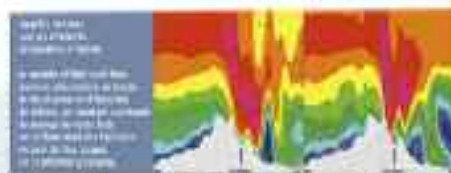


Rapport Recherche

2010



Rapport Recherche 2010

Sommaire

Modèles pour la prévision du temps ● page 6

Prévision numérique du temps
Recherche et développements autour du modèle AROME
Prévision cyclonique

La recherche au service de l'aéronautique ● page 17

SESAR

Étude des phénomènes météorologiques ● page 20

Paramètres de surface

Étude du climat et du changement climatique ● page 26

Études environnementales liées à l'atmosphère ● page 32

Hydrométéorologie
Océanographie (modélisation et instrumentation)
Chimie atmosphérique et qualité de l'air
Étude du manteau neigeux et des avalanches

Instrumentation et campagne d'observation pour la recherche ● page 44

Instrumentation aéroportée
Instrumentation *in situ* – télédétection

Valorisation et Communication ● page 53

Annexes ● page 56



La politique de recherche de Météo-France a pour finalité principale d'aider l'établissement à remplir de mieux en mieux sa mission, « surveiller l'atmosphère, l'océan superficiel et le manteau neigeux, anticiper leurs évolutions et diffuser les informations correspondantes ». Le décret de création de Météo-France précise également que les activités de recherche doivent « participer à l'amélioration de l'observation et de la connaissance de l'atmosphère et de ses interactions avec les autres milieux naturels, les activités humaines et le climat ».

Les objectifs prioritaires sont donc :

- de garantir que l'établissement maîtrise les meilleures techniques d'observation de l'atmosphère, de l'océan superficiel et du manteau neigeux ;
- d'améliorer en permanence les outils numériques utilisés pour la prévision de l'évolution de ces milieux à toutes les échelles d'espace et de temps et pour les simulations climatiques, en prenant en compte les interactions nécessaires.

Cette activité est répartie entre un service de recherche, le Centre National de Recherches Météorologiques (CNRM), et les autres services de Météo-France.

Le CNRM est constitué d'une direction, implantée à Toulouse et Paris, et de sept unités de recherche : le Centre d'aviation météorologique (Toulouse Franczal), le Centre d'études de la neige (Grenoble), le Centre de météorologie marine (Brest), le Groupe de modélisation et d'assimilation de données pour la prévision, le Groupe de météorologie expérimentale et instrumentale, le Groupe de météorologie de grande échelle et climat, et le Groupe de météorologie de moyenne échelle (ces quatre dernières unités sont implantées sur la Météopole de Toulouse).

Ce dispositif est complété par un Réseau d'études et de transfert interne des connaissances et un Groupe des services communs. La mutualisation des moyens avec d'autres organismes de recherche a conduit à la création de trois « unités mixtes » qui recoupent les précédentes et leur permettent d'accueillir en renfort des équipes du CNRS et des universités :

- Le Groupe de recherche sur l'atmosphère météorologique (GAME), structure d'association avec le CNRS qui comprend les quatre groupes de recherche toulousains du CNRM ainsi que les équipes de recherche du Centre d'études de la neige de Grenoble.
 - Le Service des avions français instrumentés pour la recherche en environnement (Safire), structure d'association entre Météo-France, le CNES et le CNRS.
 - Le Laboratoire de l'atmosphère et des cyclones (LACY), association entre le CNRS, l'université de La Réunion et Météo-France.
- L'année 2010 a été marquée par la poursuite du rapprochement avec l'Observatoire Midi-Pyrénées, structure qui regroupe les laboratoires toulousains en sciences de l'univers sous tutelle de l'Université et du CNRS. Météo-France rejoint à partir de 2011 ce partenariat qui compte aussi l'IRD et le CNES. Par ailleurs, les calendriers d'évaluation du GAME seront désormais phasés avec ceux de l'OMP.

La production des équipes de recherche de Météo-France se répartit en quelques grandes catégories : des codes de calcul qui sont livrés aux services opérationnels pour la prévision numérique ou diffusés au sein de la communauté scientifique ; des articles scientifiques publiés dans les meilleures revues internationales qui synthétisent les progrès du savoir ; des bases de données qui



© Camille Luxen

contiennent les observations faites lors des campagnes de mesures ou les résultats de simulations numériques, mises à la disposition d'autres chercheurs pour leur propres travaux ; des brevets, essentiellement dans le domaine instrumental, encore en petit nombre mais en augmentation ; enfin, l'enseignement et la communication vers le public, fonctions importantes pour préparer la relève et faire comprendre notre activité.

Nos travaux répondent à un « Programme de recherche » établi chaque année. Il se décline en une centaine d'actions définies essentiellement à partir des demandes internes des services de Météo-France. Parmi ceux-ci, on compte au premier chef la Direction de la Production, qui évalue au quotidien la qualité des prévisions météorologiques et fait remonter les défauts essentiels rencontrés par les prévisionnistes et les équipes de contrôle objectif des prévisions numériques. Le programme de travail en prévision numérique en découle, ainsi que les besoins en recherches plus amont, notamment les campagnes de mesures destinées à faire progresser les connaissances sur les processus mal représentés dans les modèles, comme l'influence du relief, la microphysique des nuages et des aérosols, la chimie de l'atmosphère urbaine...

Le CNRM est également associé à la préparation des « feuilles de route » de Météo-France dans différents domaines stratégiques, comme l'aéronautique ou la Défense. Certaines instances officielles, comme le Conseil supérieur de la météorologie ou le Comité scientifique consultatif de Météo-France, qui rassemblent des personnalités extérieures à l'établissement, formulent également des recommandations, dont certaines impactent le programme de recherche. Enfin,

des organismes internationaux comme le GIEC ou le Programme mondial de recherche sur le climat émettent des préconisations sur le type de travail nécessaire pour avancer sur les grands problèmes du climat.

Dans le cadre des structures associatives avec le CNRS et les universités, un processus sur quatre ans de bilan et de programmation est également activé. Celui-ci permet de prendre en compte les grandes tendances de la science et de se phaser avec le reste de la communauté de recherche française, notamment pour bénéficier des synergies sur les campagnes de mesures.

Ce rapport recherche 2010 reprend la structure des précédents, et vise à apporter au lecteur des éléments concrets permettant d'apprécier l'avancement de quelques sujets. Il ne prétend pas à l'exhaustivité mais permet d'illustrer la richesse et la diversité des thèmes traités dans nos laboratoires. Je vous en souhaite bonne lecture.



Philippe Bougeault,
Directeur de la Recherche à Météo-France.
(Photo : Ph. Dos, Météo-France)

Modèles pour la prévision du temps

Prévision numérique du temps

Le 6 avril 2010, les versions à résolution plus fine et plus riches en observations élaborées au long de la deuxième moitié de 2009 des modèles déterministes Arome, Arpege et Aladin devenaient opérationnelles. Le 24 novembre 2010, le modèle Arome bénéficiait d'un domaine bien agrandi et d'une analyse spécifique des conditions de surface. Avec les considérables changements apportés à la prévision d'ensemble Arpege le 8 décembre 2009 et le passage à une meilleure résolution le 13 décembre 2010, ce sont l'essentiel des engagements pris dans le contrat d'objectifs autour du gain de puissance de calcul apporté par les ordinateurs loués à NEC qui se sont concrétisés. Les différents panneaux de la figure montrent quelques réalisations des différents modèles à l'occasion d'épisodes météorologiques marquants de l'année.

Même sur ces situations, les points à améliorer ne manquent pas. Aucune étape de progrès ne marque la fin des évolutions des modèles de prévision. Les pages qui suivent illustrent différents aspects de ces améliorations continues, certaines en voie de devenir opérationnelles, d'autres préparant les évolutions futures. Une partie de ces activités se déroule en coopération soit avec le CEPMMT, soit avec les pays des consortiums Aladin et HIRLAM.

À côté des résultats présentés ici, évoquons d'une phrase le lancement des travaux destinés à préparer le remplacement de l'actuel calculateur à l'horizon 2013-2014. L'état du marché indique de grandes chances de passer à de nouvelles architectures, dominées par la parallélisation des calculs. L'adaptation des modèles commence par Arome et son schéma de surface. D'autres recherches ne sont pas illustrées. La reconnaissance de la présence d'une zone nuageuse ou non nuageuse dans l'analyse pourrait constituer une voie d'améliorations pour ce même modèle Arome. Des progrès dans l'utilisation des radiances nuageuses devraient déboucher dans les prochaines années. Le remplacement du schéma de convection des modèles hydrostatiques continue de se préparer. La représentation des statistiques d'erreur dans les assimilations devrait s'affiner avec la prise en compte d'une portée des corrélations d'erreur variable selon la situation. Trois nouveaux domaines Aladin dotés de leur propre assimilation sont en place sur la chaîne, au bénéfice de trois régions outre-mer qui commencent à en examiner les sorties.

1

Amélioration de l'analyse d'humidité par les observations

La qualité de l'initialisation de l'humidité influence la qualité des prévisions, de précipitations notamment. Un effort particulier a été porté à l'amélioration de l'assimilation de données liées à l'humidité atmosphérique dans les différents modèles de prévision du temps. Dans le modèle global ARPEGE, l'augmentation de résolution horizontale a permis de commencer à utiliser les observations d'humidité à 2 m sur terre de jour, de manière similaire à ce qui est fait dans les modèles à domaine limité. D'autre part, des travaux ont été menés pour débiaiser les données d'humidité de radiosondages en s'appuyant sur des réalisations du CEPMMT.

L'introduction opérationnelle en 2008 d'une paramétrisation originale d'émissivité de surface des données micro-ondes sur terre a rendu possible, cette année, l'assimilation

de canaux de basses couches des sondeurs de type AMSU et MHS sur terre et sur glace de mer, en première mondiale. De plus, on assimile désormais les données de l'imageur de deux nouveaux satellites américains SSMIS et de canaux sensibles à l'humidité du sondeur hyperspectral IASI.

Tous les développements décrits ci-dessus sont communs aux différents modèles opérationnels. Pour le modèle non-hydrostatique AROME, l'assimilation des données de réflectivités radars a été rendue possible cette année. On peut voir sur la figure que l'assimilation des réflectivités permet d'améliorer le score de détection de précipitations des prévisions à courte échéance tout en ne dégradant pas le taux de fausse alerte. Ceci constitue l'aboutissement de plusieurs années de recherches et de développements,

Cartes prévues en temps réel par plusieurs des applications de prévision numérique de Météo-France sur des événements notables de 2010.

(A) Prévision de ce qui sera le cyclone Oli dans le Pacifique sud par le modèle Arpege alors opérationnel 3,5 jours avant.

(B) Le quantile 75 % des rafales à 10 m prévues 2,5 jours avant la tempête du 28 février par la prévision d'ensemble PEARP à 35 membres située Charente et Vendée comme départements exposés.

(C) Spatialisation des vents maxi instantanés et rafales prévues pour le 28 février 03 UTC par Arpege et Arome. Les diagnostics de rafales améliorés donnent, environ 1 jour à l'avance, des ordres de grandeur corrects sur terre, tout en étendant trop au sud la zone la plus concernée.

(D) Le quantile 75 % des cumuls en 24 h prévu 2,5 jours avant l'épisode de fortes pluies du 7 septembre par PEARP donne une assez bonne idée de l'étendue et de la localisation des précipitations (les observations de la Dclim sont à gauche).

(E) Cumuls de précipitations en 1 h analysés par Antilope et prévus par Arpege et Arome. Le 7 septembre au soir, une ligne de précipitations très intenses se reforme sur le Gard mais se déplace vite vers l'Est.

