environnement et des risques naturels. Les objectifs de cet atelier ont été remplis, à savoir informer les utilisateurs sur l'avancée du développement des produits opérationnels, assurer une meilleure cohérence entre les besoins utilisateurs et la définition des produits, initier des procédures de retour d'expérience pour la validation, et enfin examiner le rôle de ce SAF autour d'autres programmes européens.

Cartographie de l'occupation des sols et des paramètres de surface pour une utilisation dans les modèles météorologiques

L'année en cours a permis de finaliser la base globale Eoclimap de paramètres de surface à la résolution du kilomètre. Cette base comprend notamment la production statistique de cartes d'occupation des sols, de cartes de climat et d'indices de végétation dérivés de NOAA/AVHRR. Via des tables de correspondance, on déduit de ces cartes les albédos du sol et de la végétation, l'indice foliaire, et la fraction de végétation. Il s'agit de variables d'entrée du schéma Isba dont des couplages existent avec des modèles de climat et de prévision numérique du temps (Arpège, Aladin, Mésô-Nh).

Cartes d'albédo issu du prototype simulées pour le canal proche infra-rouge Seviri pour la date du 15 Juin sur l'Europe et l'Afrique Centrale de l'Ouest.





La base Ecoclimap est une première étape et pourra être réactualisée en tenant compte d'observations satellitaires aux caractéristiques nouvelles en termes de résolutions spatiale, temporelle, spectrale et directionnelle. Dans l'immédiat, des améliorations potentielles se profilent avec le travail de cartographie globale d'occupation des sols réalisée à partir des données Spot4/Végétation dans le cadre du programme Global Land Cover 2000 piloté par le Centre Commun de Recherche d'Ispra. Le CNRM est fortement impliquée dans une nouvelle cartographie sur la zone Europe de l'Ouest. Des méthodes innovantes sont développées qui tiennent compte de l'utilisation combinée des canaux visible, proche-infrarouge et moyen-infrarouge ainsi que de traitements physiques améliorés comprenant la détection nuageuse, la correction des effets atmosphériques et directionnels de surface sur les données grâce à des qualités géométrique et radiométrique du capteur Végétation. En parallèle, un travail a démarré avec les données Végétation pour obtenir sur une base physique l'albédo et l'indice foliaire et préparer ainsi leur utilisation dans le futur modèle de méso-échelle Arome.

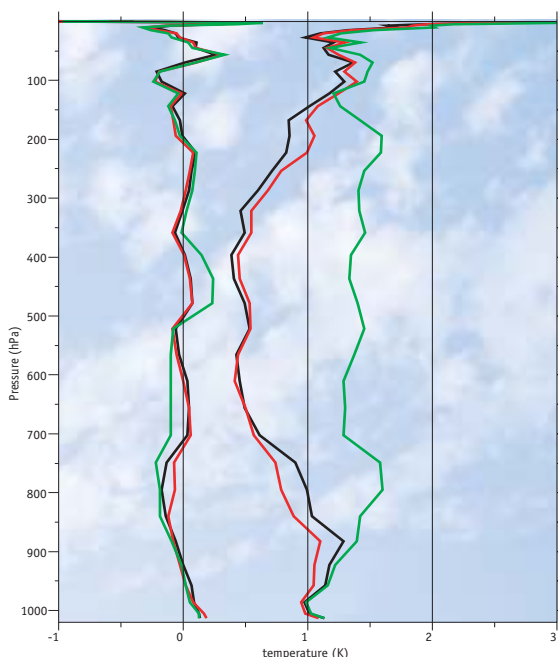
Sondage en conditions nuageuses avec l'interféromètre Iasi

Le Centre de Météorologie Spatiale de Météo-France collabore au développement du sondeur infrarouge Iasi qui volera sur la série des satellites européens Metop dès 2005. Grâce à sa mesure tous les 0,25 cm⁻¹ dans toute la bande spectrale IR, ce capteur devrait fournir des profils atmosphériques de haute qualité, avec une résolution verticale de 1 km.

Cependant la mesure infrarouge est absorbée par les nuages qui couvrent près de 80 % des surfaces terrestres et il est important d'optimiser le traitement du capteur pour ces conditions. Avec un jeu restreint de canaux Iasi dans la bande d'absorption du CO₂ à 15 microns, il est possible de détecter les nuages dans

l'empreinte du sondeur, d'en estimer leur pression de sommet et leur couverture effective. Ces informations servent à sélectionner de façon optimale un sous-ensemble de canaux peu ou faiblement perturbés par le nuage parmi les 8461 disponibles et à estimer au mieux le profil atmosphérique au-dessus du nuage.

Les résultats obtenus à partir d'une orbite complète Iasi simulée en conditions nuageuses, montrent que l'on retrouve les nuages avec une précision de l'ordre



Carte d'occupation des sols sur la région "Centre" dérivée des canaux visible, proche infrarouge et moyen infrarouge du capteur Spot4/Végétation.

Biais et écart-type d'erreur sur la température pour un jeu de 1800 situations couvertes de nuages bas (P>800hPa) en toutes régions. Le profil vert correspond à l'erreur du background. Les deux autres courbes montrent le profil d'erreur d'analyse avec un jeu de canaux visant au-dessus du nuage (en noir) et lorsque l'information nuageuse est introduite dans l'inversion variationnelle pour un jeu de canaux faiblement contaminé par le nuage (en rouge).

de 100 hPa lorsque ceux-ci ne sont pas trop complexes. L'analyse des situations comportant des nuages bas (plus de 1800), indique que le profil de température est retrouvé avec une précision proche de 0.5K dans la moyenne troposphère, ce qui est similaire aux résultats en conditions claires, et que l'introduction du nuage dans les variables de contrôle de l'inversion améliore encore les résultats juste au-dessus de la couche nuageuse.

Ces résultats sont en cours de validation avec les observations réelles du sondeur haute résolution spectrale Iasi lancé par la Nasa en mai 2002.

Climathèque : un service pour les laboratoires de recherche et les universités

Comme suite à une recommandation de son Comité Scientifique Consultatif, Météo-France a, le 13 octobre 2002, ouvert à ses usagers enseignants ou chercheurs son nouveau service sur internet d'accès aux données climatologiques. Ce nouveau service, appelé Climathèque, permet par ailleurs de répondre à la fois aux besoins

Vue des instruments installés sur le toit d'un aérogare de Roissy-Charles de Gaulle. On reconnaît les mesures de température et d'humidité sous abri ventilé à gauche et les mesures des flux radiatifs à droite.



internes des services régionaux et des services techniques centraux de Météo-France ainsi qu'aux besoins d'utilisateurs extérieurs commerciaux, en particulier les abonnés actuels de la banque "pluviométrie".

Son ouverture aux chercheurs et enseignants concerne avant tout la mise à disposition de données de paramètres météorologiques (précipitations, températures, vent, pression, humidité, insolation, etc.) issues des observations du réseau national, qualifiées par les services de l'établissement. Il serait trop long de dresser ici tout l'éventail des domaines d'applications auxquels l'utilisation de ces données peut donner lieu. L'agrométéorologie, l'hydrométéorologie, la climatologie à l'échelle régionale n'en sont que des exemples parmi les plus directement

concernés. Ce service devrait considérablement faciliter l'accessibilité de la communauté des enseignants et chercheurs à ces données de base. Un catalogue des données disponibles et la procédure d'accès, peuvent être directement obtenus en contactant le site internet à l'adresse suivante : <http://climatheque.meteo.fr/okapi>.

Développement d'une méthode unidimensionnelle de prévision du brouillard

Malgré des modèles numériques de plus en plus sophistiqués, le brouillard reste un phénomène météorologique très délicat à prévoir, même pour des échéances de 3 à 6 heures. Cependant, les différents processus conduisant au brouillard sont maintenant bien connus, mais c'est l'alchimie entre ces processus d'échelle spatiale très fine qui rend la prévision délicate.

Ces constations ont amenées le CNRM à se doter d'un plan de recherche sur la prévision du brouillard. L'idée est d'utiliser un modèle unidimensionnel, le modèle "Cobel", qui permettra de gérer très précisément les interactions, sur la verticale, entre les différents processus intervenant dans la création et l'évolution d'une couche de brouillard. Afin de représenter les échanges entre l'atmosphère et la surface, le modèle "Cobel" a été couplé au schéma d'interaction sol/atmosphère/biosphère "Isba".

L'aéroport de Roissy Charles de Gaulle a été choisi comme site pilote pour tester l'apport de cette méthode de prévision du brouillard. Étant donnée la sensibilité extrême de la prévision du brouillard aux conditions initiales, on ne peut espérer améliorer la prévision sans observer très précisément les premiers mètres de l'atmosphère. Une instrumentation spécifique (mât instrumenté de 30 m, mesures au sommet d'un



aérogare et mesures dans le sol) a donc été installé sur cet aéroport. Les premiers tests de prévision seront effectués au cours de l'hiver 2002-2003.

Le radar de la Réunion : première utilisation des données

Le 22 janvier 2002, le cyclone Dina emportait le radôme et l'antenne du radar Doppler de la Réunion, situé sur le site du Colorado. Avec la remise en service du radar en décembre 2002, nous pourrions avoir dans l'avenir une application opérationnelle, de l'étude réalisée avec les données collectées en 2001 et 2002.

Cette étude montre principalement que la manipulation des données brutes radar permet l'expérimentation et l'amélioration d'algorithmes de produits radar, outils de développement et de recherche, indispensables à la prévision.

Sur un jeu de données collecté pendant la saison fraîche, l'élaboration d'un algorithme de calcul de lames d'eau a permis de valider la cohérence des mesures réflectivité radar en relation avec les précipitations observées au sol pour certains sites de l'île.

Parallèlement, l'étude du cas du 2 janvier 2002 a montré que la validation des mesures radar peut s'étendre sur la région océanique et de manière volumique dans un rayon de 400 km au voisinage du radar à l'aide des mesures issues du satellite TRMM à partir d'un certain seuil de réflectivité (17 dBz).

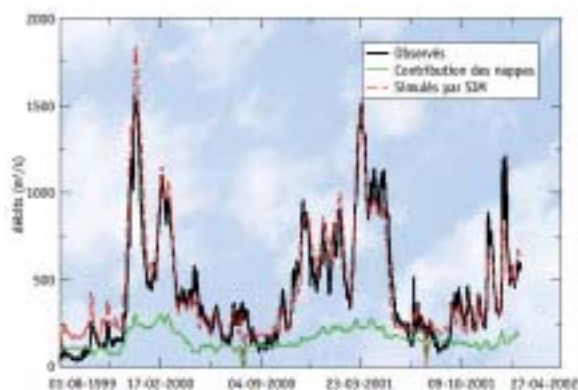
Enfin dans le cas du cyclone DINA, l'exploitation des données volumiques réflectivité et Doppler de portée 130 km par la méthode GB-EVTD (Laboratoire

d'Aérodologie) fournit des informations sur l'évolution de la structure des champs de vent durant le passage du cyclone tropical. Cela a permis d'estimer un vent de surface de 60-70 ms⁻¹ sur le site du Colorado, à l'origine de la destruction du radar, et un rôle éventuel du relief sur l'évolution de la trajectoire et de la structure du cyclone.

Application de Safran-Isba-Modcou à l'ensemble de la France

Le système Safran-Isba-Modcou, permettant de simuler les bilans d'eau et d'énergie, le débit des rivières et l'évolution des nappes phréatiques, a été étendu sur l'ensemble de la France. Huit années de forçage (1995-2002) ont été reconstituées par Safran au pas de temps horaire, et à la résolution de 8 km. Les évolutions de l'humidité des sols, de la température, du manteau neigeux, du gel dans le sol sont simulées par le schéma de surface Isba. Les températures de surface simulées, comparées aux observations ponctuelles ou satellites montrent qu'il y a une bonne cohérence avec les variabilités spatiales observées, malgré une tendance à la sous-estimation.

La modélisation hydrologique concerne actuellement les bassins de la Garonne, du Rhône et de la Seine, avec pour chaque bassin, la prise en compte des principaux aquifères. Les débits peuvent être simulés et validés sur plus de 400 postes (figure). La mise en mode opérationnel de Safran va permettre de mettre en place un suivi en temps quasi-réel du bilan hydrique sur la France. Les contenus en eau simulés, cohérents avec les précipitations et les débits, peuvent être utilisés pour initialiser des modèles atmosphériques de méso-échelle. Des tests sont actuellement réalisés avec Mésos-Nh, sur une dizaine de situations. Ils montrent la forte sensibilité de la température à 2 m au contenu en eau (variation de +/- 5C), et que les contenus en eau simulés par Sim donnent des résultats meilleurs ou comparables à ceux obtenus avec les contenus en eau issu de l'interpolation optimale pour Aladin.



Anis : analogie statistique pour la prévision locale du risque d'avalanche intégrant des données simulées.

Actuellement, Météo-France diffuse auprès de certains services des pistes le logiciel, Astral, d'aide à la prévision locale du risque d'avalanche. Ce modèle utilise essentiellement les paramètres observés par le poste nivo-météorologique de la station et utilise une méthode de recherche des plus proches voisins ou analogues. L'information interne au manteau neigeux n'est pas prise en compte car les observations (sondage) n'ont lieu qu'au rythme hebdomadaire.

Grâce à l'apport de la chaîne Safran-Crocus-Meptra, une nouvelle approche, appelée Anis, a été développée pour la station de La Plagne dans une première démarche exploratoire. Différents paramètres issus de la chaîne ont été choisis pour permettre une description des manteaux neigeux simulés représentatifs du domaine skiable de cette station. Après examen et sélection des paramètres les plus pertinents pour la prévision du risque local, on a réussi à accroître les différents critères de succès avec une évaluation basée sur l'utilisation du risque estimé par le prévisionniste local sur l'échelle européenne de risque à 5 niveaux. On passe ainsi de 52 % avec Astral à plus de 60 % avec Anis pour l'indice simple de succès,

		Risque prévu avec 15 analogues						
		Somme marginale	1	2	3	4	5	
Risque LA PLAGNE	1	15,6	7,4	7,7	0,5	0,0	0,0	Somme Diagonale
	2	36,3	4,8	25,3	6,2	0,0	0,0	
	3	38,0	0,7	11,0	24,3	2,0	0,0	
	4	8,2	0,0	0,0	5,0	3,1	0,1	
	5	1,7	0,0	0,1	0,3	1,0	0,4	
		Somme marginale	12,9	44,1	36,3	6,1	0,5	
								16,0
								60,5
								21,8
		Indice Composite de Succès d'Hans et Kuiper						0,547
		Indice de Rousseau						0,415
		Table de contingence avec les indices de risque de la table européenne						
		Essai avec 10 CP issues des variables simulées sélectionnées UNIQUEMENT						

et pour un critère plus exigeant (Rousseau), nous passons de 0,15 à 0,41. Après ces premiers résultats encourageants, une version expérimentale sera installée pendant l'hiver 2002-2003 pour un test quotidien par le prévisionniste local de La Plagne.