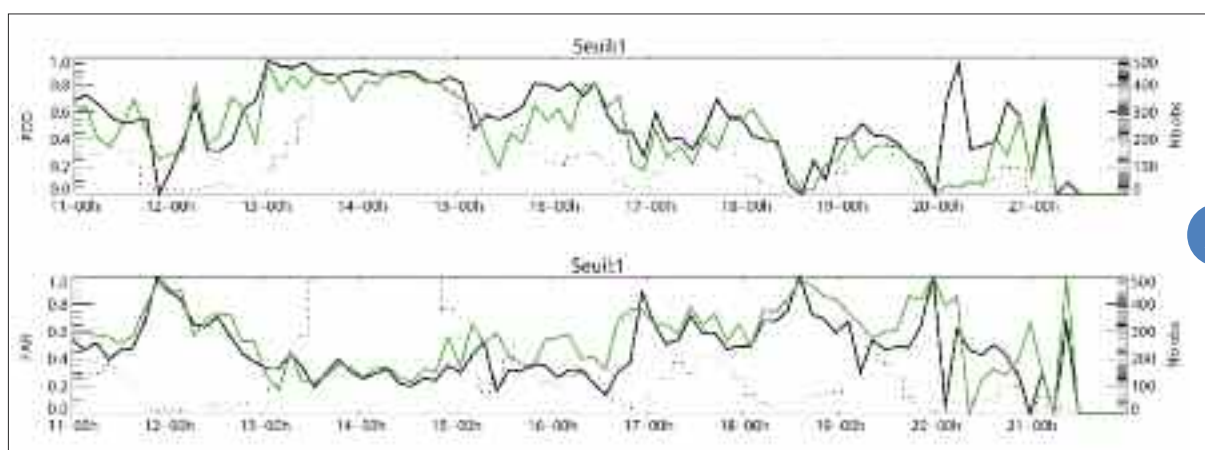
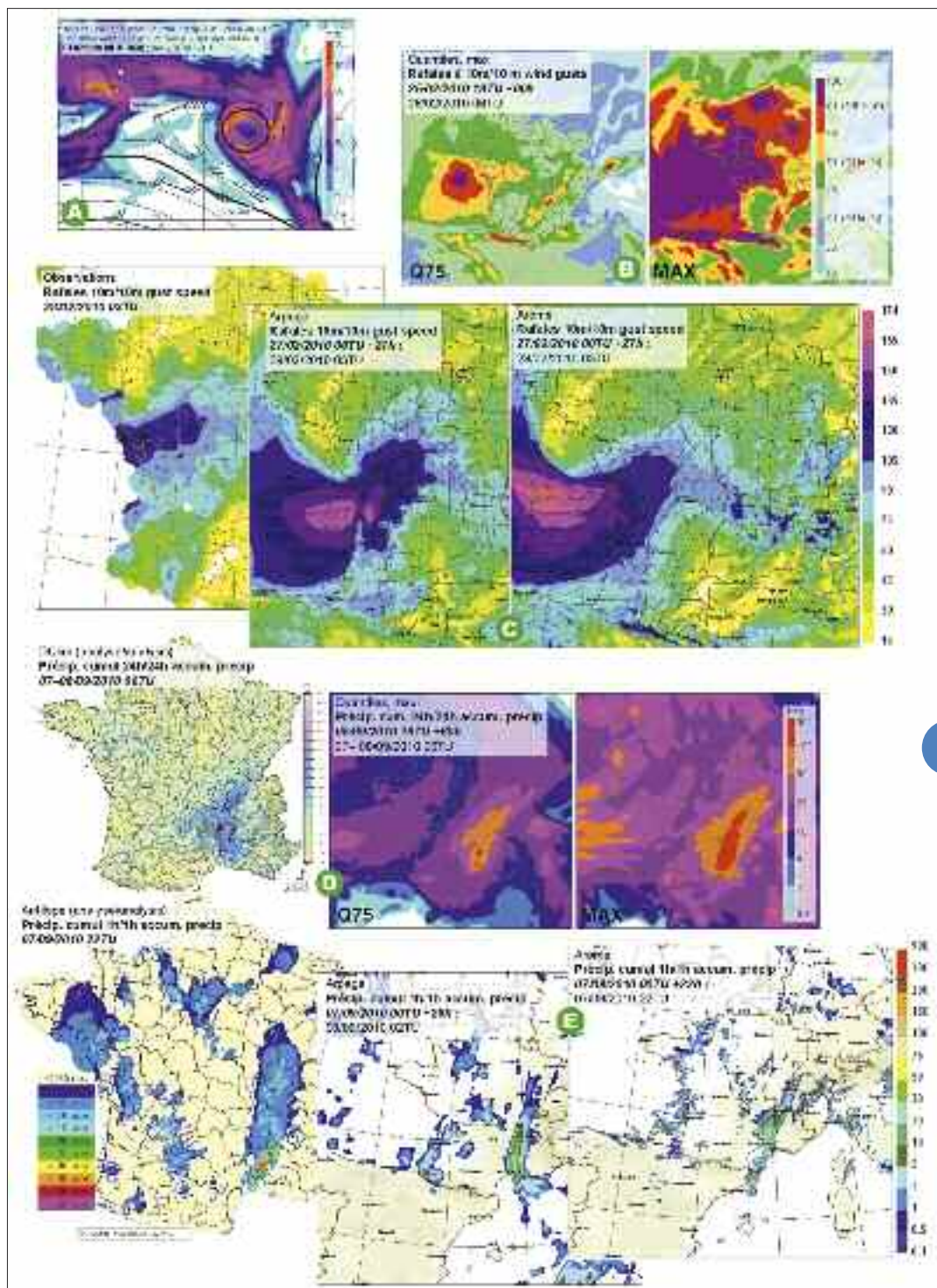
Arome grand domaine situe assez bien cette phase, alors que la prévision de son coupleur Arpege est en retard.

2

en collaboration entre le CNRM et la DSO qui fournit les données après un contrôle de qualité adapté à la prévision numérique.

Comparaison aux pluviomètres de séries temporelles des scores de précipitations suivants : probabilité de détection (POD) en haut et taux de fausse alerte (FAR) en bas, pour les prévisions cumulées de précipitations à courte échéance entre 00 h et 03 h de prévision (des 8 réseaux d'assimilation du jour).

Les scores montrés le sont pour le seuil de pluies de 1 mm/h entre le 11 et le 21 décembre 2008 inclus, pour l'expérience avec assimilation des réflectivités radar en ligne continue noire, pour l'expérience sans assimilation des réflectivités radar en ligne continue verte. La ligne tiretée noire indiquant le nombre d'observations au dessus du seuil des 1 mm/h.



Erreurs d'ébauche du jour pour AROME

Le système d'assimilation AROME-France opérationnel utilise des covariances d'erreur d'ébauche, qui servent à filtrer spatialement l'information observée, et dont la dépendance à la situation météorologique est actuellement négligée. Pour relâcher cette approche statique, des covariances moyennées sur le domaine géographique mais calculées pour chaque jour peuvent être tirées d'une assimilation d'ensemble AROME. Celle-ci est couplée à l'assimilation d'ensemble ARPEGE opérationnelle, basée sur le même principe. Les statistiques obtenues varient selon les phénomènes météorologiques rencontrés. Ainsi, on observe une diminution des

variances d'erreur d'ébauche pour les situations anticycloniques, sauf pour la température et l'humidité dans la basse troposphère où l'incertitude liée à la formation/dissipation des brouillards et nuages bas reste élevée. Par contre, dans une atmosphère instable, ces variances sont plus élevées à cause de l'incertitude liée aux phénomènes convectifs. Les différences de corrélations spatiales sont illustrées par des expériences d'assimilation d'une seule observation (voir figure jointe) : l'incrément d'analyse causé par un même écart entre observation et ébauche sera plus (resp. moins) étendu sur l'horizontale (resp. verticale) en situation anticyclonique comparé à celui obtenu en

situation convective. De même, l'impact sur le champ de vent au dessous de l'observation sera différent : le refroidissement n'aura que très peu d'influence dans le premier cas, mais il entraînera une forte circulation divergente dans le second.

Des études ont montré l'impact positif de l'utilisation de ces covariances du jour sur le comportement du système d'assimilation. Il reste à évaluer l'impact sur la qualité des prévisions qui en sont issues.

3

Estimation et représentation de l'erreur de modèle dans une assimilation d'ensemble

Depuis juillet 2008, une assimilation d'ensemble globale est mise en oeuvre de façon opérationnelle à Météo-France. Cela sert d'une part à estimer des variances d'erreur de prévision qui dépendent de la situation météorologique. Au cours de l'étape d'analyse, cela permet de donner plus de poids aux observations dans les régions liées aux tempêtes par exemple, où les incertitudes sont plus fortes. Cette assimilation d'ensemble sert aussi à initialiser la prévision d'ensemble opérationnelle. L'évolution des perturbations de l'ensemble repose néanmoins sur une hypothèse de modèle parfait, et les variances d'erreur obtenues sont augmentées a posteriori, pour tenir compte de la contribution des erreurs de modèle sur les variances. Des études sont en cours pour estimer et représenter de façon plus précise la contribution des erreurs de modèle à l'évolution des perturbations. La dispersion de l'ensemble est d'une part comparée aux écarts entre prévision et observations, pour en tirer une estimation de l'erreur de modèle. D'autre part, cette information est utilisée pour amplifier les perturbations après chaque étape de prévision. Par rapport à un ensemble basé sur une hypothèse de modèle parfait, le recours à cette inflation conduit à augmenter la dispersion de l'ensemble par un facteur 2.

L'amplification effective des perturbations est particulièrement marquée dans les zones dépressionnaires (voir figure). Par ailleurs, les nouvelles estimations de variance ont un impact positif sur la qualité des prévisions, en plus d'être cohérentes avec les estimations basées sur les observations. Il est donc prévu de rendre cette approche opérationnelle prochainement.

4

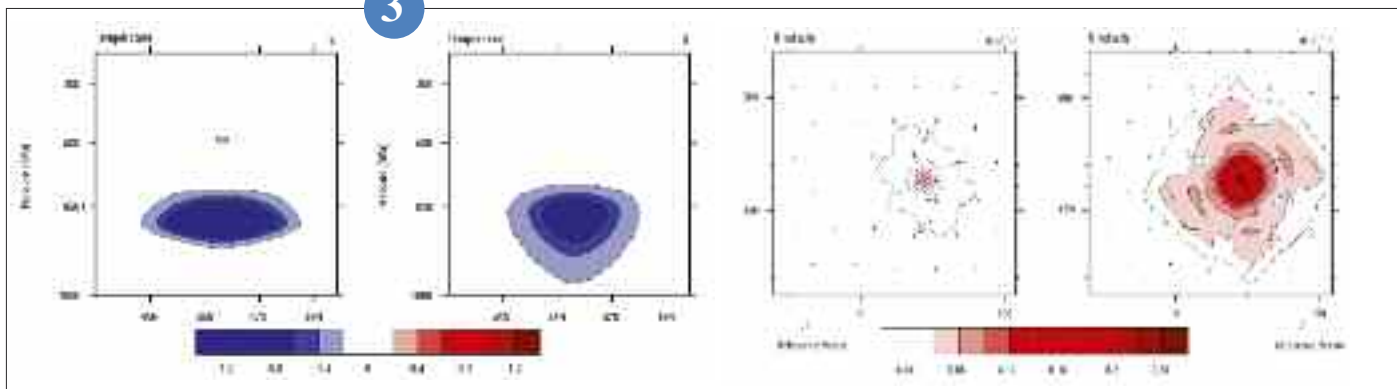
Une analyse de surface pour le modèle AROME

Le modèle de prévision numérique du temps à résolution horizontale de 2,5 km AROME possède un système d'assimilation de données permettant, toutes les 3 heures, de corriger de manière optimale son ébauche de la situation avec des observations météorologiques dédiées, comme les données radar. Ces corrections permettent d'obtenir un meilleur état de l'atmosphère (une analyse) à partir duquel de nouvelles prévisions sont réalisées. Pour de bonnes prévisions à échelle fine, une connaissance de l'état des surfaces continentales est également nécessaire (humidité et température des sols). Ils conditionnent fortement les flux d'eau et d'énergie échangés avec l'atmosphère. Dans sa version actuelle, les variables de surface du modèle AROME sont interpolées depuis les analyses du modèle global ARPEGE. Afin de doter le modèle AROME de sa propre analyse pour les champs de surface, une méthodologie similaire à celle utilisée pour les modèles ARPEGE et ALADIN a été mise en oeuvre. Elle permet de corriger les contenus en eau et les températures des sols à partir de la connaissance des erreurs de prévision