Risque d'avalanches à la station de La Plagne avec la méthode Anis.

CrocusMeptraPC : un outil d'aide à la prévision locale du risque d'avalanche

Les chercheurs de Météo-France ont développé un outil d'aide à la prévision du risque d'avalanche à l'échelle du massif appelé SafranCrocusMeptra. Cette chaîne de modélisation simule l'évolution au quotidien du manteau neigeux et du risque d'avalanches sur des pentes typiques d'une altitude, d'une exposition et d'une pente pour un massif montagneux. Cet outil ne permet pas de réaliser des simulations locales à partir de sondages/profils du manteau neigeux et de

Comparaison des débits journaliers de la Seine à Paris observés et modélisés par le schéma Isba.



Sondage simulé
par le logiciel
CrocusMepraPC

conditions météorologiques réelles d'un site montagneux donné.

Un nouvel outil utilisant uniquement le modèle de neige Crocus et le système expert Mepra d'analyse des risques d'avalanche a été développé dans un langage orienté objet (Visual C++) sur PC. Ce logiciel appelé CrocusMepraPC permet :

- d'activer facilement les modèles Crocus et Mepra en mode local à partir d'un sondage/profil du manteau neigeux réalisé sur le terrain et de conditions météorologiques réelles ou prévues. Les sorties de modèles à savoir le profil simulé du manteau neigeux, les risques Mepra d'avalanches, l'écoulement à la base du manteau neigeux... sont visualisables sous la forme de graphiques heure par heure (figure) ;
- de jouer facilement des scénarios en analyse comme en prévision et comparer les résultats grâce à une IHM performante ;
- de disposer d'un outil portable et d'un outil d'enseignement assisté par ordinateur.

Ce logiciel a été aussi utilisé pour valider l'analyse Mepra de la stabilité naturelle ou accidentelle d'un manteau neigeux en comparant les résultats de tests de stabilité réalisés dans une pente (rutschblock, tests de la pelle.) au (x) niveau (x) d'instabilité fourni(s) par le système expert. La version CrocusMepraPC a été testée l'hiver 2002-2003 opérationnellement par le service de prévision locale du risque d'avalanche de la station de ski de La Plagne.

Un nouveau poste de travail pour les nivologues départementaux.

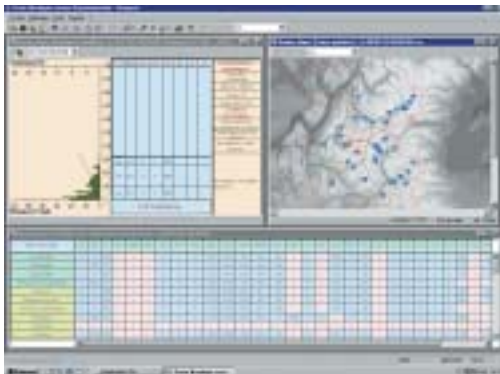
Dans le cadre du projet informatique en CDM, une nouvelle application nivologique a été déployée en novembre 2002 dans les onze centres et stations montagne, marquant ainsi l'aboutissement de plusieurs années de développement.

Totalement intégrée à la nouvelle architecture informatique du CDM, cette application offre aux nivologues départementaux, ainsi qu'à ceux des deux points focaux

Nivologue du CDM38
au travail devant
son Poste Nivologie.



Affichage d'un sondage par
battage détaillé, d'une carte
pointée et d'un tableau
d'observations par massif.



avalanche, une interface moderne et conviviale, cohérente avec celle des outils de prévision : fonctions de saisie et contrôle de l'ensemble des données nivométéorologiques, accès simultané aux visualisations sous formes de cartes et graphiques. Un modèle de recherche de situations analogues, disponible sur environ vingt-cinq postes du réseau nivométéorologique, apporte également une aide à l'expertise.

Développements en océanographie opérationnelle

Un des domaines émergents pour Météo-France est le développement de l'océanographie opérationnelle. Elle s'est organisée autour des trois composantes, les données satellites principalement l'altimétrie, les données in situ et la modélisation. Dans le cadre de cette phase pré opérationnelle, l'année 2002 a été particulièrement riche et les équipes de recherche de Météo-France ont apporté une contribution dans chacune des trois activités.

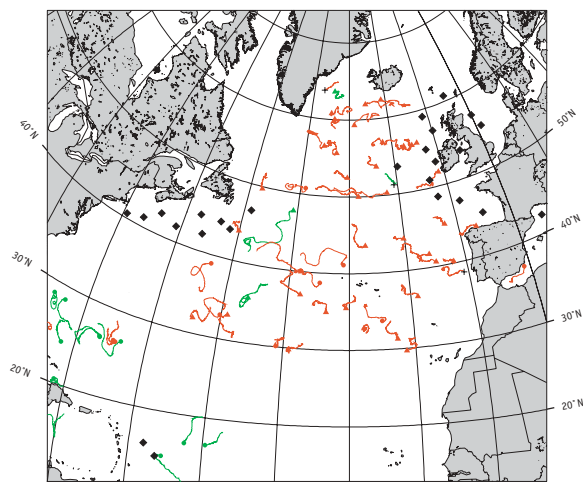
Le satellite Jason 1 ayant été lancé avec succès le 7 décembre 2001, l'année 2002 a été consacrée à la validation des données et leur comparaison avec les observations de Topex-Poséidon. En parallèle, la continuité des observations étant essentielle pour un système opérationnel, l'organisation politique a avancée avec la signature d'un accord quadripartite pour la future mission OSTM/Jason 2 qui impliquera aux côtés du Cnes et de la Nasa, la NOAA et Eumetsat.

La mise en place d'un programme inter-organismes pour la collecte et la mise à disposition des données in situ, appelé Coriolis, a également progressé. La contribution des chercheurs de Météo-France s'est concentrée sur la vérification des données des bouées avant collecte et introduction sur le Système Mondial de Transmission.

Enfin, l'année 2002 a vu la constitution du GIP Mercator-Océan. D'un point de vue technique, un nouveau prototype, Psy2 modélisant l'océan atlantique avec une meilleure résolution, a été mis en service à la fin de l'année, les personnes de Météo-France, faisant partie intégrante du projet, y ont contribué. Les équipes de recherche ont quant à elle, utilisé les résultats issus de Mercator, premièrement dans le cadre de l'expérience inter-organisme Pomme, deuxièmement pour modéliser des dérives de nappes de pétrole en Méditerranée, en utilisant le code Mothy.

Les bouées dérivantes opérationnelles

Météo-France contribue activement chaque année aux réseaux de bouées dérivantes de surface en Atlantique Nord (Egos) et dans l'Océan Indien (IBPIO) : fourniture de bouées, coordination technique et contrôle de qualité des données, notamment. Ces activités s'insèrent dans



le cadre du Data Buoy Cooperation Panel qui constitue l'un des programmes d'observation de la CMOM.

En 2002, Météo-France a fourni 13 flotteurs SVP-B et dérivés pour le réseau Atlantique Nord et 4 pour l'Océan Indien. Comme chaque année, dix baromètres ont été financés pour équiper des flotteurs SVP américains déployés dans l'Océan Indien tropical comme support à la surveillance cyclonique dans cette région. Ceux-ci seront déployés durant le mois de janvier 2003 par un avion de l'US Navy. Quatre autres bouées, dont les baromètres ont été financés par Météo-France, ont été mises à l'eau dans le sud de l'Océan Indien. A la fin de l'année 2002, on comptait 29 bouées dérivantes opérationnelles, financées en totalité ou en partie par Météo-France, dans ces deux réseaux.

Les bouées ancrées

Météo-France met en oeuvre ou collecte de nombreuses bouées ancrées.

Brittany – Gascogne : Ces deux bouées, gérées en collaboration avec le Met-Office fonctionnent parfaitement. Elles n'ont pas été visitées depuis juin 2001. Pharos (Rail d'Ouessant) - Le fonctionnement a été interrompu de fin mars à fin juin 2002 à cause de problèmes d'alimentation électrique sur la bouée phare. Depuis, le système d'acquisition mis au point par Météo-France fait preuve d'une bonne fiabilité bien qu'il ne soit pas doublé.

Côte d'Azur/Golfe du Lion : Tout au long de l'année 2002, le nombre de messages émis sur le Système Mondial de Transmission à partir de ces deux bouées est satisfaisant. Le dédoublement des systèmes de mesure et d'émission démontre ici toute son utilité. Ces deux bouées connaissent en effet des problèmes de fonctionnement d'un de leur deux systèmes d'acquisition/émission.

Bouée Guadeloupe : Elle a été changée en juillet 2001. Depuis, son fonctionnement est satisfaisant.

Bouée Martinique : En panne depuis avril 2000, elle a été changée le 23 octobre 2002 après une tentative infructueuse en juillet 2002.

Collaboration avec le CETMEF pour l'émission sur le SMT des observations de houlographes.

Le CETMEF a développé en collaboration avec la DIRO un système de concentration des données des seize houlographes dont il assure la gestion (données disponibles sur <http://www.equipement.gouv.fr/cetmef/candhis>).

Parallèlement, Météo-France a développé une application qui récupère les fichiers de la base Candhis et transmet les observations sur le Système Mondial de Transmission depuis juillet 2002. Une amélioration du système pour raccourcir les délais de mise à disposition des messages, ainsi que des développements concernant les spectres directionnels de la houle sont encore nécessaires. Enfin, une convention CETMEF / Météo-France de "Mise à disposition réciproque de données in situ d'état de mer" est en phase finale d'élaboration.

Perle, un nouveau système de modélisation de la dispersion atmosphérique de polluant à courte distance en cas d'accident

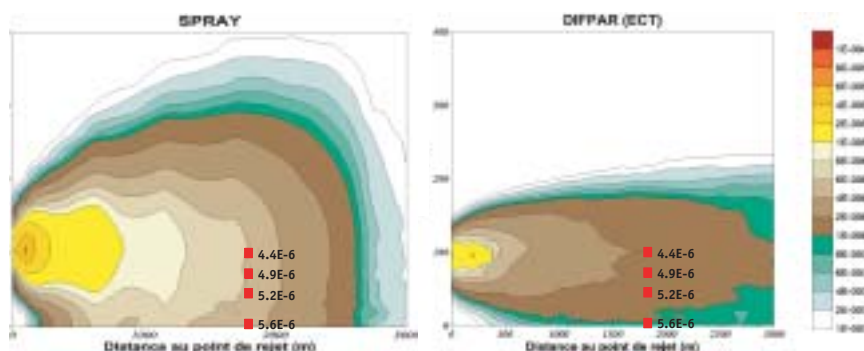
Les travaux réalisés au cours de l'année 2002 dans le cadre de l'action Perle, de définition et validation d'un système couplé météorologie/dispersion de polluant à courte distance utilisable en temps réel pour des rejets accidentels, ont essentiellement porté sur l'évaluation des deux modèles lagrangiens particuliers Spray (Arianet) et Difpar (EDF), couplé à Mésos-Nh.

Les données de validation sont les mesures de Coefficient de Transfert Atmosphérique (CTA) de Krypton 85 en champ proche autour de l'usine de retraitement de La Hague, obtenues par collaboration avec l'IRSN/Lerfa sur différentes campagnes de mesure. Les deux modèles particuliers Spray et Difpar, qui utilisent l'ensemble de l'information de la turbulence issue de Mésos-Nh, fournissent des résultats assez similaires et en accord avec les mesures (figure).

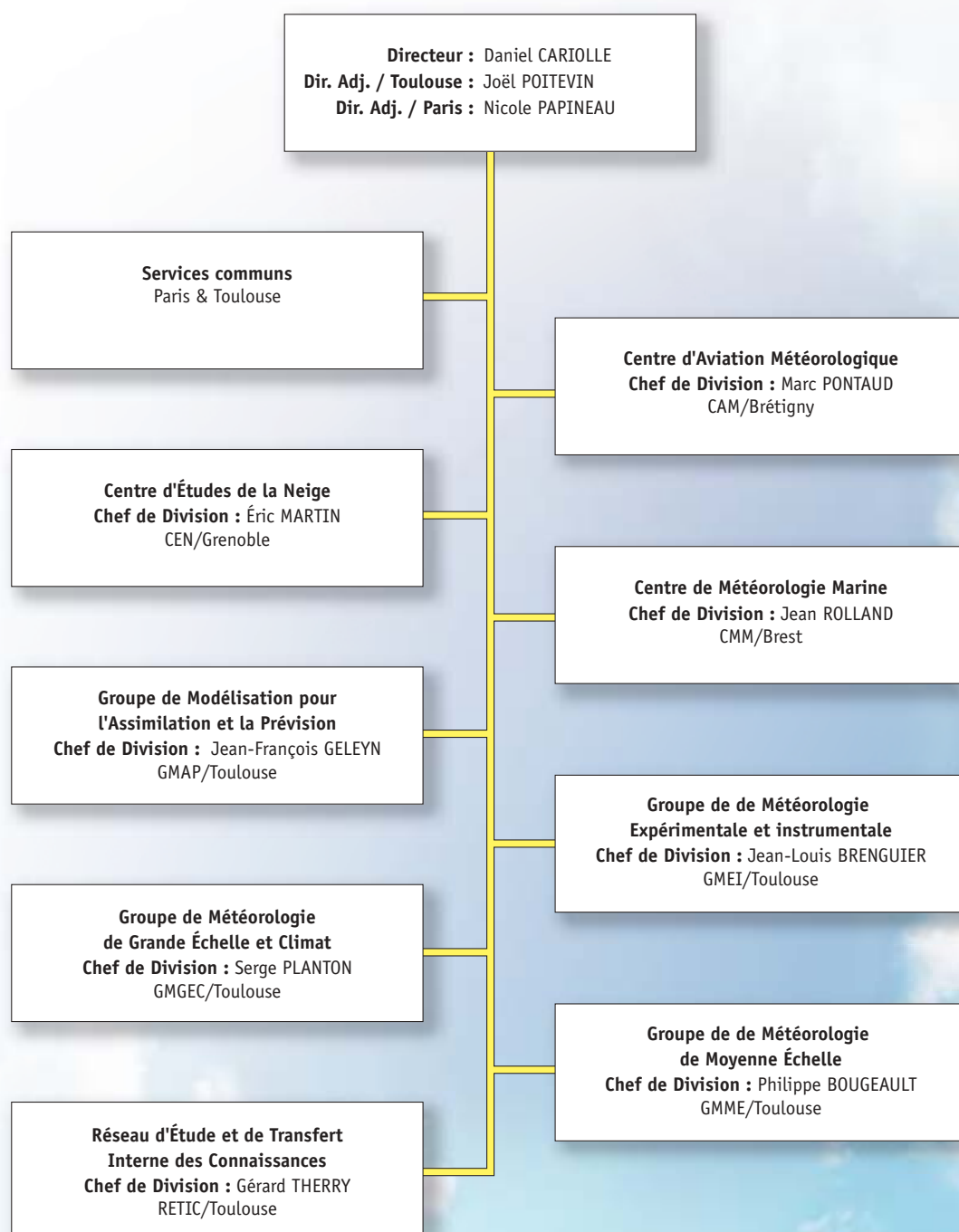
Bouées opérationnelles dans l'Atlantique Nord en novembre 2002 :

- points noirs : bouées ancrées océaniques,
- trajectoires rouges : bouées dérivantes mesurant la pression atmosphérique,
- trajectoires vertes : bouées dérivantes mesurant le vent

Coupes verticales du Coefficient de Transfert Atmosphérique (CTA) de Kr85 dans l'axe du rejet modélisées par Spray et Difpar pour un rejet de polluant passif à 100 m de hauteur, avec superposition des mesures à 1800 m du point de rejet, sur le cas du 15 juin 2000.



Organigramme du CNRM





Recherche et développement

Rapport d'activité

2002

Publications de 2002

Publications dans des revues à comité de lecture

- * André, J.C., J.Y. Caneill, M. Déqué, P. Rogel, L. Terray and Y. Tourre, 2002 : La prévision du climat: de l'échelle saisonnière à l'échelle décennale. C.R. Géoscience, 334, 1115-1127.
- * Andreu Burillo, I., G. Caniaux, M. Gavart, P. De Mey, et R. Baraille, 2002 : Assessing ocean-model sensitivity to wind forcing uncertainties. Geophys. Research Letter, vol 29, n° 18, 5-1, 5-4.
- * Anquetin, S., V. Ducrocq, G.M. Saulnier, et D. Ricard, 2002 : Simulation à haute résolution des épisodes convectifs et impacts. La Houille Blanche, 8, pp 40-45.
- * Arasti, E., P. David, J. Salvador Martin Gonzalez et C. Deyts, 2002 : La galerne du Golf de Gascogne. La Météorologie 8^e série, n° 38, pp 35-45.
- * Arbogast, P., 2002 : L'inversion du tourbillon potentiel, un outil pour comprendre le creusement des dépressions. La Météorologie 8^e série, n° 38, pp 19-29.
- * Bayle, F., J.P. Wigneron, Y. H. Kerr, P. Waldteufel, E. Anterrieu, J.C. Orhac, A. Chanzy, O. Marloie, M. Bernardini, S. Sobjaerg, J.C. Calvet, J.M. Goutoule, and N. Skou, 2002 : Two-dimensional synthetic aperture images over a land surface scene. IEEE Transactions. Geoscience and Remote Sens., vol 40, n3, pp 710-714.
- * Bergot, T. and A. Doerenbecher, 2002 : A study on the optimization of the deployment of targeted observations using adjoint-based methods. Quarterly Journal of Royal Meteorological Society, 128, pp 1689-1712.
- * Bessafi, M., A. Lasserre-Bigorry, C. J. Neumann, F. Pignolet-Tardan, D. Payet, and M. Lee-Ching-Ken, 2002 : Statistical Prediction of Tropical Cyclone Motion: An Analog-Clipe Approach. Weather and Forecasting, vol. 17, n°. 4, pp 821-831.
- * Bessemoulin, P., et O. Boucher, 2002 : Les besoins en observations pour la climatologie. La Météorologie, 8^e série, n° 39 (Spécial Observation, vol 1), pp 36-42.
- * Bonnier, M., and O. Eiff, 2002 : Experimental investigation of the collapse of a turbulent wake in a stably stratified fluid - Physic Fluids, 14, 2, pp 791-801.
- * Bouttier, F., 2002 : The use of profiler data at ECMWF. Meteorologische Zeitschrift, vol. 10, pp. 497-510.
- * Bouttier, F. and G. Kelly, 2002 : Observing system experiments with the ECMWF data assimilation system. Quarterly Journal of Royal Meteorological Society, vol. 127, pp 1488-1489.
- * Bouttier, F., et F. Roux, 2002 : Les besoins en observations pour la recherche atmosphérique. La Météorologie 8^e série, n° 39, pp 43-50.
- * Brisson, A., P. Le Borgne, and A. Marsouin, 2002 : Results of one year of preoperational production of sea surface temperatures from Goes-8. Journal of Atmospheric and Oceanic Technologies, pp 1638-1652.
- * Burnet, F., and J.L. Brenguier, 2002 : Comparison between standard and modified forward scattering spectrometer probes during the small cumulus microphysics study. Journal of Atmospheric and Oceanic Technologies, vol. 19, pp 1516-1939.
- * Caquineau, S., A. Gaudichet, L. Gomes, and M. Legrand, 2002 : Mineralogy of saharan dust transported over northwestern tropical Atlantic ocean in relation with source regions, Journal of Geophysical Research, 107.
- * Carlotti, P., 2002 : Two points properties of atmospheric turbulence very close to the ground: Comparison of a high resolution LES with theoretical models. Boundary Layer Meteorology, 104, pp381-410.
- * Chaboureaud, J.P., J.P. Cammas, P. Mascart, J.P. Pinty, et J.P. Lafore, 2002 : Mesoscale model cloud scheme assessment using satellite observations. Journal of Geophysical Research, 107 (D16), pp 4301.
- * Chapelon, N., H. Douville, P. Kosuth, et T. Oki, 2002 : Off-line simulation of the Amazon water balance: a sensitivity study with implications for GSWP. Climate Dynamic, 19, pp 141-154.
- * Chen, J.M., J. Liu, S.G. Leblanc, R. Lacaze, et J.L. Roujean, 2002 : Multi-angular optical remote sensing for assessing vegetation structure and carbon absorption. Remote Sensing Environment, 5797, pp 1-10.
- * Corboz, Y., et J. Chevalier, 2002 : Initiation à la météorologie pour des enseignants en Ile de France. La Météorologie 8^e série, n° 38, pp 62-67.
- * Costes, D., 2002 : Une trombe à Lafrançaise. La Météorologie 8^e série, n° 38, pp 26-34.
- * Dabas, A., et C. Flamant, 2002 : Les instruments de télédétection au sol. La Météorologie 8^e série, n° 39, pp 76-81.
- * Dessens, O., and P. Simon, 2002 : The importance of dynamics/chemistry coupling in the evaluation of aircraft emission impact studies. Meteorologische Zeitschrift, vol. 11, n° 3, pp 161-175.
- * Diongue, A., J.P. Lafore, J.L. Redelsperger and R. Roca, 2002 : Numerical study of a sahelian synoptic weather system: Interactions between cloud and synoptic scales. Quarterly Journal of Royal Meteorological Society, 128, pp 1899-1927.
- * Doerenbecher, A. and T. Bergot, 2002 : Sensitivity to observations applied to Fastex cases. Non-linear Processes in Geophysics, 8, 467-481 c., 128, pp 1689-1712.
- * Douville H., F. Chauvin, S. Planton, J.-F. Royer, D. Salas-Méla, et S. Tyteca, 2002 : Sensitivity of the hydrological cycle to increasing amounts of greenhouse gases and aerosols. Climate Dynamic, 20, pp 45-68.
- * Douville, H., 2002 : Influence of soil moisture on the asian and african monsoons. Part II: Interannual variability. Journal of Climate, 15, pp 701 – 720.
- * Dreveton, C., 2002 : L'évolution du nombre de tempêtes en France sur la période 1950-1999. La Météorologie 8^e série, n° 37, pp 46-56.
- * Ducrocq, V., D. Ricard, J.P. Lafore, and F. Orain, 2002 : Storm-Scale Numerical Rainfall Prediction For Five Precipitating events over France: On the importance of the initial humidity field. Weather and Forecasting, 17, pp 1236-1256.
- * Du Penhoat, Y., G. Reverdin, et G. Caniaux, 2002 : A lagrangian estimation of turbulent heat fluxes in the upper ocean during Coare experiment. Journal of Geophysical Research Oceans., 107, C5, 7-1, pp 7-15.
- * Durand, P., 2002 : Mesure aéroportée des flux turbulents. Nature, Sciences et Sociétés, 10, pp 60-62.
- * Etchevers, P., C. Golaz, F. Habets, and J. Noilhan, 2002 : Impact of a climate change on the Rhone river catchment hydrology. Journal of Geophysical Research, vol 107, n° D16, ACL 6-1 à 6-18.
- * Fourrié, N., A. Doerenbecher, T. Bergot, and A. Joly, 2002 : Adjoint sensitivity of the forecast to Tovs observations. Quarterly Journal of Royal Meteorological Society, vol. 128, pp 2759-2778.
- * François, C., A. Brisson, P. Le Borgne, and A. Marsouin, 2002 : Definition of a radio-sounding database for sea surface brightness temperatures: application to sea surface temperature retrieval algorithm determination. Remote Sensing Environment, vol 81, pp 309-326.
- * Gaumet, J.L., 2002 : L'observation in situ en altitude. La Météorologie 8^e série, n° 39, pp 57-64.
- * Garric, G., H. Douville, et M. Déqué, 2002 : Prospects for improved seasonal predictions of monsoon precipitation over Sahel. International Journal of Climatology, 22 (3), pp 331-345.
- * Gheusi, F., and J. Stein, 2002 : Lagrangian dynamics of an air-flow using Eulerian passive tracers. Quarterly Journal of Royal Meteorological Society, 128, pp 337-360.
- * Gregory, D., and F. Guichard, 2002 : Aspects of the parameterization of organized convection: contrasting cloud resolving model and single column realizations. Quarterly Journal of Royal Meteorological Society, 128, pp 625-646.
- * Hello, G., and F. Bouttier, 2002 : Using adjoint sensitivity as a local structure function in variational data assimilation. Nonlinear Processes in Geophysics, vol 8, pp 347-355.