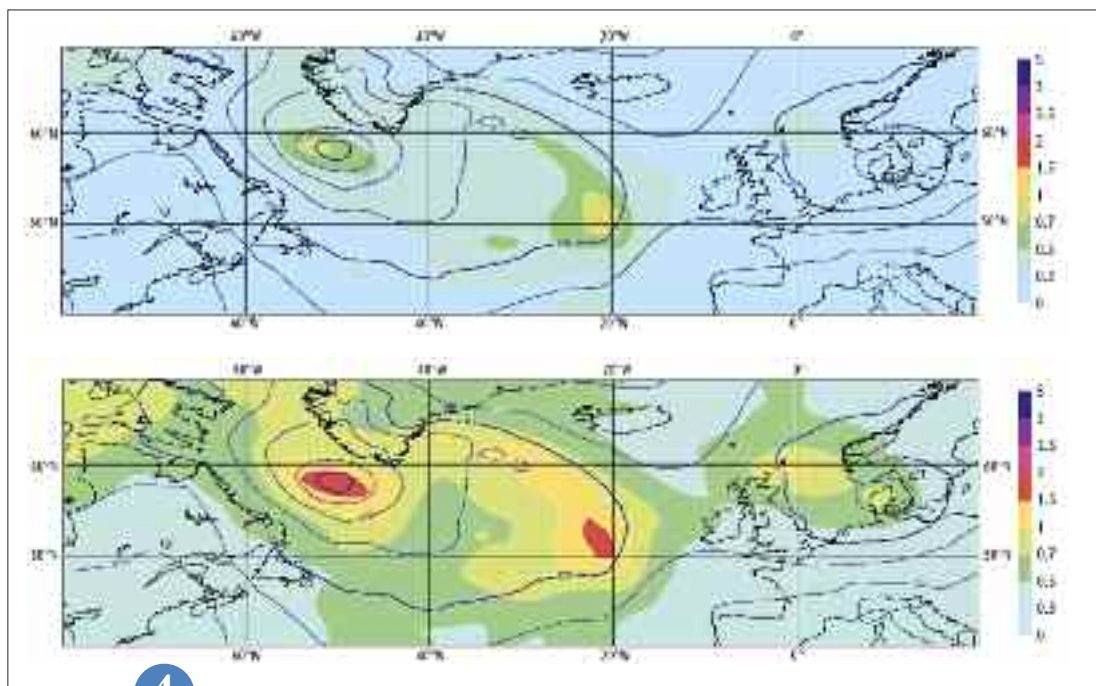
des humidités et des températures atmosphériques sous abri. La figure présente un champ d'indice d'humidité des sols au 1^{er} Octobre 2010 pour le modèle AROME opérationnel (interpolation du modèle ARPEGE) et pour le modèle AROME expérimental (produite par son système d'analyse de surface). Si les régions sèches et humides sont assez cohérentes entre les deux systèmes, l'intérêt de corriger la prévision AROME apparaît clairement puisque de fines structures, notamment au niveau des zones montagneuses, sont mieux résolues. Les prévisions de précipitations du modèle AROME expérimental sont systématiquement de meilleure qualité que celles issues du modèle AROME opérationnel. Ce système d'analyse de surface devrait devenir opérationnel fin 2010. Les travaux futurs porteront sur l'utilisation d'observations plus directement informatives sur les états de surface (précipitations, radiances satellitaires infra-rouge et micro-ondes).

5

3



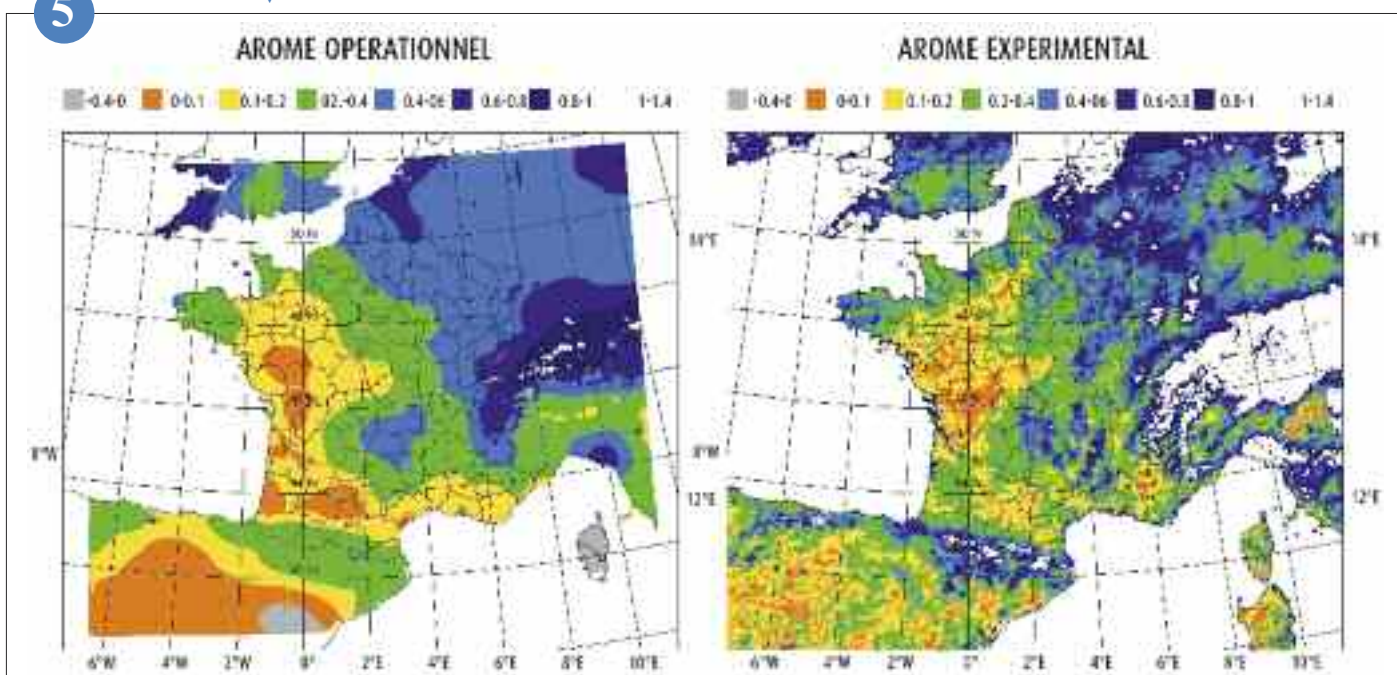
▲
Incrément d'analyse
(différence entre analyse
et ébauche) causé par une même
innovation (écart entre observation
et ébauche) de température
à 850 hPa en utilisant
des covariances d'erreur d'ébauche
calculées respectivement pour
une situation anticyclonique
(gauche) et convective (droite) :
coupe verticale d'incrément
de température (en haut) et coupe
horizontale à 950 hPa d'incrément
de vent (en bas).



4

▲ Amplitude des perturbations de prévision pour la pression de surface (iso-couleurs, en hPa),
issue d'une assimilation d'ensemble (a) basée sur une hypothèse de modèle parfait,
et (b) incluant une représentation de l'erreur de modèle au niveau de l'évolution des perturbations.
Le champ de pression réduite au niveau de la mer est représenté par des isolignes bleues (iso-contours : 10 hPa).

5



Amélioration de la microphysique et de la nébulosité dans Arpege et les Aladin

La représentation des nuages stratiformes, des nuages convectifs peu profonds et des précipitations associées repose dans les modèles Arpege et Aladin sur une évolution pronostique pour l'humidité spécifique de quatre classes d'hydrométéores : l'eau liquide et solide nuageuse, la pluie et la neige. Les processus microphysiques liés aux précipitations tels que l'autoconversion, la collection, la fonte, l'évaporation, la sublimation et la sédimentation sont décrits de manière explicite. La sédimentation est effectuée à l'aide d'un algorithme statistique adapté aux « longs » pas de temps (entre 9 et 30 minutes) tels ceux utilisés pour la prévision opérationnelle du temps avec les modèles Arpege et Aladin.

Cette paramétrisation des processus microphysiques est améliorée pour corriger certains défauts relevés par les prévisionnistes. Une vitesse de sédimentation non plus supposée nulle, mais de l'ordre de quelques centimètres par seconde, est prise en compte pour l'eau nuageuse liquide et solide. Cela diminue de manière réaliste la couverture nuageuse associée aux cirrus et réduit la forte sensibilité de la paramétrisation au seuil d'autoconversion pour la phase solide de l'eau. Ce changement s'accompagne d'une révision de la vitesse de chute de la neige (de 0,6 m/s à 1,5 m/s) et des seuils d'autoconversion ayant un impact légèrement positif sur la simulation des nuages bas de type stratocumulus.

Concernant les perspectives, il est envisagé d'étendre l'utilisation de ce schéma microphysique pronostique aux nuages convectifs profonds et éventuellement de représenter plus précisément certains processus microphysiques liés à la phase solide.

6

Comparaison de produits nuageux dans le spot IASI pour l'assimilation des radiances nuageuses

Les données de IASI sont maintenant assimilées en conditions claires dans beaucoup de centres météorologiques opérationnels, avec un bon impact sur la prévision. Cependant plus de 80 % du globe est couvert de nuages et tous les centres ont commencé à assimiler les données nuageuses des sondeurs. La première étape est une bonne détection et caractérisation des nuages dans le spot, les principaux paramètres utiles étant la hauteur du nuage et sa couverture effective. La validation directe avec la vérité terrain étant difficile, une façon d'estimer les limitations d'une méthode est de réaliser une inter-comparaison des résultats de différentes équipes. Pour cette étude, les centres CMC, CMS, CNRM, ECMWF, JMA, NOAA, UKMO et UNIBAS ont appliqué leur système opérationnel à une acquisition IASI globale sur 12 heures. La figure montre des exemples typiques de comparaisons entre les différents schémas. L'accord est toujours meilleur pour les nuages élevés même avec des couvertures

effectives faibles et pour les systèmes nuageux bas mais opaques et étendus. Pour les nuages bas, en raison de la sensibilité des méthodes aux erreurs de surface, l'accord décroît rapidement avec la couverture nuageuse. Ce problème est partiellement évité en utilisant des mesures AVHRR co-registrées. Les différences entre les résultats sont de l'ordre de 100-150 hPa en écart-type avec des biais inférieurs à 50 hPa et des corrélations proches de 0.9. La présence de multicouches est d'environ 70 % dans cette étude. Dans les cas de mono couches épaisses il n'y a pas de détection incorrecte des nuages quelque soit le modèle et sa caractérisation est toujours améliorée avec des corrélations souvent supérieures à 0.95 d'où l'importance d'assimiler ces données en priorité.

7

Les nouveaux développements en adaptations statistiques

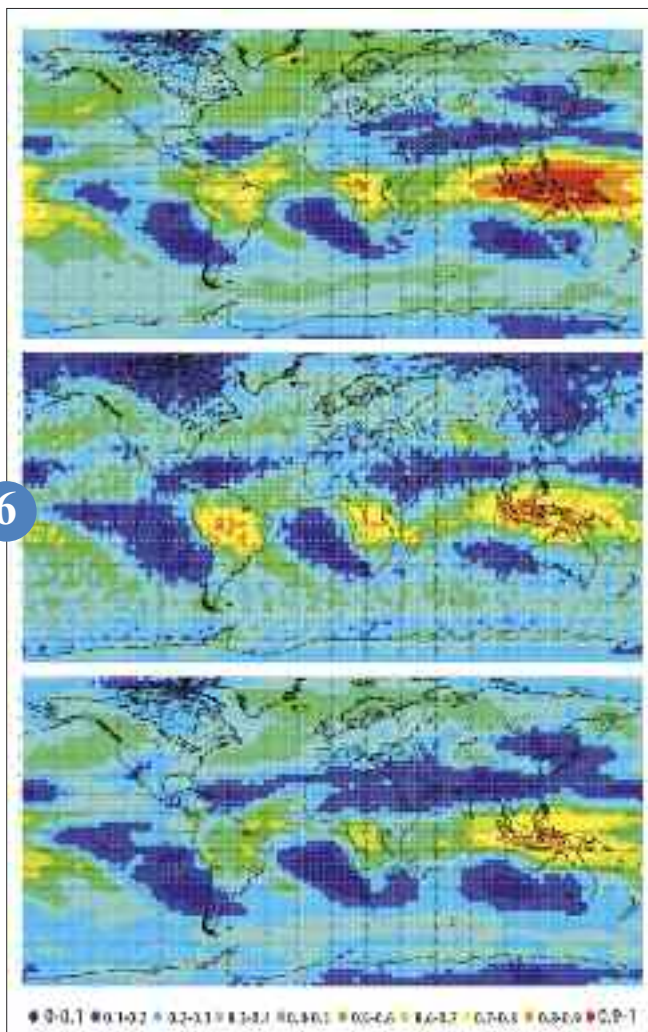
Depuis de nombreuses années, Météo-France produit des prévisions locales par adaptations statistiques (AS) qui se basent sur l'utilisation de modèles statistiques élaborés à partir d'archives d'un prédictand (variable observée localement, que l'on veut prévoir) et de prédicteurs (variables explicatives issues des modèles numériques). Trois axes de travail ont été étudiés cette année :

- La spatialisation : de nouvelles adaptations statistiques utilisant des prédictands spatialisés (champs en points de grille) ont été développées pour la nébulosité (utilisation d'observations satellites), les précipitations (utilisation de l'analyse ANTILOPE) et la force du vent à 10 m (utilisation de l'analyse VARPACK).
- Les prévisions probabilistes : il s'agit de mettre en place la production de prévisions sous forme de distributions. Les lois paramétriques choisies pour cela sont définies à partir de la distribution des observations (normale pour les températures, log-normale pour les précipitations et weibull pour le vent). Les prévisions prennent alors la forme d'espérance, de quantiles ou de probabilités.

8

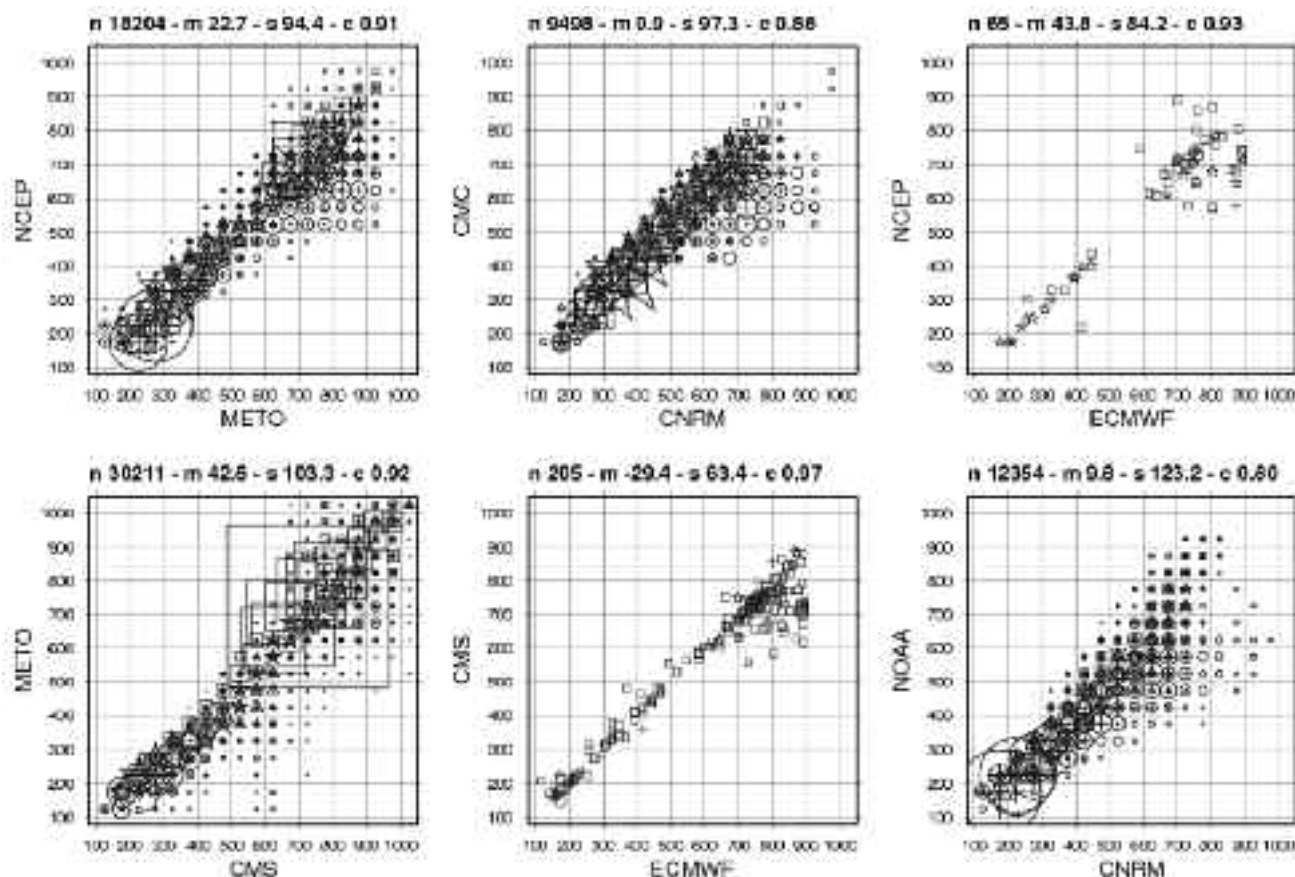
Nébulosité haute simulée
 par le modèle ARPEGE
 moyennée sur la période
 décembre-janvier-février
 2007-2008 avec l'ancienne
 (en haut)
 et la nouvelle (en bas)
 version du schéma
 microphysique comparée
 à la nébulosité haute
 (produit CALIPSO-GOCCP)
 dérivée des observations lidar
 du satellite CALIPSO (au milieu).

6

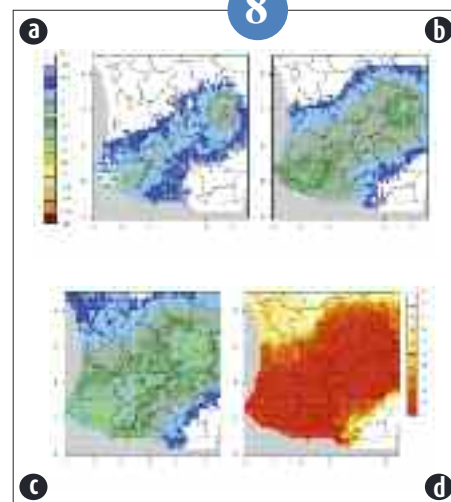


Exemples d'histogrammes
 bi-dimensionnels (scatterplots
 pour ECMWF).
 Les caractères correspondent
 à la couverture effective
 du nuage restitué
 par le modèle
 en abscisse ($0.1 \square 0.3 + 0.5 \Delta$
 $0.7 \star 0.9 \square$).
 La taille des caractères indique
 la distribution
 à l'exception des figures avec
 ECMWF.

7



8



▲ Prévisions probabilistes par AS spatialisées
 de cumul 3 h de précipitations
 (modèle ARPEGE du 12-02-2007 à 00 h) :
 a) Q10,
 b) espérance,
 c) Q90
 et d) probabilité d'occurrence.

Recherche et développements autour du modèle AROME

Évaluation d'AROME sur Xynthia Pyrénées

La tempête Xynthia a abordé la France le 27 février 2010 par les Pyrénées, dans un flux de sud, provoquant des vents tempétueux sur les Pyrénées-Atlantiques, les Hautes-Pyrénées et la Haute-Garonne. Les vents violents se sont manifestés non seulement sur les sommets (238 km/h au Pic du Midi), mais également dans les fonds et les débouchés de vallées, comme à Luchon où l'on a déploré une perte humaine.

Le modèle AROME avait bien prévu le phénomène en terme de localisation et d'intensité de rafales, en simulant une bande de noyaux de vents forts sur le flanc nord des Pyrénées en aval du flux, jusque sur le piémont pyrénéen. Le modèle met clairement en évidence des ondes orographiques piégées (aussi appelées « ondes de sillage », bien visibles sur la (figure a), dont la présence est par ailleurs confirmée par le lidar de Lannemezan. Ces ondes piégées, dont l'énergie se propage verticalement et surtout horizontalement vers l'aval du flux, contribuent à amplifier les vents dans les basses couches (figure b), et sont associées à des processus non hydrostatiques. En effet, la même simulation AROME, mais en version hydrostatique, ne reproduit pas le guide d'ondes piégées (figure c), et les vents sont atténués près du sol en aval du flux (figure d), sous-estimant alors le phénomène de vent fort.

9

Mise en œuvre et évaluation d'une version d'AROME couvrant le nord-ouest de la Méditerranée en préparation d'HyMeX

Dans le cadre de la préparation de la campagne HyMeX, une version du modèle AROME couvrant le nord-ouest de la Méditerranée est mise en œuvre. Ce modèle, appelé AROME_WMED couvre un grand domaine à la résolution spatiale de 2,5 km s'étendant du Portugal à la Sicile et de l'Afrique du Nord aux Alpes. Pour les besoins de la composante assimilation d'AROME_WMED, la matrice des variances-covariances d'erreur de l'ébauche a été recalculée. Le flux de données assimilées est identique, en type d'observations, à celui du modèle AROME (France) opérationnel. Dans le cadre du soutien numérique à la campagne HyMeX, AROME_WMED devrait tourner en opérationnel pendant les Périodes d'Observations Intensives (POIs) prévues à l'automne 2012 et printemps 2013 pour alimenter le centre décisionnel de la campagne HyMeX et guider le déploiement des instru-

ments utilisés spécifiquement pendant ces POIs (avions, ballons plafonnant, etc.). En outre, AROME_WMED devrait permettre de progresser sur des questions telles que l'assimilation de données, les paramétrisations physiques et les études de processus, en mettant l'accent sur la spécificité maritime du domaine.

En juin 2010 un épisode pluvio-orageux particulièrement violent et meurtrier a affecté le département du Var (83) : le 15 juin 2010, un maximum de 397 mm en 24 heures a été relevé dans le centre-est du département (aux Arcs). AROME opérationnel propose un cumul de l'ordre de 100 mm/24 h sur l'est du département, alors que AROME_WMED donne un cumul plus réaliste (205 mm/24 h) mais positionné trop à l'ouest du département.

10

Amélioration des nuages de couche limite dans AROME

L'utilisation quotidienne des prévisions opérationnelles du modèle AROME a montré que, régulièrement, en situations hivernales stables, le modèle ne simule pas de couverture nuageuse malgré une humidité relative importante.

Le schéma statistique de nuages sous-maille considère qu'à l'échelle de la maille du modèle (2,5 km pour AROME) l'humidité n'est pas uniformément répartie et qu'il est alors possible d'avoir du nuage sans qu'il y ait, en moyenne, saturation, à condition que l'hétérogénéité soit assez grande. Cette dernière est représentée par une variance dite sous-maille, fournie par le schéma de turbulence. A cette première contribution s'ajoute une nébulosité fournie par le schéma de convection peu profonde (cumulus, stratocumulus).

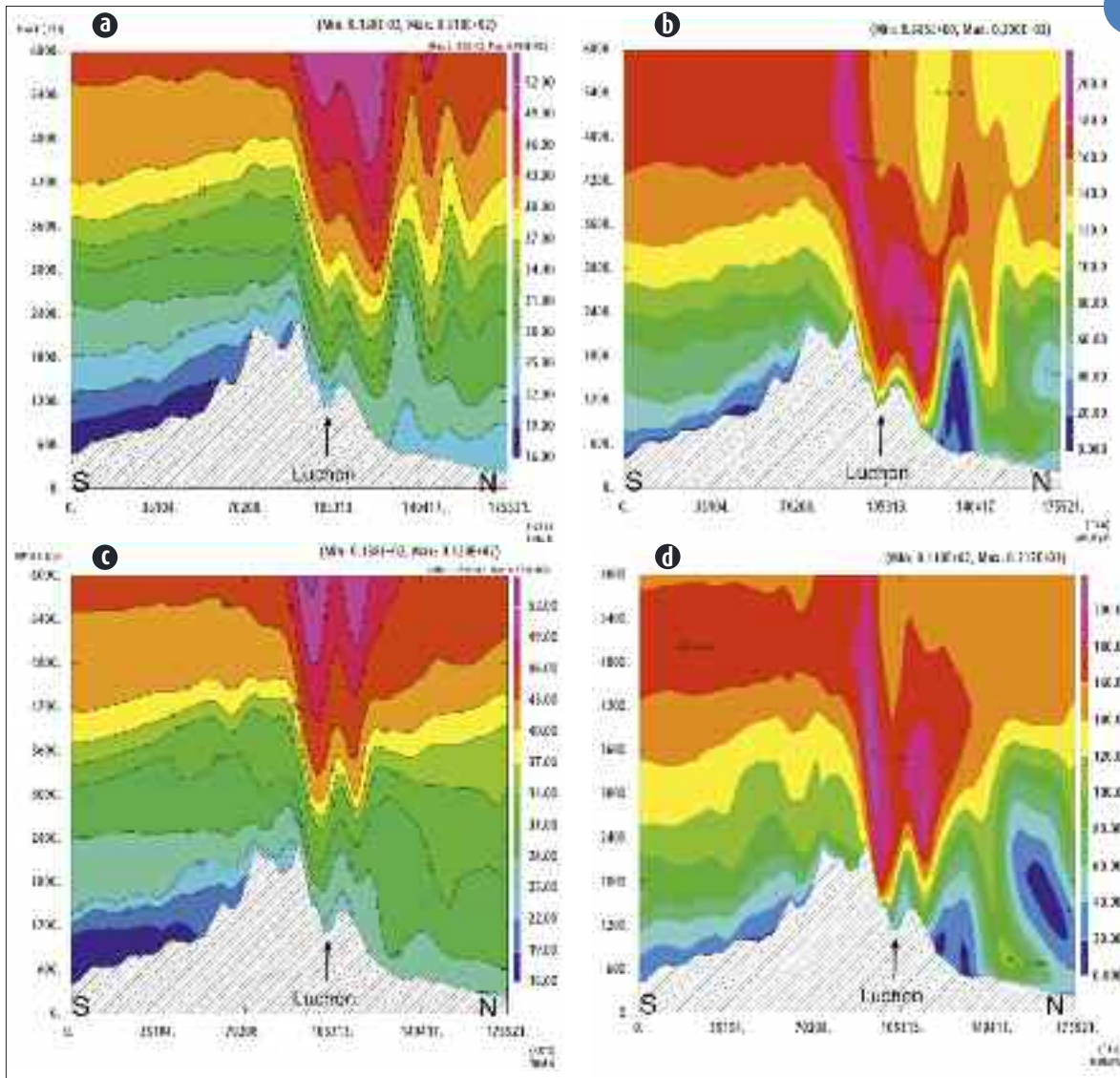
Les défauts constatés dans la prévision indiquent une sous-estimation de la variance sous-maille qui ne tient pas suffisamment compte, actuellement, de la variabilité à méso-échelle. Une première amélioration, aux résultats encourageants (voir figures), consiste donc à ajouter un terme de variabilité permettant de simuler une couverture

nuageuse partielle dans les zones à forte humidité relative (en cohérence avec les travaux en cours au KNMI).