- * Joly, A., F. Ayraut, and S. Malardel, 2002 : Extra-tropical cyclones. In *Encyclopedia of Atmospheric Sciences*. Holton, Pyle and Curry Eds., vol 2, pp 594-616, Academic Press, London.
- * Kergoat, L., S. Lafont, H. Douville, B. Berthelot, G. Dedieu, S. Planton, and J.-F. Royer, 2002 : Impact of doubled CO₂ on global-scale leaf area index and evapotranspiration: Conflicting stomatal conductance and LAI responses. *Journal of Geophysical Research*, 107 (D24), pp 4808.
- * Klaus, V., G. Chérel, P. Goupil, and N. Pénétier, 2002 : RASS developments on the VHF Radar at Cnrm/Toulouse. Height coverage optimisation. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technologies*, pp 967-979.
- * Klein-Tank, A.M.G., J.B. Wijngaard, G.P. Können, R. Böhm, G. Demaree, A. Gocheva, M. Miletta, S. Pashiardis, L. Hejkrlik, C. Kern-Hansen, P. Bessemoulin, G. Müller-Westmeier, M. Tzanakou, S. Szalai, T. Palsdottir, D. Fitzgerald, S. Rubin, M. Capaldo, M. Maugeri, A. Leitass, A. Bukantis, A. Romain, A.F.V. Van Engelen, E. Forland, M. Mielus, F. Coelho, C. Mares, V. Razuvaev, E. Nieplova, T. Cegnar, J. Antonio Lopez, B. Dahlström, A. Moberg, W. Kirchhofer, A. Ceylan, O. Pachaliuk, L.V. Alexander, P. Petrovic, 2002 : Daily dataset of 20th century surface air temperature and precipitation series for the European Climate Assessment (Eca). *International Journal of Climatology*, vol 22, n° 12, pp 1441-1453.
- * Lac, C., J.P. Lafore and J.L. Redelsperger, 2002 : Role of gravity waves in triggering deep convection during Toga-Coare. *Journal of Atmospheric Science*, vol 59, n° 8, pp 1293-1316.
- * Lacaze, R., J. M. Chen, J.L. Roujean, S. G. Leblanc, 2002 : Retrieval of vegetation clumping index using hot spot signatures measured by Polder instrument. *Remote Sensing Environment*, vol 79, pp 84-95.
- * Ledoux, E., P. Etchevers, C. Golaz, F. Habets, J. Noilhan and S. Viorin, 2002 : Regional simulation of the water budget and river flows with the Isba-Modcou coupled model: application to the Adour and Rhône basins. In "Mathematical models of large watershed hydrology", Ed. V.P. Singh and D.K. Frevert, Water Resources Publications, LLC, Chapter 8, pp 283-318.
- * Lemonsu, A., and V. Masson, 2002 : Simulation of a summer urban breeze over Paris. *Boundary Layer Meteorology*, 104, pp 463-490.
- * Leroy, M., 2002 : La mesure au sol de la température et des précipitations. *La Météorologie* 8^e série, n° 39, pp 52-56.
- * Leroy, M., et F. Zanghi, 2002 : L'offre actuelle en capteurs de temps présent. *La Météorologie* 8^e série, n° 39, pp 65-70.
- * Liu, Z., and F. Rabier, 2002 : The interactions between model, resolution and observation density in data assimilation: a one-dimensional study. *Quarterly Journal of Royal Meteorological Society*, vol 128, pp 1367-1386.
- * Lopez, P., 2002 : Implementation and validation of a new prognostic large-scale cloud and precipitation scheme for climate and data assimilation purposes. *Quarterly Journal of Royal Meteorological Society*, vol 128, pp 229-258.
- * Maes, C., J. Picaut, and S. Belamari, 2002 : Salinity barrier layer and onset of El Niño in a Pacific coupled model. *Geophysical Research Letter*, vol 29, n° 24.
- * Maynard, K., J.-F. Royer, et F. Chauvin, 2002 : Impact of greenhouse warming on the west african summer monsoon. *Climate Dynamics*, 19, pp 499-514.
- * Manach, J., 2002 : Les besoins en observations des prévisionnistes. *La Météorologie* 8^e série, n° 38, pp 22-27.
- * Masson, V., C.S.B. Grimmond, and T.R. Oke, 2002 : Evaluation of the town energy balance (Teb) scheme with direct measurements from dry districts in two cities. *American Meteorological Society*, pp 1011-1026.
- * Mauprize, M., et J.-P. Sandra, 2002 : Les profileurs de vent à vocation opérationnelle. *La Météorologie* 8^e série, n° 39, pp 71-75.
- * Michaux, J.L., F. Naaim-Bouvet, M. Naaim, M. Lehning and G. Guyomarc'h, 2002 : Effect of unsteady wind on drifting snow: first investigations. *Natural Hazards and Earth Systems Science*, 2, pp 129-136.
- * Moisselin, M., 2002 : Les précipitations sur le xx^e siècle en France. *Lettre PIGB-PMRC*, n° 13, pp 57-62.
- * Moisselin, J.M., M. Schneider, C. Canellas, et O. Mestre, 2002 : Les changements climatiques en France au xx^e siècle. *La Météorologie* 8^e série, n° 38, pp 45-56.
- * Moustoui, M., J.F. Royer, and F. Chauvin, 2002 : African easterly wave activity in a variable resolution GCM. *Climate Dynamics*, 19, pp 289-301.
- * Morel, C., and S. Sénési, 2002 : A climatology of mesoscale convective systems over Europe using satellite infrared imagery – Part 1: methodology. *Quarterly Journal of Royal Meteorological Society*, vol 128, pp 1953-1971.
- * Morel, C. and S. Sénési, 2002 : A climatology of mesoscale convective systems over Europe using satellite infrared imagery – Part 2: characteristics of European mesoscale convective systems. *Quarterly Journal of Royal Meteorological Society*, vol 128, pp 1973-1995.
- * Murphy, B.F., P. Pettré, and I. Simmonds, 2002 : Effects of changing baroclinicity on the southern hemisphere extratropical circulation. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, vol 128, no. 584, pp 1807-1826.
- * Pailleux, J., 2002 : Les besoins en observations pour la prévision numérique du temps. *La Météorologie* 8^e série, n° 39, pp 29-35.
- * Planton, S., 2002 : Scénarios de changement climatique et impacts sur l'hydrologie. "La Houille Blanche" n° 8, novembre 2002.
- * Pokrovsky, O., and J.L. Roujean, 2002 : Land surface albedo retrieval via kernel-based BRDF modeling. Part I: Statistical inversion method and model comparison. *Remote Sensing Environment*, pp 100-119.
- * Pokrovsky, O., and J.L. Roujean, 2002 : Land surface albedo retrieval via kernel-based BRDF modeling. Part II: An optimal design scheme for the angular sampling. *Remote Sensing Environment*, pp 120-142.
- * Rabier, F., N. Fourrié, D. Chafaï, and P. Prunet, 2002 : Channel selection methods for infrared atmospheric sounding interferometer radiances. *Quarterly Journal of Royal Meteorological Society*, vol 128, pp 1011-1027.
- * Redelsperger, J.L., D. Parsons, and F. Guichard, 2002 : Recovery processes and factors limiting cloud-top height following a dry air intrusion observed during Toga-Coare. *Journal of Atmospheric Science*, vol 59, pp 2438-2457.
- * Redelsperger, J.L., A. Diongue, A. Diedhiou, J.P. Ceron, M. Diop, J.F. Guérémy and J.P. Lafore, 2002 : Multi-scale description of a Sahelian synoptic weather system of the West African Monsoon. *Quarterly Journal of Royal Meteorological Society*, 128, pp 1129-1257.
- * Richiardone, R., M. Manfrin, V. Klaus, and B. Campistrone, 2002 : A gravity-wave modulated rain episode during Map experiment. *Quarterly Journal of Royal Meteorological Society*, vol 128, pp 1-6.
- * Rochas, M., 2002 : Il y a un siècle, le contexte scientifique de la surprenante découverte de la stratosphère. *La Météorologie* 8^e série, n° 38, pp 57-69.
- * Roff, G.L., et J.I. Yano, 2002 : Tropical convective variability in the CAPE phase space. *Quarterly Journal of Royal Meteorological Society*, vol 128, pp 2317-2333.
- * Rolland, J., et P. Blouch, 2002 : Les bouées météorologiques. *La Météorologie* 8^e série, n° 39, pp 83-88.
- * Roujean, J.L., and R. Lacaze, 2002 : Global mapping of vegetation parameters from Polder multiangular measurements for studies of surface-atmosphere interactions: A pragmatic method and its validation. *Journal of Geophysical Research*, vol. 107, n° D12.
- * Royer, J.F., D. Cariolle, F. Chauvin, M. Dequé, H. Douville, R.M. Hu, S. Planton, A. Rascol, J.L. Ricard, D. Salas Y Melia, F. Sevault, P. Simon, S. Somot, S. Tyteca, L. Terray, et S. Valcke, 2002 : Simulation des changements climatiques au cours du XXI^e siècle incluant l'ozone stratosphérique. *C.R. Geoscience*, vol 334, pp 147-154.
- * Salas Mélia, D., 2002 : A global coupled sea ice-ocean model. *Ocean Modelling*, 4, pp 137-172.
- * Santurette P., and A. Joly, 2002 : "Anasyg/Presyg Météo-France's newgraphical summary of the synoptic situation". *Meteorological Applications*, 9, pp 129-154.
- * Spagnoli, S. Planton, M. Déqué, O. Mestre, and J.M. Moisselin, 2002 : Detecting climate change at a regional scale: The case of France. *Geophysical Research Letters*, 29, n° 10, pp 90-1, 90-4.
- * Strasser, U., P. Etchevers, and Y. Lejeune, 2002 : Inter-comparison of two snow models with different complexity using data from an alpine site. *Nordic Hydrology*, vol 33, pp 15-26.
- * Tabary, P., G. Scialom, et A. Protat, 2002 : Un radar météorologie Doppler: pour quoi faire? *La Météorologie*, 8^e série, n° 38, pp 30-44.
- * Van Leeuwen, W.J.D., et J.L. Roujean, 2002 : Land surface albedo from the synergistic use of polar (EPS) and geostationary (Msg) observing systems: an assessment of physical uncertainties. *Remote Sensing Environment*, 81, pp 273-289.
- * Wigneron, J.P., A. Chanzy, J.C. Calvet, A. Oliso, et Y. Kerr, 2002 : Modeling approaches to assimilate L band passive microwave observations over land surface. *Journal of Geophysical Research*, vol. 107, pp 1-14.
- * Xu, K.M., R.T. Cedenwall, L.J. Donner, F. Guichard, W.W. Grabowski, D.E. Johnson, M.F. Khairoutdinov, S.K. Krueger, J.C. Petch, D.A. Randall, C.J. Seman, W.K. Tao, S.C. Xie, J.J. Yio, et M.H. Zhang, 2002 : An intercomparison of cloud-resolving models with the Arm summer 1997 Iop data. *Quarterly Journal of Royal Meteorological Society*, vol 128, pp 593-624.

Autres publications

- * Auffray, A., B. Joly, et S. Séné, 2002 : Caractéristiques de systèmes convectifs basés sur l'imagerie radar et l'activité électrique. Note du groupe GMME, n° 78, 48pp, disponible aussi en version CD-ROM interactif avec fichiers et animations.
- * Aulio, G., P. Santurette, V. Ducrocq, V. Jacq, F. Guillemot, D. Senequier, N. Bourdette, et P. Bessemoulin, 2002 : L'épisode de pluies diluviennes du 12 au 13 novembre 1999 sur le sud de la France. Phénomènes remarquables, n° 8.
- * Bergot, T., 2002 : Contribution à l'amélioration de la prévision des événements météorologiques extrêmes : les brouillards denses et les tempêtes. Note du groupe GMME, n° 72, 42pp.
- * Berthelot H., et J.H. Robres, 2002 : Utilisation du tourbillon potentiel dans l'étude des cyclones tropicaux, note de l'ENM.
- * Bessemoulin, P., 2002 : Les tempêtes en France. Annales des Mines., 15-19 août 2002.
- * Bessemoulin, P., 2002 : Le Climat de la Terre, hier et aujourd'hui. Analyses et perspectives du Tourisme, n° 76, Observatoire National du Tourisme, Actes du séminaire du 5 juillet 2001, Paris La Défense, 9-21.
- * Bessemoulin, P., A. Godoy, R. Kornasiewicz, P. Labbé, and J. Riera, 2002 : IAEA Safety Guide "Meteorological Events in Site Evaluation for Nuclear Power Plants", IAEA Safety Series.
- * Bessemoulin, P., 2002 : La diffusion opérationnelle des prévisions saisonnières dans les DIR/OM. Objectifs, n° 59, avril 2002.
- * Bessemoulin, P., 2002 : Les menaces du réchauffement climatique. La Revue Parlementaire.
- * Bessemoulin, P., 2002 : Le climat de la Terre hier et aujourd'hui. Actes du colloque Météorologie et fréquentation touristique, le 5/07/2001, juillet 2002.
- * Boone, A., 2002 : Description du schéma de neige Isba-ES. Note GMME n° 70.
- * Bougeault, P., 2002 : Analyse et prévision du brouillard et des nuages bas. Note GMME n° 67.
- * Bourdette, N., 2002 : Normales trentenaires et profils météorologiques de mai à septembre en France métropolitaine de 1995 à 2001. Actes du colloque Météorologie et fréquentation touristique le 5/7/2001, juillet 2002.
- * Bourdette, N., 2002 : Normales trentenaires et profils météorologiques de mai à septembre en France métropolitaine de 1995 à 2001. Analyses et perspectives du Tourisme, n° 76, Observatoire National du Tourisme, Actes du séminaire du 5 juillet 2001, Paris La Défense, 27-44.
- * Butet, A., 2002 : Simulation du vent autour du N. O Atalante. Note GMEI n° 24.
- * Butet, A., 2002 : Distorsion du vent autour du Navire océanographique Thalassa. Ateliers Instrumentation et Expérimentation, 29/01/2002, Toulouse.
- * Calvet, J.C., 2002 : Interactions entre le sol, la biosphère et l'atmosphère : végétation interactive et analyse de l'eau du sol. Note du groupe GMME, n° 73, 52pp.
- * Calvet, J.-C., 2002 : "Mesures en forêt d'Agre pour Eurostars-2001 : Rapport du Contrat N10167/01/NL/SF à l'Esa-Estec", Note GMME N° 76, 21pp.
- * Chaboud, R., 2002 : La Météo. Question de temps. Nathan, 287 p.
- * Chalon, J-P., 2002 : Combien pèse un nuage ? 187 p.
- * Chane-Ming F., 2002 : Études relatives aux cyclones tropicaux et utilisation d'un radar Doppler, Rapport final pour la Drast.
- * Chassagne A., juin 2002 : Utilisation des données AMSU pour les cyclones tropicaux, rapport de stage MPA de l'Université de la Réunion.
- * Chewtchouk, B., Lozac'h, 2002 : Homogénéisation de longues séries de précipitations de la Côte d'Or. Rapport de projet d'application ENM, promotion TSE 2000/2002.
- * Collectif Escompte, 2002 : Rapport d'expérience sur la campagne de terrain Escompte, du 5 juin au 13 juillet 2001, 168pp.
- * Cros, B., P. Durand, et coll., 2002 : Convention DPPR N° 17/2001 relative à la réalisation du projet Escompte. Rapport final, 130pp.
- * Clain Y, et J. Gangnant, juin 2002 : Calcul de lame d'eau à partir de données radar. Rapport de stage MSP de l'Université de la Réunion.
- * Couvreur, F., T. Weckwerth et J. Pinto, 2002 : Assimilation des données de l'interféromètre aérien dans mm5. Atelier de Modélisation de l'Atmosphère, 17-19/12/2002, Toulouse
- * Dabas A., 2002 : Observer le vent depuis l'espace. Atmosphériques, 14, avril 2002.
- * Déqué, M., 2002 : Forecast scores in deterministic seasonal forecasting. Note CNRM n° 82, 24 pp.
- * Déqué, M., 2002 : Les enseignements de Provost et les perspectives en prévision saisonnière. Note CNRM n° 83, 18 pp.
- * Déqué, M., A.L. Gibelin, 2002 : High versus variable resolution in climate modelling. Research activities in atmospheric and oceanic modelling, 31 WMO/TD n° 1105, 07.04-07.05.
- * Dupuis, H., C. Guerin, D. Hauser, A. Weill, P. Nacass, W. Drennan, S. Cloché, et H. Graber, 2002 : "Impact of flow distortion corrections on turbulent fluxes estimated by the inertial dissipation method during the Fetch experiment on R/V L'Atalante", Institut Pierre Simon Laplace, Notes des Activités Instrumentales n° 27, The Fetch Experiment (Part 1/5), novembre 2002, pp 35-62.
- * Durand, P., 2002 : Mesure aéroportée des flux turbulents. Nature, Sciences et Sociétés, vol 10, pp 60-62.
- * Etchevers, P., et E. Martin, 2002 : Snowmip - un projet de comparaison de modèles de neige. Neige et Avalanches (revue de l'Anena), 100, 23.
- * Franchisteguy, L., R. Lacaze, et J.L. Roujean, 2002 : Détermination d'un albédo de surface à partir des données du système Spot4/végétation. Etude préliminaire sur une zone du sud-est de la France. Note GMME n° 68, 41pp.
- * Gavart, M., M. Assenbaum, G. Caniaux, R. Baraille, et H. Giordani, 2002 : Emboîtement et assimilation multi-données dans un modèle PE d'océan à haute résolution : application à la campagne Pomme. Atelier de Modélisation de l'Atmosphère, 17-19/12/2002, Toulouse, CNRM Ed., 39.
- * Gérard, F., 2002 : Eucos - Réorganiser le réseau d'observation européen. Met Mar, 195, pp 25-27.
- * Goetz D., et O. Boutron, 2002 : Etude climatologique des avalanches ayant atteint ou menacé la route du col du Lautaret (RN91). Publication interne C.E.N.
- * Goetz D. : Y-aura-t-il de la neige en février ? Rubrique "opinions" du journal Sud-Ouest Dimanche du 10 février 2002.
- * Goetz, D. : Aspects de l'hiver 2001-2002. Anena Neige et avalanches n° 100- décembre 2002.
- * Guidard, V., 2002 : Evaluation d'un cycle d'assimilation variationnelle dans le modèle Aladin. Rapport de stage d'approfondissement IENM, n° 816, juin 2002.
- * Hagemann, S., B. Machehauer, O.B. Christensen, M. Déqué, D. Jacob, R. Jones, and P.L. Vidale, 2002 : Intercomparison of water energy budgets simulated by regional climate models applied over Europe. MPI report n° 338, 45 pp.
- * Hontarède, M., 2002 : Enso, perturbation climatique du Pacifique. Met Mar, 196, pp 28-29.
- * Koffi, E., 2002 : Eumetsat fellowship programme - characterization of convective systems using satellite and lightning data. Note GMME n° 69, 74pp.
- * Le Moigne, P., 2002 : Description de l'analyse des champs de surface sur la France par le système Isba. Note du groupe GMME, n° 77, 30 pp.
- * Lefèvre, J-M., 2002 : La prévision numérique des vagues. Met Mar, 195, pp 18-21.
- * Masson V., and J.-L. Champeaux, 2002 : Ecoclimap, a global database of land surface parameters at 1 km resolution in meteorological and climate models. Note GMME n° 66.
- * Martin, E., et P. Etchevers, 2002 : Impact des variations climatiques sur le manteau neigeux, incidence sur l'hydrologie nivale, les avalanches. La Houille Blanche, n° 8, pp 84 à 88.
- * Matveieff, M., 2002 : Surf en Gascogne. Met Mar, 196, pp 12-15.
- * Michou, M. and V-H Peuch, 2002 : Surface exchanges in the Moca multiscale chemistry and transport model. Rev. Sci. Eau 15/no special, pp173-203.
- * Moisselin, J.M., 2002 : Les précipitations sur le xx^e siècle en France. Lettre PIGB-PMRC, N° 13, pp 57-62.
- * Moisselin, J.M., 2002 : Contribution à la troisième communication nationale à la convention cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (demande de la Mission Interministérielle sur l'effet de serre), mars 2002.
- * Nacass, P., 2002 : Shipborne wind measurements corrected for airflow distortion by computational fluid dynamics. Institut Pierre Simon Laplace, Notes des Activités Instrumentales n° 27, The Fetch Experiment (Part 1/5), novembre 2002, pp 17-34.
- * Orain, F., V. Ducrocq, et J.P. Lafore, 2002 : Méthode diagnostique de détection de courants de densité associés aux systèmes convectifs à partir de champs simulés. Note GMME n° 74.
- * Payet L., juin 2002 : Exploitation des mesures TRMM pour l'analyse de l'activité convective dans le bassin Océan Indien, rapport de stage MPA de l'Université de la Réunion.
- * Pellarin, T., J.C. Calvet, et J.P. Wigneron, 2002 : Suivi de l'eau du sol par Smos : Une étude de faisabilité à l'échelle du globe. Note du groupe GMME n° 75, 96pp.
- * Picard S., 2002 : Analyse systématique des Systèmes Convectifs de Mésos-échelle dans le bassin sud-ouest de l'Océan Indien pendant la saison cyclonique 2001-2002. Rapport de DEA Université Paul Sabatier de Toulouse
- * Planton, S., 2002 : Le changement climatique et la probabilité de tempêtes sur l'Atlantique Nord. Réalités Industrielles. Annales des Mines, 15-19 août 2002.
- * Planton, S., 2002 : La régionalisation des changements climatiques. Lettre du PIGB, n° 14.
- * Redelsperger, J.L., 2002 : Rapport à deux ans du projet Eurocs. Note GMME n° 71.
- * Sevault, F., S. Somot, et M. Déqué, 2002 : Couplage Arpège-Médias/Opa Méditerranée : les étapes. Note de travail du CNRM n° 84, 24 pp.
- * Veyssière, J.-M., 2002 : La caractérisation des phénomènes rares ou extrêmes à la Direction de la Climatologie de Météo-France. Société de Calcul Mathématique, 7/03/2002.