L'amélioration du schéma statistique se poursuivra en introduisant une variance sous-maille dépendante de l'orographie (petits cumulus sur les sommets). Par ailleurs, pour réduire l'aspect trop « binaire » de la nébulosité simulée dans les cas de cumulus et stratocumulus (couverture soit absente soit totale et rarement partielle), une autre formulation de l'entraînement et une nouvelle paramétrisation des nuages seront évaluées dans le schéma de convection peu profonde.

11

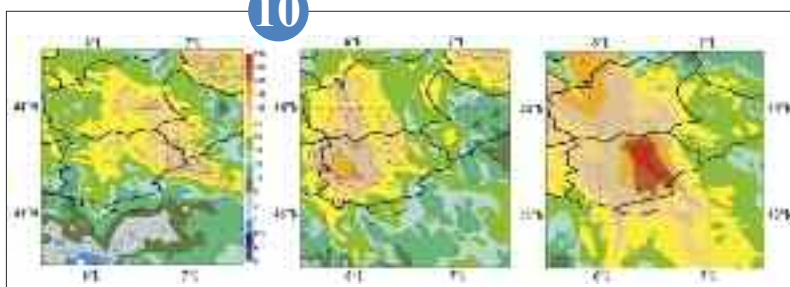
9



◀ Coupes verticales selon un axe Sud-Nord le 27 février 2010 à 21 h UTC :

- a) De la température potentielle simulée par AROME (Non Hydrostatique).
- b) Du module du vent simulée par AROME (Non Hydrostatique).
- c) De la température potentielle simulée par AROME en version Hydrostatique.
- d) Du module du vent simulée par AROME en version Hydrostatique.

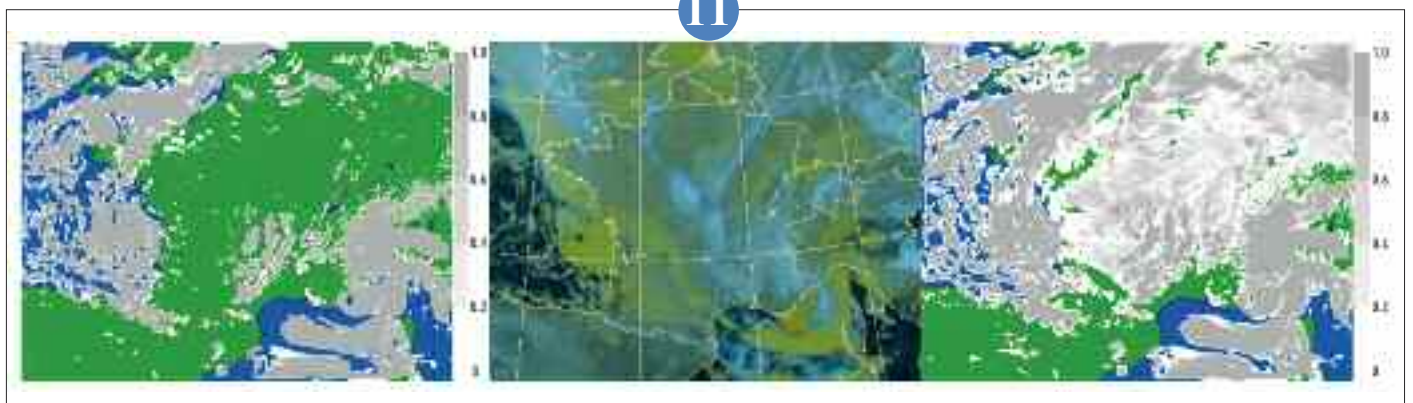
10



▶ Précipitations prévues sur 24 heures sur le Var (du 15-06-2010 06 UTC au 16-06-2010 06 UTC) par AROME (figure de gauche) et AROME_WMED (figure du centre) ; le cumul PANTHERE du radar de Collobrières (Var) sur la figure de droite. Unité : mm/24 h.

Nébulosité basse du 10 janvier 2010 à 06 UTC prévue par AROME opérationnel (à gauche, faible nébulosité en blanc, forte en gris) et par AROME avec le nouveau terme de variance sous-maille (à droite) à comparer à la composition colorée (au milieu, nébulosité basse en jaune).

11



Systèmes d'équations non-pleinement élastiques

En ce qui concerne les équations générales gouvernant l'évolution du fluide atmosphérique, le système des Equations d'Euler (EE), utilisé par exemple dans le modèle AROME, est exempt d'approximation, mais relativement difficile à mettre en œuvre de façon efficace et robuste en PN, du moins dans certaines configurations (très longs pas de temps, ou résolution très élevée en écoulement très chaotique). En coopération avec le CEPMMT, le GMAP examine l'opportunité d'une nouvelle classe de systèmes dits « quasi-élastiques » (QE). Ces systèmes, comme les systèmes hydrostatiques et anélastiques plus anciens, filtrent les ondes élastiques/acoustiques, très difficiles à numériser de façon robuste. En revanche, les systèmes QE restent d'un degré d'exactitude pratiquement comparable à celui du système complet des Equations d'Euler (EE). Nous avons d'abord montré que les systèmes QE pouvaient se décliner de façon naturelle dans cadre de la stratégie générale de nos modèles de PN (coordonnée verticale « masse », schémas temporels semi-implicites semi-lagrangiens...), puis que ces systèmes étaient totalement exempts des faiblesses théoriques imputées aux systèmes hydrostatiques et anélastiques (inadéquation aux grandes échelles ou aux résolutions élevées, forte distorsion dans la structure et la propagation des ondes baroclines et barotropes...). Les systèmes QE sont donc prometteurs d'un point de vue théorique, mais leur pleine applicabilité pratique pour la PN reste à établir, notamment du fait de la présence d'une équation diagnostique pour la pression, similaire à celle des systèmes anélastiques, mais plus complexe à formuler et à résoudre de façon précise. Un premier prototype devrait voir le jour l'année prochaine.

12

Vers une prévision d'ensemble AROME : évaluation sur des événements fortement précipitants en région Méditerranéenne

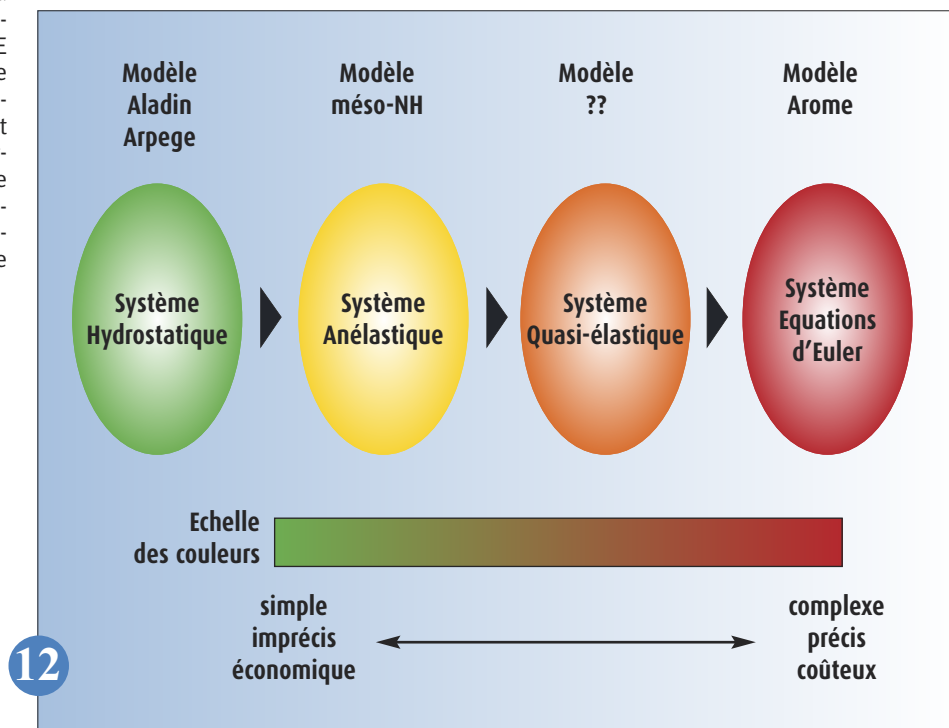
En automne, le Sud-est de la France est régulièrement exposé à des crues-éclair générées par des épisodes de pluie intense. En dépit d'un fort réalisme des prévisions issues des modèles atmosphériques non-hydrostatiques à des résolutions kilométriques, il subsiste des incertitudes dont il est nécessaire d'évaluer l'impact sur la prévision.

Ce travail a pour objectif le développement de méthodes de génération d'ensemble dédiées à partir du modèle AROME pour quantifier la prévisibilité à l'échelle convective. Pour prendre en compte les sources d'incertitudes affectant la prévision, différents ensembles sont réalisés avec AROME. L'incertitude sur les conditions initiales et aux limites d'échelle synoptique est fournie par la prévision d'ensemble grande échelle PEARP de Météo-France (AROME-PEARP). L'erreur sur l'état initial à méso-échelle est représentée à partir d'expériences d'assimilation d'observations perturbées aléatoirement (AROME-PERTOBS). Un autre ensemble combine les deux sources d'incertitudes précédentes (AROME-COMB).

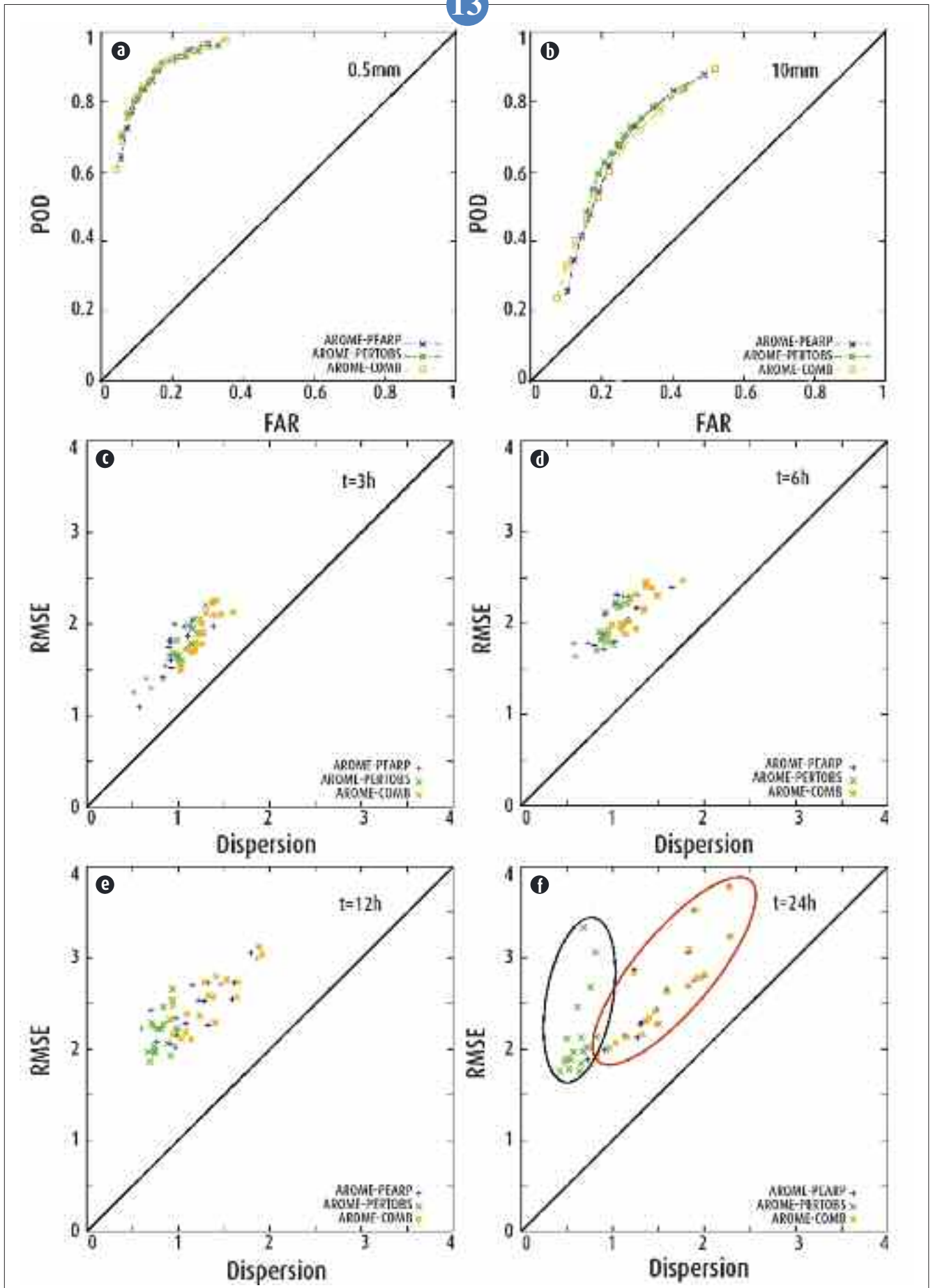
Ces ensembles sont évalués sur une période d'un mois englobant des épisodes précipitants intenses. Les scores probabilistes (ROC) calculés montrent une bonne résolution et une capacité de ces ensembles à séparer l'occurrence et la non-occurrence des événements pluvieux. D'autre part, l'impact des perturbations de méso-échelle sur la prévision est maximal à très courte échéance, alors que l'influence des incertitudes d'échelle synoptique devient sensible au-delà de 12 h.