Habilitations à Diriger des Recherches 2002 :

Bergot, T., 2002, Contribution à l'amélioration de la prévision des événements météorologiques extrêmes: les brouillards denses et les tempêtes, HDR de l'Université Paul Sabatier de Toulouse, soutenue le 15 mars 2002.

Calvet, J. C., 2002, Interaction entre le sol, la biosphère, et l'atmosphère: Végétation interactive et analyse de l'eau du sol, HDR de l'Université Paul Sabatier de Toulouse, soutenue le 5 avril 2002.

Rabier, F., 2002, Contribution à l'étude et à l'optimisation d'observations météorologiques, HDR de l'Université Paul Sabatier de Toulouse, soutenue le 20 juin 2002

Thèses 2002 :

Andreu Burillo, I., 2002, Etude d'impact de l'assimilation de la température de la surface de la mer dans un modèle aux équations primitives: application à la campagne Sémaphore, Thèse de l'Université Paul Sabatier de Toulouse, soutenue le 24 janvier 2002.

Belamari, S., 2002, Rôle des coups de vent d'ouest dans le déclenchement d'événements chauds de type El Nino. Thèse de l'Université Paul Sabatier de Toulouse, soutenue le 27 septembre 2002.

Brut, A., 2002, Mesure des échanges surface-atmosphère paramétrisation des flux sur l'océan et mise au point d'un instrument pour la détermination de flux d'espèces en trace. Thèse de l'Université Paul Sabatier de Toulouse, soutenue le 13 décembre 2002.

Chancibault, K., 2002, Etude numérique des orages supercellulaires en France. Thèse de l'Université Paul Sabatier de Toulouse, soutenue le 7 novembre 2002.

Dorenbecher, A., 2002, Etude de l'optimisation d'un système d'observation adaptatif pour améliorer la prévision des dépressions météorologiques. Thèse de l'Université Paul Sabatier de Toulouse, soutenue le 21 juin 2002.

Drouin, A., 2002, Détermination de la colonne d'ozone atmosphérique à l'aide d'observations satellitaires dans la bande d'absorption de l'ozone à 9.7 microns. Applications et caractérisation de cette détermination. Thèse de l'Université Paul Sabatier de Toulouse, soutenue le 29 mai 2002.

Guibert, S., 2002, Validation expérimentale des paramétrisations de l'effet indirect des aérosols, via les strato-cumulus marins, pour les modèles de climat. Thèse de l'Université Paul Sabatier de Toulouse, soutenue le 18 octobre 2002.

Hello, G., 2002, Prise en compte de la dynamique associée aux dépressions des latitudes moyennes dans la détermination des conditions initiales des modèles météorologiques. Thèse de l'Université Paul Sabatier de Toulouse, soutenue le 29 novembre 2002.

Liu, Z., 2002, Influence de la résolution d'observations sur l'assimilation de données, Thèse de l'Université Paul Sabatier de Toulouse, soutenue le 25 novembre 2002.

Ricard, D., 2002, Initialisation et assimilation de données à méso-échelle pour la prévision à haute résolution des pluies intenses de la région Cévennes-Vivarais. Thèse de l'Université Paul Sabatier de Toulouse, soutenue le 18 septembre 2002.

Tabary, P., 2002, Observations radar de systèmes précipitants orographiques pendant l'expérience MAP, Thèse de l'Université Paul Sabatier de Toulouse, soutenue le 7 mars 2002.

Conférences de 2002

* Alfaro, Gomes, et al., 2002 : Characterization of aerosol measured in Spring at Chinese Ace-Asia Supersite (Yulin), AGU Fall meeting, 6-10 décembre 2002, San Francisco, USA.

* Amodei M., F. Brocheton, A. Dufour, M. Michou, et V.-H. Peuch, 2002 : Modelling Escompte episodes with the multi-scale CTM Mocage. Part 2: sensitivity studies, IGAC Conference, Hersonissos, Crète.

* Assenbaum, M., G. Reverdin, L. Memery, J.C. Gascard, M. Gavart, G. Caniaux, H. Giordani, Y. Desaubies, F. Gaillard, B. Le Cann, P. Lherminier, H. Mercier, and L. Prieur, 2002 : Meso-scale impact on subduction in the northeast Atlantic during the Pomme experiment. 27th General Assembly of the European Geophysical Society (EGS), in Nice, France, 21-26 April 2002.

* Asencio, N., J. Stein, and M. Chong, 2002 : Study of the convection over Monte Rosa using Spol observations and fine scale Meso-NH simulations. 10th Conference on Mountain Meteorology and Map Meeting, 13-21 June 2002, Park City, UT, USA

* Bastin, S., P. Drobinski, A. Dabas, O. Reitebuch, P. Delville, C. Werner, A. Delaval, C. Boitel, H. Hermann, E. Nagel, B. Romand, J. Streicher, J.-L. Caccia, V. Guenard, P. Durand, and B. Bénéch, 2002 : Analysis of IOP2b land-sea breeze case during the Escompte experiment. 10th Conference on Mountain Meteorology and Map Meeting, 13-21 June 2002, Park City, UT, USA.

* Bastin, S., Drobinski, P., Dabas, A., Reitebuch, O., Delville, P., Werner, C., Delaval, A., Boitel, C., Hermann, H., Nagel, E., Romand, B., Streicher, J., Bénéch, B., Bock, O., J., Caccia J.L., Durand, P., and Guenard, V., 2002 : Analysis of IOP2b land-sea breeze case during the Escompte experiment. 21st International Laser Radar Conference, 8-12 July 2002, Quebec City, Quebec, Canada.

* Bazile, E., 2002 : An overview of the weaknesses of the convection scheme and the link with the prog cloud water. Workshop Aladin, Medullin (Croatie), 3-6 juin 2002, pp 32.

* Bazile, E., 2002 : Progress and problems in the Functional Boxes. Proceeding of the all staff meeting Hirlam. Copenhagen (Danemark), 2-5 avril 2002. Newsletter n° 41, pp 79-82.

* Boffey, G., A. Dabas, and G. Jaubert, 2002 : Interaction between the Föhn and stable air mass in the Rhine valley. 10th conference of mountain meteorology and Map Meeting 2002, Park City, USA.

* Belamari, S., 2002 : Rôle des coups de vent d'ouest dans le développement d'événements chauds de type El Nino. Atelier Modélisation Atmosphérique, Toulouse, 17-19 décembre

* Bélo Pereira, M., L. Berre et G. Desroziers, 2002 : Estimation et études des covariances d'erreur de prévision d'Arpège/Aladin. Atelier de Modélisation de l'Atmosphère, 17-19/12/2002, Toulouse, France, p17-20.

* Bénard, P., and J. Vivoda, 2002 : Nouveaux schémas temporels pour la prévision numérique. Atelier de Modélisation de l'Atmosphère, 17-19/12/2002, Toulouse, pp 175.

* Bénéch, B., I. Menut, M. Lothon, B. Dartiguelongue, T. Bourrianne, A. Ezcurra, F. Said, B. Campistron, F. Lohou, A. Druihet, P. Durand, and B. Cros, 2002 : Dynamical and ozone measurements by constant volume balloons in the low troposphere during Escompte experiment. 7th Scientific Conference of the International Global Atmospheric Chemistry Project (IGAC), 18-25 Sep., Heraklion, Greece.

* Bénéch, B., M. Lothon, B. Dartiguelongue, A. Ezcurra, T. Bourrianne, P. Durand and B. Cros, 2002 : Dynamical and ozone measurements by constant volume balloons in the low troposphere during Escompte experiment. 27th General Assembly of the European Geophysical Society (EGS), in Nice, France, 21-26 April 2002.

* Berre, L., G. Bölöni, R. Brozkova, V. Cassé, G. Desroziers, C. Fischer, J.F. Geleyn, A. Horanyi, M. Raouindi, W. Sadiki, M. Siroka, 2002 : Background error covariances for the 3D-Var of the ALADIN LAM. Proceedings of the HIRLAM workshop on data assimilation, Helsinki (Finlande), 21-23 January 2002, p. 18-27.

* Berre, L., and O. Vignes, 2002 : Humidity assimilation experiments with the HIRLAM 3D-Var. Proceedings of the ECMWF/GEWEX workshop on the humidity analysis, Reading (England), 8-11 July 2002, 8 pp.

* Bessemoulin, P., 2002 : Le changement climatique. Cycle de conférences thématiques de la Bibliothèque de Rangueil, Toulouse, le 25 avril 2002.

* Bessemoulin, P., 2002 : La gestion des données climatologiques à Météo-France. Journées "Mémoires Environnementales" du Programme "Environnement, Vie et Sociétés" du CNRS, Meudon, le 19 juin 2002.

* Bessemoulin, P., 2002: Nouvelles connaissances sur l'évolution du Climat. XVème Colloque de l'Association Internationale de Climatologie (AIC), Besançon, 11-13/09/2002.

* Bessemoulin, P., 2002 : Caractérisation du changement climatique. Colloque Météorologie et fréquentation touristique, Colmar, 8 novembre 2002.

- * Bouttier, F., J. Stein, and P. Bénard, 2002 : Etude de dynamiques non-hydrostatiques à résolution kilométrique pour le projet Arome. Atelier de Modélisation de l'Atmosphère, 17-19/12/2002, Toulouse, pp 171-174.
- * Bouttier, F., 2002 : Strategies for kilometric-scale LAM data assimilation. Proceedings of the Hirlam Workshop on data assimilation, Helsinki (Finlande), 21-23 January 2002, 9 pp.
- * Brisson, A., P. Le Borgne, et A. Marsouin, 2002 : Températures de Surface du SAF Océan et Glaces de Me : Résultats pré-opérationnels, Atelier Expérimentation et Instrumentation, Toulouse, 29-30 janvier.
- * Brocheton, F., A. Dufour, M. Michou et V.-H. Peuch, 2002 : La pollution trans-frontière en Europe: simulation avec le modèle multi-échelle Mocage. Actes des Atelier de Modélisation de l'Atmosphère, 17-19/12/2002, Toulouse.
- * Brunel, P., 2002 : HIRS calibration: comparison between local AAPP and global NESDIS methods. Proceedings of the 12th International TOVS study conference (ITSC-XII), from 27 February to 5 March 2002, Lorne (Australia).
- * Brut, A., A. Butet, S. Planton, P. Durand, and G. Caniaux, 2002 : Influence of the airflow distortion on air-sea flux measurements aboard research vessel: results of physical simulations applied to the Equalant 99 experiment, Proc. 15th Symposium on Boundary Layers and Turbulence, 15-19 July 2002, Wageningen, The Netherlands, AMS Ed., p. 147-150.
- * Brut, A., D. Legain, P. Durand, P. Prigent, G. Bouhours, T. Douffet, and J. Barrié, 2002 : Développement d'un " relaxed eddy accumulator " embarqué sur navire de recherche pour mesurer les flux de CO₂ et de vapeur d'eau, Atelier Expérimentation et Instrumentation, Toulouse, 29-30 janvier 2002.
- * Brut, A., D. Legain, P. Durand, P. Laville, A. Fotiadis, and D. Serça, 2002 : Use of the R.E.A technique to measure scalar fluxes on ground-based and mobile platforms. Proc. 15th Symposium on Boundary Layers and Turbulence, 15-19 July 2002, Wageningen, The Netherlands, AMS Ed., p. 12-15.
- * Caille, P., 2002 : Survey of numerical weather prediction at Météo France. The Aladin project. Acad-Météo France collaboration. NWP strategy for Africa, 30 Sept.-2 Oct. 2002, Roodevalley, RSA.
- * Calvet, J.C., T. Pellarin, J.-P. Wigneron, E. Lopez Baeza, K. Saleh, et al., 2002 : The Eurostars experiment over land surfaces (Smos Mission) : first results, in Proceedings (CD-ROM) of IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Toronto, Canada, juin 2002.
- * Canellas, C., C. Céron, et J.P. Moisselin, 2002 : Comparaison de méthodes d'interpolation de données météorologiques. Contribution à Cost Action 719 WG2, Oslo, 20-21 septembre 2002.
- * Caniaux, G., G. Reverdin, L. Memery, M. Assenbaum, M. Gavart, H. Giordani, Y. Desaubies, F. Gaillard, B. Le Cann, P. Lherminier, H. Mercier, J.C. Gascard, and L. Prieur, 2002 : The Pomme experiment in the NE Atlantic Ocean in 2000-2001. 27th General Assembly of the European Geophysical Society (EGS), in Nice, France, 21-26 April 2002.
- * Céron, J.P., 2002 : L'évolution de notre environnement climatique. Soirée "découvertes" organisée par l'Université Paul Sabatier, Albi, le 6/2/2002.
- * Céron, J.P., 2002 : L'évolution de notre environnement climatique: Le point de vue scientifique. Cycle de conférences organisé par AXA, Andersen Consulting et Météo-France, Paris, le 17/1/2002.
- * Champeaux J.-L., et S. Garrigues, 2002 : Land cover mapping over France using S1-S10 Végétation dataset, GLC 2000 "first results" workshop - Ispra, Italy, 18-22 March 2002.
- * Champeaux J.-L., Garrigues S., Gouveia C., and P. Bicheron, 2002 : Correction of bidirectional effects and impact on land cover classifications, GLC 2000 "first results" workshop - Ispra, Italy, 18-22 March 2002.
- * Champeaux, J.-L., Masson, V., et F. Chauvin, 2002 : Ecoclimat, une base de données globale de paramètres de surface à la résolution kilométrique et son utilisation dans les modèles météorologiques. XVème Colloque de l'Association Internationale de Climatologie (AIC), Besançon, 11-13/09/2002.
- * Champeaux, J.-L., S. Garrigues, P. Defourny, C. Vancutsem, and J.-F. Pekel, 2002 : Cartographie de l'occupation des sols sur la France à partir de Spot/Végétation. 9^{ème} Rencontres de la Société Francophone de Classification, Toulouse, 16-18/09/2002.
- * Chancibault, K., V. Ducrocq, and J.P. Lafore, 2002 : A numerical study of a nontornadic supercell over France, twenty first Conf. on Severe Local Storms, 12-16 August 2002, San Antonio, Texas.
- * Chapnik, B., G. Desroziers, F. Rabier, and O. Talagrand, 2002 : Réglage de statistiques d'erreurs dans une assimilation variationnelle. Atelier de Modélisation de l'Atmosphère, 17-19/12/2002, Toulouse, pp 7-12.
- * Chauvin, F., 2002 : Spectral analysis of African easterly waves in a climate changes scenario. Promise 2nd annual meeting, Paris, 13-15 Mai 2002.
- * Chauvin F, et J.-F. Royer, 2002 : Influence d'une augmentation de CO₂ sur le bilan d'énergie dans Arpège-Climat. Atelier de Modélisation de l'Atmosphère, Toulouse, 17-19 décembre 2002, pp 315-318.
- * Costes, M., J.P. Abadie, J.L. Ducuing, J.P. Denier, S. Pierotti, R. Aloisi, C. Carle, T. Rabaute, and J.P. Goutorbe, 2002 : Tangible results and progress in flood risk management with the Pactes initiative. Prepared for the IAF conference. Houston (Texas), October 2002.
- * Cros, B., P. Durand, and coll., 2002 : The Escompte field experiment, 4th symposium on Urban Climatology, May 2002, Norfolk, VA. AMS Ed., p. 139-140.
- * Cros, B., P. Durand, G. Ancellet, G. Calpini, E. Fréjafon, C. Jambert, D. Serça, B. Sol, H. Wortham, and M. Zephoris, 2002 : Escompte field experiment: some preliminary results about the IOP 2. 27th General Assembly of the European Geophysical Society (EGS), in Nice, France, 21-26 April 2002.
- * Dabas, A., C. Werner, O. Reitebuch, P. Delville, S. Bastin, and P. Drobinski, 2002 : Observation of the three dimensional wind field at mesoscale by the airborne Doppler lidar Wind. Atelier AMA 2002.
- * Dabas, A., C. Werner, O. Reitebuch, P. Delville, and P. Drobinski, 2002 : Observation of the three-dimensional sea-breeze structure over a complex terrain. EGS 2002, Nice, avril 2002.
- * Dabas, A., C. Werner, P. Delville, O. Reitebuch, and P. Drobinski, 2002 : Observation of the Wind Field over a Complex Terrain during the Field Campaign Escompte: an Application of the French-German Airborne Doppler Lidar Wind. 21^e Conférence Internationale sur le radars laser, Quebec, Canada, 8-12 juillet 2002.
- * Desroziers, G., L. Berre et M. Belo Pereira, 2002 : Etude de la variation géographique des corrélations d'erreur de prévision du modèle Arpège et de leur dépendance à la résolution locale du modèle. Atelier de Modélisation de l'Atmosphère, 17-19/12/02, Toulouse, France, p 87-90.
- * Diongue, A., J.P. Lafore, J.L. Redelsperger, and R. Roca : 2002 : Numerical study of a sahelian synoptic weather system: Interactions between cloud and synoptic scales. Proceedings of 25th AMS Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology, pp 84-85.
- * Douville, H., F. Chauvin, S. Planton, J.-F. Royer, D. Salas, et S. Tyteca, 2002 : Bilan préliminaire des expériences couplées du CNRM. Réunion Gaston, Louvain-la-Neuve, 11-12/03/2002.
- * Douville, H., F. Chauvin, S. Planton, J.-F. Royer, D. Salas, and S. Tyteca, 2002 : Transient climate change simulations: Can we reproduce the recent trends found in the instrumental record? 27th General Assembly of the European Geophysical Society (EGS), in Nice, France, 21-26 April 2002.
- * Douville, H., 2002 : Assessing the influence of soil moisture on seasonal climate variability: experiment design and preliminary results. Promise European meeting, Paris, 13-15/05/2002.
- * Douville, H., J.-F. Royer, F. Chauvin, D. Salas, S. Tyteca, and R. Ashrit, 2002 : On the difficulty of detecting and predicting climate change in the tropics. Promise European meeting, Paris, 13-15/05/2002.
- * Douville, H., 2002 : Climatology and variability of the Indian monsoon in the Opa-Arpège coupled model. Réunion PNEDC VIMA, Paris, 20/09/2002.
- * Douville, H., and P. Viterbo, 2002 : Météo-France and European activities relevant to GSWP. GSWP-2 kick-off meeting, Calverton, USA, 30/09-1/10/2002.
- * Douville, H., 2002 : Climatology, variability and sensitivity of the African monsoon simulated in the Arpège climate model. Réunion PNEDC Afrique, Toulouse, 8/10/2002.
- * Douville, H., 2002 : GSWP and related activities at Météo-France. WGNE annual meeting, Toulouse, 18-22/11/2002.
- * Douville, H., F. Chauvin, J.-F. Royer, D. Salas, S. Tyteca, 2002 : Simuler le climat du XXI^e siècle: rêve ou réalité? Atelier de Modélisation de l'Atmosphère, 17-19/12/2002, Toulouse
- * Douville, H., J.-F. Royer, F. Chauvin, A.-L. Gibelin, D. Salas, and S. Tyteca, 2002 : Session ERE1 (Modelling the scientific and socio-economic aspects of anthropogenic changes to the atmosphere). 27th General Assembly of the European Geophysical Society (EGS), in Nice, France, 21-26 April 2002.
- * Drobinski, R.K. Newsom, R.M. Banta, P. Carlotti, R.C. Foster, P. Naveau and J.L. Redelsperger, 2002 : Turbulence in a shear-driven nocturnal surface layer as observed by Doppler lidar, rawinsondes and sonic anemometer during the CASES'99 experiment, 15th AMS Symposium on Boundary Layers and Turbulence, pp 273-274.
- * Drobinski, P., R.K. Newsom, R.M. Banta, P. Carlotti, R.C. Foster, P. Naveau and J.L. Redelsperger, 2002 : Turbulence in a shear-driven nocturnal surface layer as observed by Doppler lidar, rawinsondes and sonic anemometer during the CASES'99 experiment. 21st International Laser Radar Conference, 4 pages.
- * Drobinski, P., O. Reitebuch, A. Dabas, C. Keil, P. Delville, C. Werner, A. Delaval, C. Boitel, H. Hermann, E. Nagel, B. Romand, J. Streicher, J.-L. Caccia, V. Guenard., and P. Durand, 2002 : Characterization of the 28 June 2001 mistral event during the Escompte field experiment. 10th Conference on Mountain Meteorology and Map Meeting, 13-21 June 2002, Park City, USA.
- * Dufour A., A. Amodei, M. Michou, F. Brocheton, F. Couvreux, and V.-H. Peuch, 2002 : Modelling regional pollution episodes with the CTM Mocage. 27th General Assembly of the European Geophysical Society (EGS), in Nice, France, 21-26 April 2002.
- * Dufour A., M. Amodei, M. Michou, F. Brocheton et V.-H. Peuch 2002 : Simulation de la campagne Escompte avec le modèle Mocage. Atelier de Modélisation de l'Atmosphère, 17-19/12/2002, Toulouse, pp 223-226.
- * Dufour A., Amodei M., Couvreux F., and V.-H. Peuch, 2002 : Modelling Escompte episodes with the multi-scale CTM Mocage. Part 1: evaluation against observations, IGAC Conference, Hersonissos, Crete, 2002.