L'incertitude issue des erreurs du modèle sera également considérée par la suite dans ce travail, qui s'inscrit dans le cadre du projet national MEDUP, financé par l'ANR – Vulnérabilité Climat et Milieux.

13



12



▲ Scores ROC (Relative Operating Characteristics) calculés pour les précipitations cumulées sur 24 h et pour un seuil de : a) pluie-non pluie 0.5 mm et b) 10 mm. Les panels c), d), e) et f) représentent l'erreur quadratique moyenne en fonction de la dispersion moyenne des trois ensembles pour le vent à 925 hPa. La qualité d'un système de prévision se mesure par l'aire sous la courbe ROC, plus l'aire est grande meilleure est la qualité (ou résolution). Chaque symbole représente un jour dans la période.

Prévision cyclonique

Un nouvel algorithme de suivi automatique des cyclones

Depuis une vingtaine d'années, la prévision des cyclones tropicaux par les modèles numériques progresse constamment. Afin d'évaluer et de comparer les prévisions cycloniques par ces modèles, il est nécessaire de pouvoir suivre automatiquement les systèmes dépressionnaires dans les champs prévus successifs.

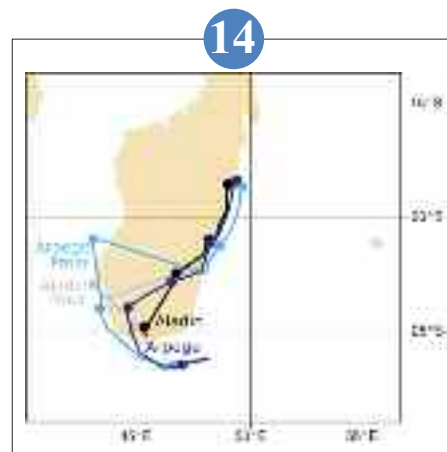
Un premier algorithme, classique, de suivi automatique consiste à rechercher la signature du cyclone dans le champ de pression en surface (réduite au niveau de la mer). Un minimum local de pression est en effet le marqueur le plus simple d'une dépression. Cependant on s'aperçoit que ce type de suivi n'est pas toujours fiable, en particulier lorsque le système se propage sur terre, puisque le champ pression est alors perturbé par le relief.

Un nouvel algorithme, qui consiste à détecter la signature du système dépressionnaire à la fois en altitude (géopotential sur le

niveau isobare 700 hPa) et dans le champ de vent en basses couches (sur le niveau isobare 925 hPa) permet d'améliorer le suivi sur terre et à proximité. La figure ci-joint montre l'apport du nouvel algorithme pour le cas de deux modèles prévoyant la tempête tropicale Jade (2009). De plus, ce suivi améliore sensiblement la détection et les trajectoires prévues des systèmes en début et en fin de vie.

Grâce à ce nouvel algorithme, il sera possible de mettre en place des outils automatiques fiables pour la comparaison des modèles numériques. De plus, certains produits cycloniques, en particulier issus de la prévision d'ensemble, pourront être améliorés.

14



▲ Trajectoires de la tempête tropicale Jade (2009) sur Madagascar prévues par les modèles Arpege et Aladin de Météo-France. Les trajectoires sont calculées soit avec le suivi classique en détection de pression au niveau de la mer (Pmer, Arpege en bleu clair, Aladin en gris) ou avec le nouvel algorithme (Arpege en bleu foncé, Aladin en noir). Les sauts de trajectoire du suivi Pmer vers la côte ouest de Madagascar sont irréalistes.

L'effet du relief de La Réunion sur la trajectoire des cyclones passant à son voisinage

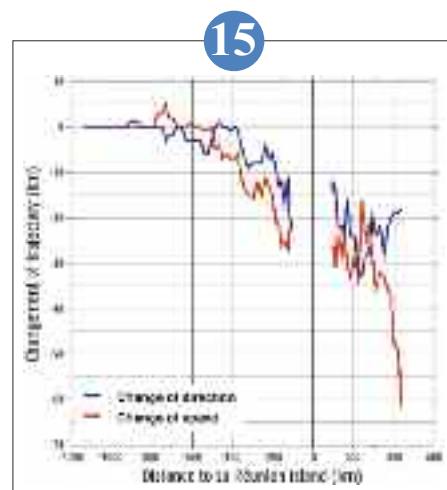
L'île de La Réunion, située dans le Sud-Ouest de l'Océan Indien, est régulièrement frappée par des cyclones ou tempêtes tropicales. En 2002, le cyclone Dina est passé à moins de 50 km de l'île, et y a généré des vents extrêmes, des pluies intenses et de nombreux dégâts. Chaque année, des dépressions moins intenses ou plus lointaines, sont à l'origine de précipitations intenses sur l'île (Diwa en 2006, Gamede en 2007, Gael en 2009). La topographie de La Réunion est caractéristique d'une île volcanique jeune : son diamètre maximale est de 80 km et son relief culmine à plus de 3 000 m. Afin de mieux anticiper les trajectoires de cyclones, l'effet possible de ce relief sur les trajectoires des systèmes tropicaux a été étudié.

La première partie de l'étude a consisté à recenser tous les systèmes passés au voisinage de La Réunion depuis 1981, et à évaluer la déviation de leur trajectoire. Il a ainsi été montré que les trajectoires sont influencées par l'île jusqu'à une distance de 400 km.

L'étude a ensuite été complétée par des simulations numériques idéalisées à haute résolution. Une simulation de l'évolution d'un cyclone sans relief sert de référence. Dans les autres simulations, le relief de La Réunion est placé à des distances variables de la trajectoire de référence. L'effet du relief apparaît alors par différence entre ces trajectoires simulées et la trajectoire de référence. La figure ci-joint montre l'effet significatif du relief sur un cyclone passant à 100 km au sud de l'île. L'étude de la sensibilité des déviations aux paramètres du cyclone permettra de comprendre la nature des effets.

A terme, l'objectif est de proposer un modèle conceptuel de l'effet du relief sur les trajectoires, afin de mieux anticiper les impacts des cyclones sur La Réunion.

15



▲ Différence de position d'un cyclone idéalisé entre une simulation sans relief et une simulation avec le relief de La Réunion situé à 100 km au Nord du cyclone, le long de la trajectoire. L'effet du relief consiste en un ralentissement du cyclone (courbe rouge) et une déviation vers le Sud (courbe bleue), qui se maintiennent voir s'amplifient après le passage au plus près de l'île (point 0 en abscisse).

La recherche au service de l'aéronautique

SESAR

La refonte du système de gestion du trafic aérien que prévoit l'Union Européenne d'ici à 2020 fait l'objet d'un programme communautaire de R&D de grande ampleur, baptisé SESAR (Single European Sky ATM Research). La phase de définition de ce programme a fait apparaître la nécessité de prendre en compte le facteur météorologique, si bien que des axes de R&D météorologiques sont maintenant formalisés dans le « master plan » et le programme de travail 2008-2013.

L'enjeu d'une participation de Météo-France à SESAR est de taille puisqu'il s'agit de faire évoluer le service que nous rendons à la navigation aérienne dans l'espace aérien français mais également dès 2012 dans des blocs d'espaces aériens fonctionnels (FAB) plus étendus. Cette contribution majeure de l'établissement passe par des actions de recherche particulières identifiées.

Météo-France a participé, avec succès, au premier appel d'offres du programme SESAR en s'associant sur plusieurs projets, d'une part avec la DSNA et d'autre part avec THALES. Les projets acceptés portent sur l'observation et la prévision de la convection dans la zone d'approche, les tourbillons de sillage (WP12.2) ou encore la prévision des trajectoires 4D des avions (WP4.7). La contribution du CNRM est majeure avec notamment le développement d'un AROME-aéroport (échelle 500 m) par le GMAP et de nouveaux algorithmes de fusion de données par GMEI.

Un nouvel appel d'offres SESAR comportant un volet spécifique sur la météorologie (WP11.2) a été émis en juillet 2010. Un consortium « EUMETNET » composé de 11 services météorologiques européens, de Belgocontrol, d'Austrocontrol, du DLR, du NLR et de Thalès a été formé pour y répondre. Le CNRM, aux côtés des autres services de l'établissement (DSO, DSI, DPrévi) a participé à la construction de la réponse durant toute l'année. La contribution de Météo-France est surtout centrée sur la réalisation du "4D-weather-cube" qui sera portée par la DSI mais également sur la « sub-task » "TMA & En-route 4D-grid" avec la contribution du CNRM/GMEI.

Étude des rafales à l'aéroport de Roissy-Charles de Gaulle : simulations numériques et hydrauliques

Le trafic aérien à Roissy peut être paralysé pour de longues heures en cas d'alerte vent fort. Pour des vitesses excédant 100 km/h, l'utilisation des passerelles est en effet interdite. Comme les points de mesure de référence sont proches des pistes, il est possible que des zones abritées par les aérogares puissent accueillir des mouvements de passagers en sécurité. Pour améliorer le service rendu à l'aéronautique, Météo-France a donc lancé une étude multi-support pour décrire finement le vent sur l'aéroport. Simulation numérique et simulation hydraulique sont alliées à des mesures de terrain pour obtenir une représentation la plus fiable et précise possible des rafales sur la plate-forme, au plus près des passerelles passagers.

Les maquettes disposées dans la grande veine hydraulique du CNRM-GAME permettent de déduire des mouvements de l'eau, et par similitude, l'écoulement atmosphérique local. La rotation de la maquette permet de varier la direction du vent simulé. Une fois l'écoulement général connu, une maquette à échelle plus fine incluant des avions à l'échelle permet d'explorer plus précisément le vent tout près des passerelles.

Un projet de recherche a été associé à cette étude pour profiter de cette occasion, rare, de disposer simultanément de simulations numériques, de laboratoire et de mesures de terrain sur une couche limite atmosphérique réaliste. Des techniques innovantes de filtrage non-linéaire seront utilisées, pour

caractériser les échelles temporelles et spatiales du vent sur l'aéroport. La base de données constituée sera une référence inédite pour comparer avantages et limitations des simulations hydraulique et numérique au XXI^e siècle.

1

Fabrication de la maquette de grande échelle à l'atelier du CNRM-GAME (gauche, 2), visualisation du champ de vitesse à échelle fine (en veine sur la voie surélevée d'un TGV) (centre), mesure de vitesse d'écoulement sur une maquette étendue (viaduc de Verrières, vallée du Tarn) (droite).



1

Étude des rafales à l'aéroport de Roissy-Charles de Gaulle : mesures in situ

La mise en œuvre de simulations physique et numérique des écoulements de l'air autour des infrastructures d'accès aux avions sur l'aéroport de Roissy-Charles de Gaulle sera validée par des mesures in situ. En collaboration avec Aéroports De Paris, le CNRM a mis en place en juillet 2010 six points de mesures de vent pour constituer un jeu de données de validation. Les mesures sont réalisées avec des anémomètres à ultrasons permettant l'estimation de la turbulence et de la composante verticale du vent. Les points de mesures ont été positionnés sur les toits des passerelles mobiles d'accès aux avions ou à proximité immédiate sur des supports fixes. Dans le premier cas, les capteurs sont équipés de mesures d'angle et de positionnement GPS pour permettre la localisation précise de la mesure et la correction des mesures de vent en fonction de la position de

la passerelle. Les données mesurées au pas minute sont transmises une fois par jour au CNRM. Ces mesures seront systématiquement comparées aux mesures de vent opérationnelles réalisées sur 4 seuils de piste et qui ne sont pas perturbées par les infrastructures. Des mesures plus fines au pas seconde peuvent être réalisées sur demande, notamment pendant les épisodes de vent fort. Ces mesures fines permettront de valider la description de la turbulence réalisée par les deux méthodes de simulation mises en œuvre. Les capteurs sont en place pour une année, avec l'espoir d'échantillonner plusieurs situations de vent fort.

2

Mosaïque nationale de cisaillement de vent en basses couches dans les zones de précipitations à partir des radars Doppler

La capacité de détecter et de quantifier à haute résolution spatio-temporelle ($5' - 1 \text{ km}^2$) les cisaillements de vent en basses couches intéresse les services à Météo-France en charge de la prévision aéronautique, de la prévision immédiate et de l'évaluation des modèles de prévision numérique. Les cisaillements de vent sont associés à de nombreux phénomènes météorologiques à fort impact : fronts de rafale sous orage, zones de convergence (qui conditionnent l'intensification de la convection), zones de mésocyclones (pouvant donner lieu à des tornades, comme à Hautmont en 2008). Pour avoir une information spatialisée de cisaillement de vent dans les basses couches, on utilise les données de vitesse radiale provenant du réseau ARAMIS. Un travail amont est en cours pour améliorer la qualité des mesures Doppler. L'algorithme de calcul du cisaillement cherche, pour chaque pixel de la mosaïque finale, le gradient maximum de vitesse radiale dans toutes les directions (sur un plan horizontal) pour les différents niveaux d'altitude disponibles entre 0 et 1 500 m de hauteur au-dessus du sol et retient la valeur maximum.

3

Mobilisation des avions de recherche lors de l'éruption du volcan islandais Eyjafjöll

Le 20 mars 2010, le volcan islandais Eyjafjöll est entré en éruption. Les cendres volcaniques expulsées ont imposé la fermeture de nombreux espaces aériens en Europe.

Face à un phénomène mal connu et de grande ampleur, les avions de recherche de Météo-France et du CNRS-INSU, opérés par l'unité mixte SAFIRE, ont été mobilisés dans l'urgence pour réaliser des missions d'observation.

Une première configuration d'instruments de mesure aéroportés a été mise en œuvre :

- un lidar proposé par le Laboratoire des Sciences du Climat et l'Environnement, pour la télédétection des nuages de cendres,
- quatre capteurs mesurant la dimension et la concentration des particules sur une large gamme de taille allant de $0,1 \mu\text{m}$ à $300 \mu\text{m}$.

Cette configuration a ensuite été complétée par une veine de prélèvement avec analyseurs physico-chimiques (analyse des filtres effectuée par l'INERIS et l'Institut de Physique du Globe de Paris), ainsi que par des radiomètres du Laboratoire d'Optique Atmosphérique).

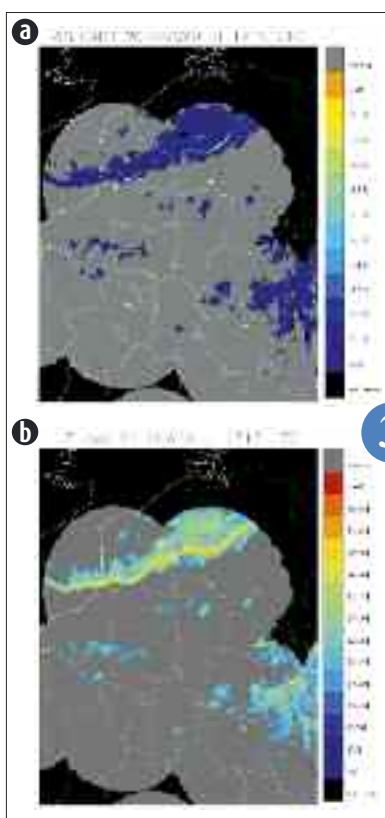
Ainsi, les avions de recherche ATR 42 et Falcon 20 ont réalisé près de 50 heures de vols de mesure des cendres volcaniques, en coopération avec plusieurs laboratoires spécialisés dans les sciences de l'Environnement. Ces vols ont permis d'apporter des informations cruciales pour permettre les décisions de réouverture des espaces aériens pour les avions de ligne.

4



2

▲ Anémomètre installé sur une passerelle mobile au terminal 2F.



3

◀ a) Cisaillement horizontal de vent maximum entre 0 et 1 500 m de hauteur au-dessus du sol (en m/s/km), estimé dans les zones de précipitations, à partir des données Doppler des radars du réseau ARAMIS. Zoom sur le Nord de la France, le 29-08-2010 à 1715 UTC.
b) Composite de réflectivité radar (dBZ) : valeur maximum entre 0 et 1 500 m de hauteur au-dessus du sol. Zoom sur le Nord de la France, le 29-08-2010 à 1715 UTC.

Le Lidar Léosphere à bord du Falcon 20.
Ce Lidar permet de détecter à distance les couches d'aérosols (et donc de cendres). ▶



4

Étude des phénomènes météorologiques

Les activités de recherche sur la compréhension et la modélisation des phénomènes et processus de mesoéchelle ont pour finalité l'amélioration de leurs représentations dans les modèles de prévision numérique du temps et du climat de Météo-France. Dans cette perspective, plusieurs avancées significatives ont eu lieu en 2010 : dans le domaine de la modélisation de la surface, le modèle SURFEX s'est enrichi d'une base de données sur les lacs, d'une représentation améliorée de la neige et de son transport et d'une représentation de l'effet de la végétation dans les villes ; dans le domaine de la représentation des nuages de couche limite sous-maille, une nouvelle paramétrisation de la distribution statistique de la variabilité sous-maille des variables thermodynamiques bâtie à partir de LES a été proposée. Dans le domaine cognitif, l'exploitation des données de la campagne terrain d'AMMA en 2006 s'est poursuivie, avec des résultats importants acquis en terme d'identification et de compréhension des interactions et connections à grande échelle influençant la variabilité intra-saisonnière de la mousson en Afrique de l'Ouest, ou encore sur l'impact des hétérogénéités de surface sur la couche limite atmosphérique. La préparation de la future campagne d'observations HyMeX a marqué pour sa part une étape importante avec la publication de son plan scientifique international et la réalisation d'études pour la définition des stratégies d'observations à déployer pendant les futures périodes d'observations intensives. Les expériences SMOSREX, SMOSMANIA et CAROLS ont été poursuivies en 2010 dans le cadre de la CAL/VAL du satellite SMOS lancé fin 2009, avec en particulier des mesures d'humidité des sols réalisées dans le sud-ouest de la France sous les traces du radiomètre CAROLS embarqué sur l'ATR 42 de SAFIRE.

1

BAMED/HyMeX : détermination des sites de lâcher des ballons du CNES pour la Méditerranée occidentale

Le projet BAMED prépare les ballons de couche limite qui seront déployés durant les périodes d'observation spéciale (SOP) de HyMeX. Le LMD et le CNRM sont partenaires de ce projet.

Deux types de ballons sont en préparation au CNES.

Les BPCL sont des ballons libres et pressurisés qui dérivent selon une trajectoire lagrangienne. Ils collecteront et transmettront en temps réel des mesures de température, humidité, pression et vent, le long de leur trajectoire au-dessus de la mer, vers 900 hPa. Ils seront lâchés en amont des épisodes de précipitations intenses (cévenols)

sur la France durant les SOP d'automne. Les études préalables ont désigné l'île de Minorque comme le meilleur site de lâcher. Les Aéroclippers sont des ballons captifs d'une nacelle marine qu'ils tractent par leur prise au vent. Ces plates-formes collecteront des données permettant de déduire des flux à la surface de la mer. Ils seront vraisemblablement lâchés depuis les côtes françaises sur des épisodes de vents locaux forts durant les SOP de printemps. En effet, mistral et tramontane sont fortement liés au phénomène de convection océanique dans le Golfe du Lion. La détermination des sites de lâchers dans le Golfe se poursuit au CNRM.

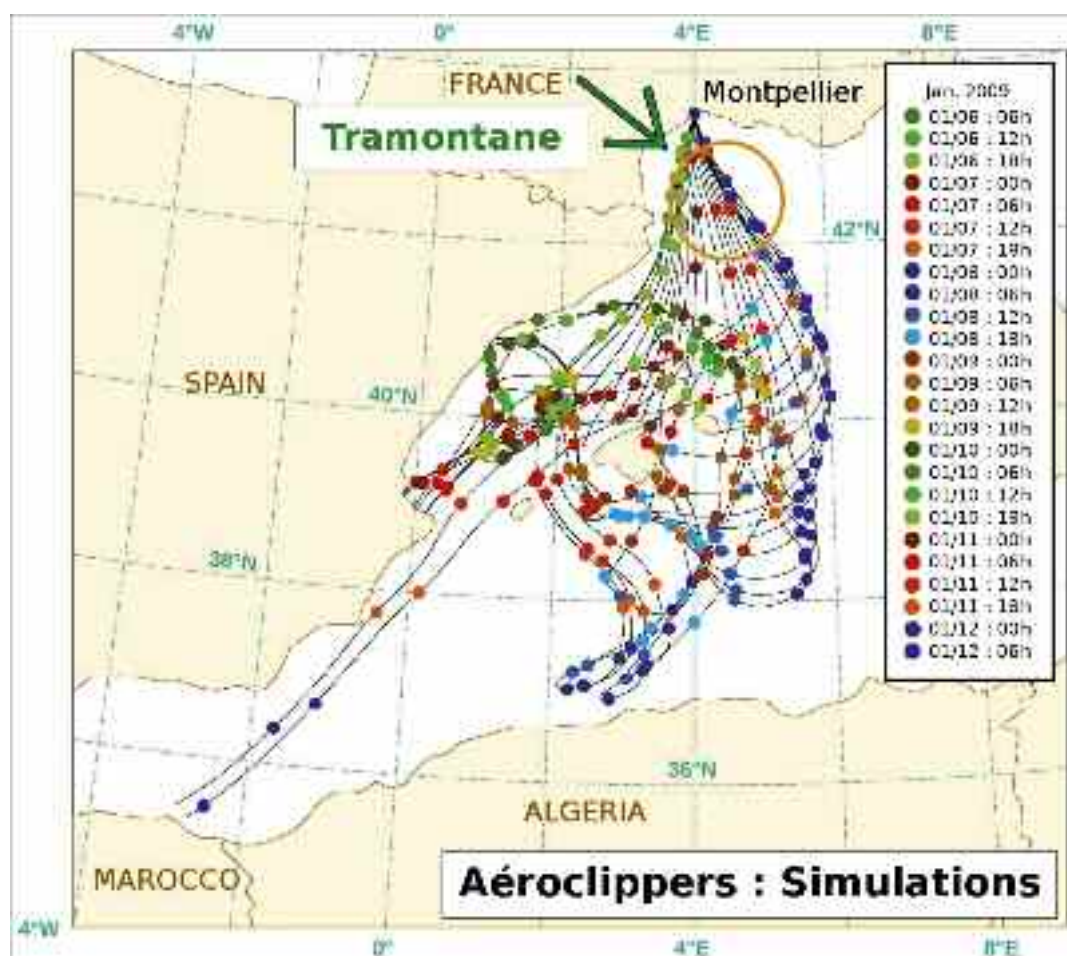
Pour les déploiements, il faudra anticiper la préparation et le lâcher des BPCL et Aéroclipper. Pour cela on utilisera des produits d'aide à la décision issus d'outils pour l'observation adaptative. Ainsi la valeur des données collectées pour les modèles numériques de prévision du temps devrait être maximale.

2

1



◀ Campagne CAROLS 2009-2010 :
Caractérisation de l'hétérogénéité d'un pixel SMOS (cercle bleu),
sous le passage de l'ATR 42 (tracés rouges) équipé d'un instrument
similaire à SMOS, par la réalisation de mesures d'humidité des sols
(exemple de capteurs en bas à droite) sur 3 zones (rectangles jaunes)
de cultures différentes : zone agricole de coteaux,
forêt de Lahage, zone agricole de plaine, de gauche à droite.



2

▲ Simulations de trajectoires d'Aéroclipper depuis un site côtier près de Montpellier durant un épisode de Tramontane du au 07 janvier 2009. On a simulé le lâcher de 25 Aéroclippers (un toutes les 2 heures). Ici, les trajectoires sont simulées avec des analyses du CEPMMT, mais on utilise(ra) aussi des simulations de trajectoire à échelle fine avec Mésos-NH (AROME). Les trajectoires des Aéroclippers sont interrompues lorsque le dispositif atteint une côte. La région d'intérêt pour la convection marine (cerclée en orange) est très bien échantillonnée sur ce cas.

Influence des incertitudes dans la prévision d'un réseau d'observations adaptatives

L'observation adaptative vise à améliorer la qualité des prévisions numériques du temps en prévoyant des ajustements des réseaux d'observation. Le but est de prévoir quel ajustement réduira le plus l'incertitude sur les prévisions. En pratique, il s'agit de tenir compte des incertitudes connues au moment de faire les calculs et de les projeter vers le futur. Bien qu'identifiées, certaines sources d'incertitude sont particulièrement difficiles à modéliser et ce d'autant plus que le système numérique est compliqué.