- * Dulac, F., C. Tockert, C. Allet, B. Bénéch, P. Chazette, M. Ramonet, S. Alfaro, P. Berbigier, G. Bergametti, B. Bonsang, J.L. Brenguier, H. Cachier, B. Campistron, P. Ciais, G. Dedieu, E. Dufrene, A. Druilhet, G. Durry, P. Durand, C. François, L. Gomes, J.L. Jaffrezo, P. Laj, F. Lohou, R. Losno, D. Maro, C. Ottlé, S. Rambal, F. Saïd, J. Sanak, M. Schmidt, M. Schulz, J. Sciare, D. Serça, and D. Tarré, 2002 : Projet de sondage de la basse troposphère par ballon captif instrumenté. Atelier Expérimentation et Instrumentation, Toulouse, 29-30 janvier 2002.
- * Durand, P., B. Cros, F. Saïd, P. Perros, V.-H. Peuch, E. Fréjafon, C. Kottmeier, and D. Robin, 2002 : The Escompte programme: an overview. 27th General Assembly of the European Geophysical Society (EGS), in Nice, France, 21-26 April 2002.
- * Durand, P., B. Cros, J.-L. Caccia, Ph. Drobinski, Y. Godet, C. Kottmeier, G. Laverdet, F. Lohou, P. Masclet, J.-L. Ponche, and H. Wortham, 2002 : The Escompte program: an overview, 7th Scientific Conference of the International Global Atmospheric Chemistry Project (IGAC), 18-25 Sep., Heraklion, Grèce.
- * Durand Y., G. Guyomarc'h, and L. Mérindol, 2002 : Research and Developments on wind Transport at Météo-France and its modelling. International Snow Science Workshop (ISSW2002), Penticton, Canada, 29-10/4-10.
- * Durand Y., G. Guyomarc'h, L. Mérindol, and P. Pugliese, 2002 : Col du Lac Blanc (Alps 2700 m) : A Site for Studies on Blowing Snow Effects. Actes du Séminaire. International Seminar on Snow and Avalanches Test Sites. Cemagref-Grenoble, Alpexo, Cemagref Edition.
- * Eiselt F., A. Lasserre-Bigorry, et J.-M. Willemet, 2002 : La chaîne tropique: bilan et perspectives. Atelier de Modélisation de l'Atmosphère, 17-19/12/2002, Toulouse.
- * Etchevers, P., et E. Martin, 2002 : Impact d'un changement climatique sur le manteau neigeux et l'hydrologie des bassins versants de montagne. Colloque "L'eau en montagne", 4-6 septembre 2002, Megève, France.
- * Etchevers, P., E. Martin, R. Brown, C. Fierz, Y. Lejeune, E. Bazile, A. Boone, Y.-J. Dai, R. Essery, A. Fernandez, Y. Gusev, R. Jordan, V. Koren, E. Kowalczyk, R. D. Pyles, A. Schlosser, A. B. Shmakin, T. G. Smirnova, U. Strasser, D. Verseghy, T. Yamazaki, and Z.-L. Yang, 2002 : Snowmip, an intercomparison of snow models: first results. Proceedings of the International Snow Science Workshop (ISSW 2002), October 2002, Penticton, British Columbia, Canada.
- * Etchevers, P., A. Boone, J. Noilhan, et E. Martin, 2002 : Impact d'un changement climatique sur les bassins versants français: résultats et incertitudes. Congrès de la Société Hydro-technique de France (SHF), 7-8 mars 2002, Grenoble, France.
- * Etchevers, P., et J.-M. Soubeyroux, 2002 : Neige et avalanches. Conférence de la Société Météorologique de France (SMF), 4 décembre 2002, Toulouse, France.
- * Fischer, C., 2002 : Algorithmes variationnels dans le modèle Aladin, Atelier de Modélisation de l'Atmosphère, 17-19/12/2002, Toulouse, pp 13-16.
- * Fischer, C., V. Guidard, and P.L. Payet, 2002 : Study of singular vectors in Aladin. Hirlam singular vector workshop, Norrköping, Suède, 19-20 November, pp 25-29.
- * Fotiadis, A., D. Serça, P. Laville, F. Lohou, A. Brut, A. Lopez, and A. Druilhet, 2002 : Exchanges of nitrogen oxides and ozone over a maize field during the Escompte campaign, 7th Scientific Conference of the International Global Atmospheric Chemistry Project (IGAC), 18-25 Sep., Heraklion, Greece.
- * Fourrié, N., 2002 : Sélection de canaux IASI assimilés dans le modèle de prévision numérique ARPEGE en fonction de la situation météorologique. Journées Cnes jeunes chercheurs. Centre Spatial de Toulouse, 24-26 avril 2002, pp 80-81.
- * Fourrié, N., et F. Rabier, 2002 : Préparation de l'assimilation des observations IASI: Etude de sélection de canaux dans les zones sensibles. Atelier de Modélisation de l'Atmosphère, 17-19/12/2002, Toulouse, pp 61-64.
- * Fourrié, N., and F. Rabier, 2002 : Use of advanced infrared sounders in cloudy conditions. Proceedings of the 12th International TOVS study Conference (ITSC-XII), from 27 February to 5 March 2002, Lorne, Australia.
- * Fourrié N., and J.N. Thépaut, 2002 : Channel selection for AIRS radiance assimilation. Twelfth International ATOVS Study Conference, Lorne, Australia, 27 février-5 mars, pp 8.
- * Franchisteguy, L., J.-L. Champeaux, S. Garrigues, R. Lacaze, and J. L. Roujean, 2002 : Vegetation/spot4 data for use in meteorological models: surface albedo and land cover mapping. Proceedings of the First International Symposium on Recent Advances in Quantitative Remote Sensing, p 246-251, Valencia, 16-20 September 2002.
- * Fréjafon, E., C. Abonnel, C. Allet, G. Ancellet, B. Bénéch, P. Durand, E. Gizard, Y. Godet, W. Junkermann, C. Kottmeier, T. Menard, P. Perros, and F. Saïd, 2002 : Quality control of altitude ozone measurements and database optimization during the Escompte campaign. 27th General Assembly of the European Geophysical Society (EGS), in Nice, France, 21-26 April 2002.
- * Garand, L., E. Gérard, P. Di Girolamo, D. Tan, V. Wulfmeyer, and G. Ehret, 2002 : Expected benefit of observations provided by a water vapour differential absorption lidar on atmospheric data analysis. Final report January 2002.
- * Gavart, M., M. Assenbaum, G. Caniaux, R. Baraille, et H. Giordani, 2002 : Emboîtement et assimilation multi-données dans un modèle PE d'océan à haute résolution: application à la campagne Pomme. Atelier de Modélisation de l'Atmosphère, 17-19/12/2002, Toulouse, CNRM Ed., 39.
- * Gérard, E., F. Rabier, M. Dahoui, and Z. Sahlaoui, 2002 : Use of global ATOVS and SSM/I observations at Météo-France. Proceedings of the 12th International TOVS study conference (ITSC-XII), from 27 February to 5 March 2002, Lorne (Australia).
- * Gérard, E., P. Moll, F. Rabier, et D. Puech, 2002 : Utilisation des radiances des instruments ATOVS, des profilers de vent et des radiosondages dans l'assimilation de données opérationnelles à Météo-France. Atelier de Modélisation de l'Atmosphère, 17-19/12/2002, Toulouse, pp 57-60.
- * Gheusi, F., H.C. Davies, and J. Stein, 2002 : How the alpine topography induces a climatological maximum of precipitation in autumn over the Lago Maggiore area. Conference Map 2002, Park City, USA.
- * Gerber H., S.P. Malinowski, J.L. Brenguier, and F. Burnet, 2002 : On the entrainment process in stratocumulus clouds. Proceeding of Conference on Cloud Physics, Ogden, Utah, USA, June 2002.
- * Giard, D., 2002 : Recent changes in the operational suites at Météo France. Proceedings of the all staff meeting Hirlam. Copenhagen, 2-5 avril 2002. Newsletter n° 41, pp 25-26.
- * Giard, D., 2002 : Progress in the investigation of problems in the operational 4d-var assimilation at Météo-France. Proceedings of the all staff meeting Hirlam. Copenhagen, 2-5 avril 2002. Newsletter n° 41, pp 51-54.
- * Gibein A.-L. and M. Déqué, 2002 : Simulation of anthropogenic climate change over the Mediterranean region using a global variable resolution model. Session ERE1 (Modelling the scientific and socio-economic aspects of anthropogenic changes to the atmosphere). 27th General Assembly of the European Geophysical Society (EGS), in Nice, France, 21-26 April 2002.
- * Giordani, H., G. Caniaux, L. Prieur, and M. Gavart, 2002 : Mixed layer heat budget during Pomme experiment. International Symposium "En route to Godae", 13-15 June 2002, Biarritz, p319-320.
- * Giordani, H., G. Caniaux, L. Prieur, et M. Gavart, 2002 : Bilan de chaleur de la couche de mélange océanique pendant la campagne Pomme. Atelier de Modélisation de l'Atmosphère, 17-19/12/2002, Toulouse, CNRM Ed., 211.
- * Giordani, H., G. Caniaux, L. Prieur, M. Gavart, and G. Reverdin, 2002 : Mixed layer heat budget during Pomme experiment. 27th General Assembly of the European Geophysical Society (EGS), in Nice, France, 21-26 April 2002.
- * Giraud G., E. Martin, E. Brun, et JP Navarre, 2002 : CrocusMepa PC software: a tool for local simulations of snow cover stratigraphy and avalanche risks.- article présenté à l'ISSW (octobre 2002 - Canada).
- * Goutorbe, J.P., A. Alquier, D. Dartus, J.L. Ducuing, V. Estupina, Y. Grégoris, A. Robert de Saint Vincent, 2002 : Using space observations for flood monitoring: The Pactes project. Proceedings of the 2002 Eumetsat Meteorological Conference. Dublin.
- * Guichard, F., J. Petch, J.-P. Chaboureaud, J.-L. Redelsperger, I. Beau, H. Grenier, C. Jones, C. Jakob, J.-P. Lafore, J.-M. Piriou, and R. Tailleux, 2002 : The diurnal cycle of deep convection over land: contribution from Eurocs, GCSS-ARM meeting on the representation of cloud systems in large-scale models, 20-24 mai 2002, Kananaskis, Alberta, Canada
- * Guichard, F., J. Petch, I. Beau, J.-P. Chaboureaud, J.-Y. Grandpey, H. Grenier, C. Jakob, C. Jones, J.-P. Lafore, J.-L. Redelsperger, J.-F. Royer, R. Tailleux, et M. Tomasini, 2002 : Eurocs activity toward the diurnal cycle of deep convection over land (présentation invitée). 27th General Assembly of the European Geophysical Society (EGS), in Nice, France, 21-26 April 2002.
- * Guidard, V., and Cl. Ficher, 2002 : Analyse 3 DVAR dans Aladin appliquée à la POI 14 de la campagne Map. Atelier de Modélisation de l'Atmosphère, 17-19/12/2002, Toulouse, pp 95.
- * Guyomarc'h G., Y. Durand, and L. Mérindol, 2002 : In situ observations and snowdrift modelling on alpine topography. In ISSW2002. International Snow Science Workshop, 29 September - 4 October 2002, Penticton, British Columbia. Proceedings (in press).
- * Hallegatte, S., D. Schertzer, P. Hubert, et J.M. Veyssière, 2002 : Multifractality and universal law of the extremes: Fréchet vs. Gumbel, and beyond... 27th General Assembly of the European Geophysical Society (EGS), in Nice, France, 21-26 April 2002.
- * Jaubert, G., and J. Stein, 2002 : Mass budgets in the Rhine valley during a Föhn event. 10th conference of mountain meteorology and Map Meeting 2002, Park City, Utah, USA.
- * Josse, B., P. Simon, V.-H. Peuch, C. Mari, et P. Bechtold, 2002 : Lessivage par les précipitations convectives et stratiformes dans Mocaage. Atelier de Modélisation de l'Atmosphère, 17-19/12/2002, Toulouse, pp 259-262.
- * Kerdoncuff, M., 2002 : A climatological production environment. Séminaire Egows, Rome, 10-13 juin 2002.
- * Kerdoncuff, M., 2002 : Okapi project: a climatological production environment. Actes du Colloque "La Pérennisation et la valorisation des données scientifiques et techniques" ("Ensuring long-term preservation and adding value to scientific and technical data"), organisé par le Cnes du 5 au 7/11/2002 à Toulouse.
- * Klaus, V., G. Chérel, I. Seloyan, R. Durbe, and A. Frappier, 2002 : "Optimisation of RASS height coverage on VHF radar using distributed acoustic sources and advanced signal processing", workshop on Cost action 720 Integrated ground-based remote sensing stations for atmospheric profiling. L'Aquila, Italy, June 18-21, 2002.
- * Klaus, V., G. Chérel, R. Durbe, and A. Frappier, 2002 : "Temperature Profiles from VHF Radar Using a Combination of RASS and Vertical Wind Measurements", workshop on Cost action 720 Integrated ground-based remote sensing stations for atmospheric profiling. L'Aquila, Italy, June 18-21, 2002.
- * Lafore J.-P., A. Diongue, J.L. Redelsperger, and B. Thomas, 2002 : Impact of an African squall line on large scale fields of heat, moisture and momentum. Proceedings of 25th AMS Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology, pp 448-449.

- * Lassegues, P., 2002 : Climatologie de la foudre. XVème Colloque de l'Association Internationale de Climatologie (AIC), Besançon, 11-13/09/2002.
- * Lasserre-Bigorry A. et J.-M. Willemet, Dec 2002 : Bogussing et représentativité des observations : cas du cyclone DINA. Ateliers de modélisation de l'atmosphère, Toulouse.
- * Lavanant, L., 2002 : CMS cloud processing in IASI context. Proceedings of the 12th International TOVS study conference (ITSC-XII), from 27 February to 5 March 2002, Lorne, Australia.
- * L'Hôte, Y., P. Chevallier, P. Etchevers, Y. Lejeune et P. Wagnon, 2002 : Pluie ou neige ? Dispositif de mesures dans les Andes de Bolivie et premiers résultats. Séminaire international hydrologie nivale en Méditerranée, 16-17 décembre 2002, Beyrouth, Liban.
- * Liu, Z. and F. Rabier, 2002 : Potentiel des observations à haute densité sur la prévision numérique du temps : une étude avec des observations simulées. Atelier de Modélisation de l'Atmosphère, 17-19/12/2002, Toulouse, pp 91-94.
- * Lothon, M., B. Benec, A. Druilhet, B. Campistron, E. Richard, and J. Stein, 2002 : Fohn analysis in the Rhine valley: from synoptic scale to turbulence one (Map experiment). 10th Conference on Mountain Meteorology and Map Meeting, 13-21 June 2002, Park City, UT, USA.
- * McNally A., N. Fourré, M. Matricardi, J.N. Thépaut, and P. Watts, 2002 : Progress towards an assimilation strategy for Airs at ECMWF. Twelfth International ATOVS Study Conference, Lorne, Australie, 27 février-5 mars, pp 8.
- * Maes, C., J. Picaut, and S. Belamari, 2002 : The effect of salinity barrier layer in the preconditioning and onset of El Niño simulated by a coupled model. AGU Fall meeting, 6-10 décembre 2002, San Francisco, USA.
- * Maixandeau, A., D. Levèvre, J. Uitz, G. Caniaux, L. Dugrais, S. Newman, and B. Queguiner, 2002 : Spatial and seasonal distribution of O₂ and CO₂ biological fluxes in the Northeast Atlantic ocean. 27th General Assembly of the European Geophysical Society (EGS), in Nice, France, 21-26 April 2002.
- * Maynard, K., J.F. Royer, and F. Chauvin, 2002 : A variable GCM simulation of the impact of future land-use changes on African climate. Session OA.23.04. 27th General Assembly of the European Geophysical Society (EGS), in Nice, France, 21-26 April 2002.
- * Maynard, K., 2002 : Impact of land-use changes on the African Climate. Promise 2nd annual meeting, Paris, 13-15 Mai 2002
- * Méridol L., G. Guyomarch, and G. Giraud, 2002 : A French Local Tool for avalanche hazard forecasting: Astral, current state and new developments. International Snow Science Workshop (ISSW2002), Penticton, Canada, 29-10/4-10.
- * Mestayer, P.G. and P. Durand, 2002 : The UBL/CLU-Escompte experiment: description and first results, 4th symposium on Urban Climatology, May 2002, Norfolk, VA. AMS Ed., p. 19-20.
- * Moisselin, J. M., 2002 : Homogénéisation des longues séries. Séminaire D50, 1/10/2002
- * Moisselin, J.M., 2002 : Changements climatiques et agriculture. SCEES (Service Central des Enquêtes et Etudes Statistiques, Ministère de l'Agriculture), Auzeville, le 27 mai 2002.
- * Moisselin, J.M., and O. Mestre, 2002 : Research, digitization, and homogenization of long-term data series, Actes du colloque "La pérennisation et la valorisation des données scientifiques et techniques", organisé par le CNES du 5 au 7/11/2002 à Toulouse.
- * Montmerle, Th., et F. Bottier, 2002 : Etude de l'impact de l'assimilation de radiances géostationnaires MSG/Seviri dans un système de prévision régionale. AMA 2002, pp 49-52.
- * Morel, C., S. Sénési, and F. Autones, 2002 : Building upon SAF-NWC products – Use of the Rapid Developing Thunderstorm (RDT) product in Météo-France nowcasting tools. Proceedings of the Eumetsat conference, Dublin, Ireland, 2-6 September.
- * Monnier, G., L. Lavanant, P. Brunel, T. Labrot, and G. Rochard, 2002 : Temperature, humidity and surface emissivity retrieval experiments with IASI simulated data. Proceedings of the 12th International TOVS study conference (ITSC-XII), from 27 February to 5 March 2002, Lorne, Australia.
- * Nacass, P., 2002 : La simulation numérique des écoulements appliquée à la mesure atmosphérique par avion. Ateliers Expérimentation et Instrumentation, CIC Toulouse, Session "Mesures in situ, Mesures aéroportées", 29 janvier 2002.
- * Nacass, P., 2002 : La simulation numérique des écoulements appliquée à la mesure atmosphérique par navire. Ateliers Expérimentation et Instrumentation, CIC Toulouse, Session "Mesures in situ, Navires et bouées", 29 janvier 2002.
- * Nacass, P., 2002 : Model calculations of an airborne isokinetic inlet: shroud, pumping, pathlines, . Eufar Workshop on "Airborne Particle Inlets", Institute for Tropospheric Research Leipzig, Germany, 13 avril 2002.
- * Nacass, P., 2002 : Simulation numérique des écoulements, application aux mesures in situ par avions et par navires. Fluent France, Montigny, 22 mai 2002.
- * Nacass, P., 2002 : Prototype of two fast airborne sensors", Eufar Expert Workshops on "Small-scale Turbulence. CIRA, Capua, Italie, 16 septembre 2002.
- * Nacass, P., 2002 : Airflow disturbance around and in instruments. Eufar Expert Workshops on "Airflow Disturbance". CIRA, Capua, Italie, 17 septembre 2002.
- * Nacass, P., 2002 : 3D airflow simulation in a counterflow virtual impactor (CVI). Eufar Expert Workshops on "Airflow Disturbance", CIRA, Capua, Italie, 18 septembre 2002.
- * Nacass, P., 2002 : Airflow simulation for airborne sensors. University of Wyoming, Laramie, USA, 31 octobre 2002.
- * Nicolau, J., 2002 : Short range ensemble forecasting at Météo-France. Proceedings of the CBS Technical Conference on Data Processing and Forecasting Systems, Cairns, Australia, 2-3 December 2002, 4p.
- * Nicolau, J., 2002 : Short range ensemble forecasting at Météo-France. 27th General Assembly of the European Geophysical Society (EGS), in Nice, France, 21-26 April 2002.
- * Nho-Kim, E.-Y., B. Josse, M. Michou, V.-H. Peuch, et P. Simon, 2002 : Introduction d'un modèle d'aérosols dans le MCT Mocale. Atelier de Modélisation de l'Atmosphère, 17-19/12/2002, Toulouse, pp 263-266.
- * Nho-Kim, E.-Y. M. Michou, and V.-H. Peuch, 2002 : Parameterization of size dependent particle dry deposition velocities in a global chemistry and transport model. 27th General Assembly of the European Geophysical Society (EGS), in Nice, France, 21-26 April 2002.
- * Paci, A., G. Caniaux, M. Gavart, H. Giordani, and G. Reverdin, 2002 : High resolution simulation of the ocean during Pomme Experiment. International Symposium "En route to Godae", 13-15 June 2002, Biarritz, p343-344.
- * Paci, A., G. Caniaux, H. Giordani, M. Gavart, et G. Reverdin, 2002 : Modélisation de l'océan superficiel entre les campagnes Pomme1 et Pomme2. Atelier de Modélisation de l'Atmosphère, 17-19/12/2002, Toulouse, CNRM Ed., 207-210.
- * Pellarin, T., J.-C. Calvet, J.-P. Wigneron, M. Berger, P. Ferrazzoli, et al., 2002 Surface Soil Moisture Retrieval from SMOS: a Global Regression Study. in Proceedings (CD-ROM) of IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Toronto, Canada, juin 2002.
- * Pettré, P.: Aspects du climat de Dumont d'Urville et Dome C en Antarctique de l'Est. Séminaire Université de Nice, le 29 avril 2002
- * Pettré, P., 2002 : Brief study of the climate of Dome C from AWS data. Antarctic NWP and Forecasting Workshop, NCAR, Boulder, Colorado, USA, 4 and 5 juin 2002. Papier invité: publié dans les Proceedings de la conférence, pp 27-30.
- * Pettré, P., 2002 : Feasibility study of a Present Weather Sensor at Dome C, Antarctica. WCRP Workshop on determination of solid precipitation in cold climate regions, Fairbanks, Alaska, 10-14 juin 2002.
- * Peuch V.-H., S. Cautenet, I. Coll, K. Cuvelier, C. Lac, V. Masson, L. Menut, R. Rosset, and R. Vautard, 2002 : Overview of modelling activities within Escompte, IGAC Conference, Hersonissos, Crète, 2002.
- * Peuch V.-H., 2002 : Mocale: Un outil pour la recherche et la prévision opérationnelle. Atelier de Modélisation de l'Atmosphère, 17-19/12/2002, Toulouse.
- * Pigeon G., A. Lemonsu, P. Durand, and V. Masson, 2002 : Urban surface network in Marseille: network optimisation using numerical simulations and results. 4th symposium on Urban Climatology, May 2002, Norfolk, VA. AMS. Edp. P. 23-24.
- * Pigeon G., A. Lemonsu, P. Durand, and V. Masson, 2002 : Urban surface network in Marseille: network optimisation using numerical simulations and results. 27th General Assembly of the European Geophysical Society (EGS), in Nice, France, 21-26 April 2002.
- * Pinot, J.M., H. Mercier, and G. Caniaux, 2002 : Heat balance along floats trajectory in the North Atlantic. International Symposium "En route to Godae", 13-15 June 2002, Biarritz, p 201.
- * Pinot J.M., H. Mercier, G. Caniaux, and F. Gaillard, 2002 : Heat balance along Provov floats trajectory in the north Atlantic. 27th General Assembly of the European Geophysical Society (EGS), in Nice, France, 21-26 April 2002.
- * Planton S., 2002 : Changement climatique récent et des scénarios pour le futur, conférence grand public, St Laurent-de-Neste, 14 mars.
- * Planton S., 2002 : A l'échelle des continents: le regard des modèles, dans le cadre, du colloque " Effet de serre, impact et solutions: quelle crédibilité? ", Académie des Sciences, Paris, 16-18 septembre.
- * Prigent, Y., J. Barrié, G. Bouhours, A. Brut, G. Caniaux, T. Douffet, P. Durand, F. Froissard, et D. Legain, 2002 : Campagne Pomme: mise en œuvre d'un mât instrumenté pour mesurer les flux océan-atmosphère. Atelier Expérimentation et Instrumentation, Toulouse, 29-30 janvier.
- * Puygrenier, V., F. Lohou, B. Campistron, F. Saïd, B. Benec, E. Dupont and, E. Gizard, 2002 : Comparison of Urban and Rural Boundary Layers, 7th Scientific Conference of the International Global Atmospheric Chemistry Project (IGAC), 18-25 Sep., Heraklion, Greece.
- * Rabier, F., E. Gérard, Z. Sahlaoui, M. Dahoui, and R. Randriamampianina, 2002 : Use of ATOVS and SSM/I observations at Météo-France. Proceedings of the Hiram Workshop on Variational Data assimilation and remote sensing, 21-23 January 2002, Helsinki, Finland, pp 77-83.
- * Rabier, F., and N. Fourré, 2002 : Channel selection for IASI in clear sky conditions. Proceedings of the 12th International TOVS study conference (ITSC-XII), from 27 February to 5 March 2002, Lorne, Australia.
- * Ramos-Buarque S., H. Giordani, G. Caniaux, and S. Planton, 2002 : Era 40 ocean surface heat flux: Evaluation of the model spins. International Symposium "En route to Godae", 13-15 June 2002, Biarritz, p147-148.
- * Ramos-Buarque S., H. Giordani, G. Caniaux, and S. Planton, 2002 : Era 40 ocean surface heat flux: model spins evaluation. Atelier de Modélisation de l'Atmosphère, 17-19/12/2002, Toulouse, CNRM Ed., 121-124.
- * Ramos-Buarque S., H. Giordani, G. Caniaux, and S. Planton, 2002 : Evaluation of Era 40 ocean surface flux spins. 27th General Assembly of the European Geophysical Society (EGS), in Nice, France, 21-26 April 2002.

- * Ramos-Buarque, S., H. Giordani, G. Caniaux, and S. Planton, 2002 : Era 40 ocean surface heat flux: evaluation of the model spins. Supplement to EOS, Transactions, American Geophysical Union, Vol. 83, 47, 19 Nov 2002. AGU 2002 Fall Meeting, 6-10 December 2002, San Francisco, California, USA.
- * Randriamampianina, R., and F. Rabier, 2002 : Regional use of locally received Atovs radiances in Nwp. Proceedings of the 12th International Tovs study conference (ITSC-XII), from 27 February to 5 March 2002, Lorne, Australia.
- * Redelsperger J.L., P. Carlotti, and F. Mahé, 2002 : A simple and general subgrid model suitable both for surface and free-stream turbulence. 15th AMS Symposium on Boundary Layers and Turbulence, pp 624-627.
- * Redelsperger J.L., and Colleagues from around 15 French laboratories, 2002 : The West African Monsoon Project. Proceedings of 25th AMS Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology, pp 275-277.
- * Richard, E., N. Asencio, R. Benoit, A. Buzzi, R. Ferretti, P. Malguzzi, S. Serafin, W. Wang, and G. Zaengl, 2002 : Intercomparison of the simulated precipitation fields of the PAM IOP 2B with different high-resolution models. 10th Conference on Mountain Meteorology and Map Meeting, 13-21 June 2002, Park City, UT, USA.
- * Rinne, J., J. Ruppert, and P. Durand, 2002 : How many data do we need to calculate eddy covariance fluxes ? 27th General Assembly of the European Geophysical Society (EGS), in Nice, France, 21-26 April 2002.
- * Rinne, J., P. Durand, and A. Guenther, 2002 : An airborne disjunct eddy covariance system: Sampling strategy and instrument design, Proc. 15th Symposium on Boundary Layers and Turbulence, 15-19 July 2002, Wageningen, The Netherlands, AMS Ed., p. 151-154.
- * Roca R, Piriou C, Lafore JP, and J.L Redelsperger, 2002 : Extra-tropical dry air intrusions in the West African Monsoon Region., Proceedings of 25th AMS Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology, pp 277-279.
- * Roux F., F. Chane-Ming, A. Lasserre-Bigorry, and O. Nussier, 2002 : Doppler radar observations of tropical cyclone Dina as it passed near La Réunion on 22 January 2002, Second European Conference on Radar Meteorology (ERAD), Delf, The Netherlands.
- * Royer, J-F., 2002 : Le point sur les scénarios climatiques au CNRM. Journées Gaston des 11 et 12 mars 2002, IAGGL, Louvain la Neuve, Belgique.
- * Royer, J-F., 2002 : Climate scenarios at CNRM. Promise 2nd annual meeting, Paris, 13-15 Mai 2002
- * Royer, J-F., H. Douville and F. Chauvin, 2002 : Analysis of the West African Monsoon in forced and coupled simulations. AMIP International Workshop, Toulouse, 12-15 Novembre 2002
- * Saïd, F., G. Ancellet, V. Simeonov, B. Campistron, C. Kottmeier, A. Dabas, P. Drobinski, P. Durand, E. Frejafon, W. Junkermann, P. Perros, and R. Wilson, 2002 : Vertical structure of the polluted low troposphere during Escompte 2001. 27th General Assembly of the European Geophysical Society (EGS), in Nice, France, 21-26 April 2002.
- * Salas y Mélia, D., 2002 : Influence d'un schéma de routage de fleuves sur la simulation de la banquise arctique. AMA 17-19/12/2002.
- * Salas y Mélia, D., 2002 : Variabilité de la glace de mer arctique dans les simulations couplées du CNRM. Louvain-la-Neuve, Belgique, 11-12/03/2002.
- * Salas y Mélia, D., 2002 : Modeled variability of Arctic sea ice. ACSYS workshop on sea ice extent and the global climate system. Toulouse, 15-17/04/2002.
- * Salas y Mélia, D., 2002 : Océan-atmosphère, un couple modèle. Toulouse, la Cité de l'Espace, 24/04/2002.
- * Sevault, F., M. Dequé, et S. Somot, 2002 : Simulation de 140 ans de la Mer Méditerranée forcée par les flux atmosphériques d'un scénario de changement climatique. Atelier de Modélisation de l'Atmosphère, 17-19/12/2002, Toulouse.
- * Sevault, F., M. Dequé, and S. Somot, 2002 : A multidecadal Mediterranean Sea Simulation driven by Prudence atmospheric surface fluxes. Second ICTP Conference on Detection and Modeling of Regional Climate Change, from 30 September to 4 October 2002, Trieste (Italy).
- * Simon, P., F. Lefebvre, et V.-H. Peuch, 2002 : Validation du modèle Mocage par une simulation pluri-annuelle. Atelier de Modélisation de l'Atmosphère, 17-19/12/2002, Toulouse, p 231.
- * Somot, S., F. Sevault, K. Béranger, M. Dequé, and M. Crépon, 2002 : First analysis of a coupled mediterranean-atmosphere model. 27th General Assembly of the European Geophysical Society (EGS), in Nice, France, 21-26 April 2002.
- * Somot, S., F. Sevault, K. Béranger, M. Dequé, and M. Crépon, 2002 : First analysis of a coupled mediterranean-atmosphere model. Réunion du projet européen Prudence, octobre 2002, Trieste, Italie.
- * Somot, S., F. Sevault, K. Béranger, M. Dequé, et M. Crépon, 2002 : Première analyse d'un modèle couplé Méditerranée - atmosphère. Atelier de Modélisation de l'Atmosphère, 17-19/12/2002, Toulouse.
- * Sowinski, S., B. Cros, P. Durand, E. Gizard, Y. Godet, W. Junkermann, N. Kalthoff, M. Pesch, D. Robin, F. Saïd, and E. Frejafon, 2002 : Quality control of altitude ozone measurement during the Escompte campaign and application for long term combined Ozone Lidar, Sodar and point monitor measurement as model validation support. Proc. International Laser Radar Conference, Québec, 6-12 July.
- * Stein, J., 2002 : Moist airflow regimes over more or less smooth mountains. 10th Conference on Mountain Meteorology and Map Meeting, 13-21 June 2002, Park City, UT, USA
- * Voldoire, A., 2002 : Introduction d'une végétation dynamique dans les simulations climatiques avec Arpege-Climat. Journées Gaston des 11 et 12 mars 2002, IAGGL, Louvain la Neuve, Belgique.
- * Voldoire, A., J-F. Royer, 2002 : Impact of anthropogenic land cover use on climate. Oral presentation, Session ERE1. 27th General Assembly of the European Geophysical Society (EGS), in Nice, France, 21-26 April 2002.
- * Werner, C., A. Dabas, O. Reitebuch, P. Delville, B. Romand, E. Nagel, P.H. Flamant, C. Loth, F. Köpp, J. Streicher, P. Drobinski, S. Rahm, C. Boitel, M. Klier, D. Bruneau and H. Hermann, 2002 : Airborne Doppler Lidar WIND, 1. Instrument and Validation 21^e Conférence Internationale sur le radars laser, Québec, Canada, 8-12 juillet 2002.
- * Wright, S. D., J.P. Lafore, and J.L. Redelsperger, 2002 : An Idealised Two-Dimensional Framework to Study Convection over West Africa. Proceedings of 25th AMS Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology, pp 355-357.
- * Yano, J.-I., P. Bechtold, J.-L. Redelsperger, et F. Guichard, 2002 : Wavelet compression of the moist convection data. 27th General Assembly of the European Geophysical Society (EGS), in Nice, France, 21-26 April 2002.
- * Yano, J.-I., P. Bechtold, J.L. Redelsperger and F. Guichard, 2002 : Towards a wavelet-based convective representation for GCM: rationales and preliminary results. Proceedings of 25th AMS Conference on Hurricanes and Tropical Meteorology, pp 239-240.
- * Yessad, K., and A. Nmiri, 2002 : Abandon de l'hypothèse de couche mince dans les modèles Arpege et Aladin hydrostatiques: Résultats préliminaires. Atelier de Modélisation de l'Atmosphère, 17-19/12/2002, Toulouse, pp 177-180.

**Centre National
de Recherches Météorologiques**

42, avenue G. Coriolis
31057 Toulouse Cedex 1
Tél. : (33) 5.61.07.93.70
Fax. : (33) 5.61.07.96.00
<http://www.cnrm.meteo.fr>