L'utilisation d'un modèle météorologique simple mais assorti d'une assimilation et d'une prévision d'ensemble pour en connaître les incertitudes a permis d'étudier d'une manière nouvelle la prévision d'un ajustement du réseau d'observation. L'élément nouveau est l'approche ensembliste, donc probabiliste, plutôt que déterministe utilisée de façon plus franche qu'en se limitant aux

éléments d'incertitude contenus dans les variances d'erreur de l'assimilation. Il a été montré que cette approche ensembliste produit de meilleurs résultats en moyenne que l'approche déterministe et que la pertinence des incertitudes sur l'état du modèle au moment d'ajuster les observations est déterminante.

Bien qu'obtenus dans un système simple (motivé par un coût de calcul trop important dans un système plus complexe), ces résultats permettront aux techniques pour l'observation adaptative d'évoluer vers une plus grande efficacité.

3

Initiation de convection profonde et hétérogénéités de surface

Sur les continents, la convection se développe fréquemment au cours de la journée. Cependant, les facteurs responsables des initiations et non-initiations de convection sont mal cernés. Afin de mieux comprendre la nature des couplages entre processus atmosphériques et de surface mis en jeu dans ce phénomène, une analyse statistique conjointe de produits satellite documentant les propriétés de surface et le déclenchement de convection au Sahel a été réalisée en collaboration avec le CEH (CM Taylor et collègues) dans le cadre du projet AMMA.

La figure illustre les résultats obtenus pour la mousson de 2006, à partir des estimations de température de surface Land-SAF, d'humidité du sol superficiel AMSR-E, de l'algorithme de suivi de systèmes convectifs ISIS et d'analyses météorologiques. A une échelle de 100 km x 100 km, ces résultats soulignent un couplage entre humidité du sol et altitude de base des nuages, mais sans relation évidente avec la CAPE (graphe du haut, a). En revanche, le déclenchement de convection profonde est sensible aux anomalies d'humidité du sol et de température de surface ; il est plus fréquent au dessus des surfaces chaudes et sèches (graphe du bas, b). A plus fine échelle, les gradients de température de surface apparaissent également importants. Une modélisation fiable des déclenchements de convection repose donc sur la représentation des interactions entre processus de surface et de couche limite se développant à des échelles de la dizaine à la centaine de kilomètres.

4

Sonder la couche limite atmosphérique stable dans une veine hydraulique stratifiée

La compréhension des mécanismes qui pilotent les couches limites atmosphériques stables (CLAS) est un défi de longue date en météorologie. En dépit des études antérieures, aussi bien à l'aide de modélisation numérique que de mesures in situ, il n'existe toujours pas de paramétrisation satisfaisante des CLAS. Cela se traduit par de relativement moins bonnes performances des modèles de prévisions du temps et du climat la nuit et l'hiver. Ce défi est aussi en relation étroite avec d'autres enjeux environnementaux et de société tels que la prévision du brouillard et de la qualité de l'air, ou encore la maîtrise de l'énergie éolienne.

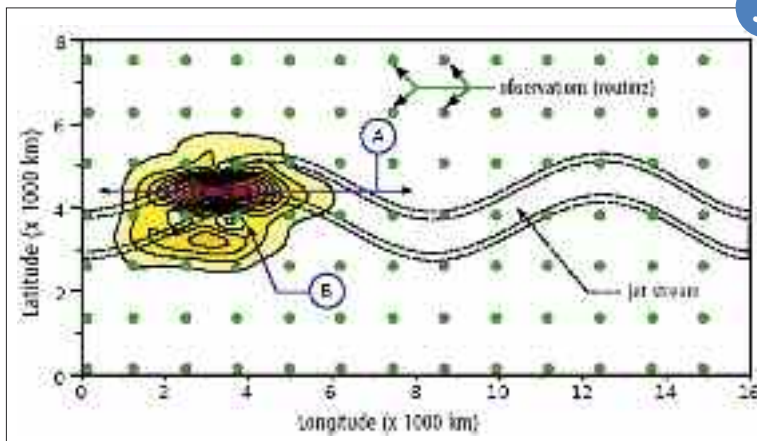
Si les premières expériences de laboratoire sur les couches limites stratifiées ont eu lieu il y a plus de 40 ans, les progrès rapides de la modélisation numérique dans les années 80 et 90 ont quelque peu fait de l'ombre à cette approche. Mais depuis le début des années 2000, les besoins croissants de la modélisation numérique pour les données issues d'expériences de laboratoire ont relancé cet outil. La veine hydraulique du CNRM-GAME est une

infrastructure quasi-unique spécialement conçue pour reproduire des écoulements similaires à ceux de l'atmosphère, et cela dans des conditions parfaitement contrôlées. Elle permet d'obtenir des jeux de données précis et riches qui complètent très bien les mesures in situ limitées par leur dispersion et le manque de contrôle des conditions.

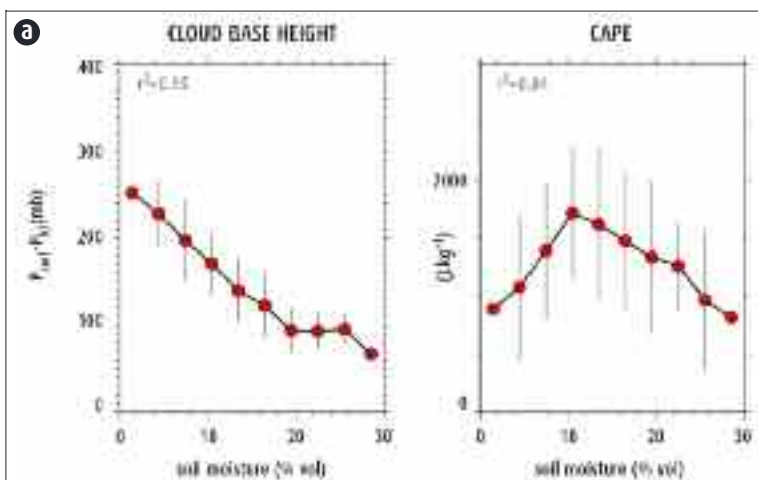
Des expériences y ont été conduites récemment en collaboration avec D. Dobrovolschi (service météorologique roumain et G.-J. Steeneveld (université de Wageningen). Une couche limite bien développée a été observée, et les résultats devraient apporter de nouvelles clefs pour la compréhension des CLAS.

5

3

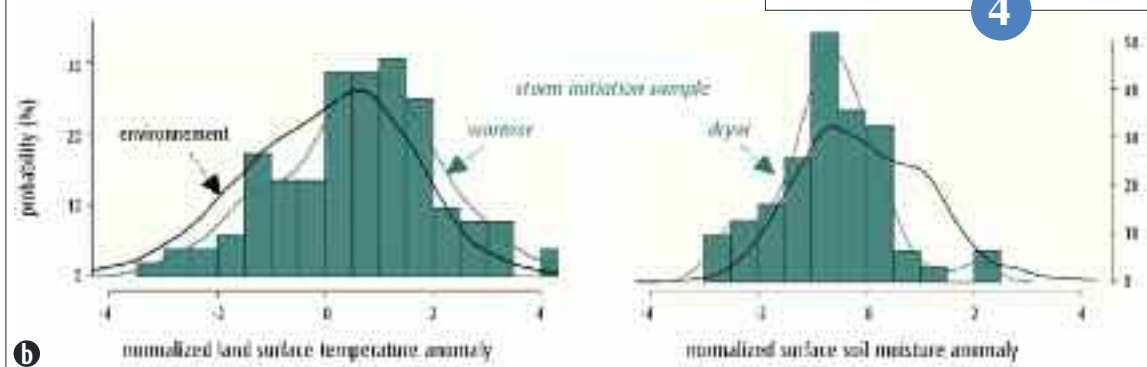


► Moyenne sur l'ensemble du champ de sensibilité tenant compte de l'incertitude liée à l'assimilation des observations de routine (pointée en vert). Ce champ montre « où » une observation supplémentaire réduira le plus l'incertitude des prévisions. Ce champ est compact (extension géographique réduite), mais néanmoins localement modifié par la présence des observations de routine. On fait l'hypothèse qu'elles seront présentes dans le futur au moment où le réseau d'observation sera ajusté. En l'occurrence, l'ajustement consiste ici en l'ajout d'une observation. Les fortes amplitudes du champ montrent où il est prévu que l'ajout de cette observation améliore le plus la prévision, en moyenne et sur l'ensemble. Les pointillés mettent en évidence la région de vent fort qui tient lieu de courant jet (ondulant) dans le modèle simple. Les axes horizontaux et verticaux représentent l'extension en longitude et latitude du domaine du modèle. L'axe noté « A » met en évidence un axe de fortes valeurs liées à de fortes variances dans les analyses. Au contraire, la mention « B » montre une zone de faibles amplitudes, car bien observée en routine.



► a) altitude du niveau de condensation et CAPE en fonction de l'humidité du sol.

b) distribution des anomalies de température de surface et d'humidité du sol aux points d'initiation de convection (en bleu) et dans l'environnement (en noir).

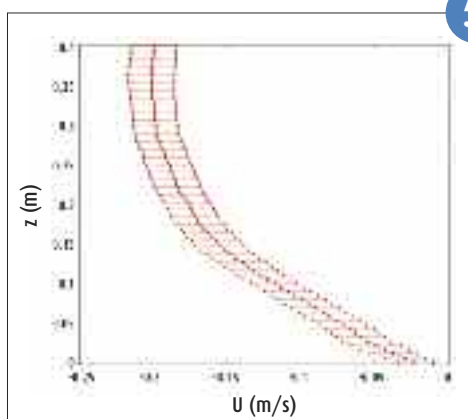


4

Configuration expérimentale de la veine hydraulique stratifiée du CNRM-GAME utilisée pour un projet de recherche récent relatif à la couche limite atmosphérique stable. Un laser pulsé illumine un plan vertical pour des mesures précises de vitesse, pendant que 7 sondes de conductivité enregistrent en même temps des profils verticaux de densité.

5

► Profil de vitesse horizontale moyenne pour une expérience à la vitesse de 21,2cm/s.



Paramètres de surface

Mesure de l'humidité du sol par les stations météorologiques : exemple d'application pour la validation des modèles opérationnels

L'humidité du sol est une variable clé pour le suivi des surfaces continentales, qui contrôle les processus hydrologiques (drainage, évaporation du sol et transpiration de la végétation), et la croissance et le puits de carbone de la végétation. A Météo-France, des simulations de l'humidité superficielle du sol (HSS) sont fournies par le système SIM (SAFRAN, ISBA, MODCOU), qui est utilisé depuis 2003 pour le suivi en temps réel des ressources en eau sur la France (avec une résolution de 8x8 km). Des produits opérationnels d'humidité du sol sont fournis également par les services de prévision numérique du temps à Météo-France et au CEPMMT, avec les modèles ALADIN et IFS, respectivement. Les produits d'humidité du sol dérivés des modèles ou de données satellitaires peuvent être validés à l'aide de mesures in situ. Le réseau SMOSMANIA est un effort d'acquisition à long terme de profils d'humidité du sol dans le sud de la France. Dans ce cadre, 12 stations météorologiques automatiques du réseau RADOME de Météo-France fournissent des observations de l'humidité du sol depuis janvier 2007. Les valeurs de HSS mesurées in situ à 5 cm permettent d'évaluer le HSS simulé par SIM, ALADIN et l'IFS, et aussi les estimations de HSS dérivées d'observations satellitaires à basse résolution (25 km) du diffusiomètre en bande C ASCAT, sur METOP, distribuées par EUMETSAT. Les estimations de HSS du CEPMMT sont mieux corrélées avec les mesures in situ que les produits de Météo-France. Cela est lié à une description plus détaillée du profil d'humidité du sol dans le modèle multi-couches utilisé au CEPMMT. En revanche, le HSS dérivé de SIM correspond à une fine couche de sol en surface et présente de bonnes corrélations avec le HSS ASCAT pour les tout premiers centimètres du sol.

6

Cartographie de l'occupation des sols et des paramètres biophysiques à l'échelle du continent Africain : le programme ECOCLIMAP-II

Le programme d'ECOCLIMAP inclut une carte d'occupation des sols et une base de données de paramètres de surface qui sont déduits de cette classification via des tables de correspondance.

Une nouvelle classification de la végétation pour des écosystèmes fonctionnellement homogènes a été réalisée pour l'Afrique dans le cadre de la thèse de doctorat d'Armel Kaptué. On a considéré une approche hybride par nuées dynamiques afin de réactualiser la classification à 1 km des écosystèmes africains à partir d'une analyse de 8 ans (2000 à 2007) de données NDVI SPOT/VEGETATION (l'Indice de Végétation de la Différence Normalisée).

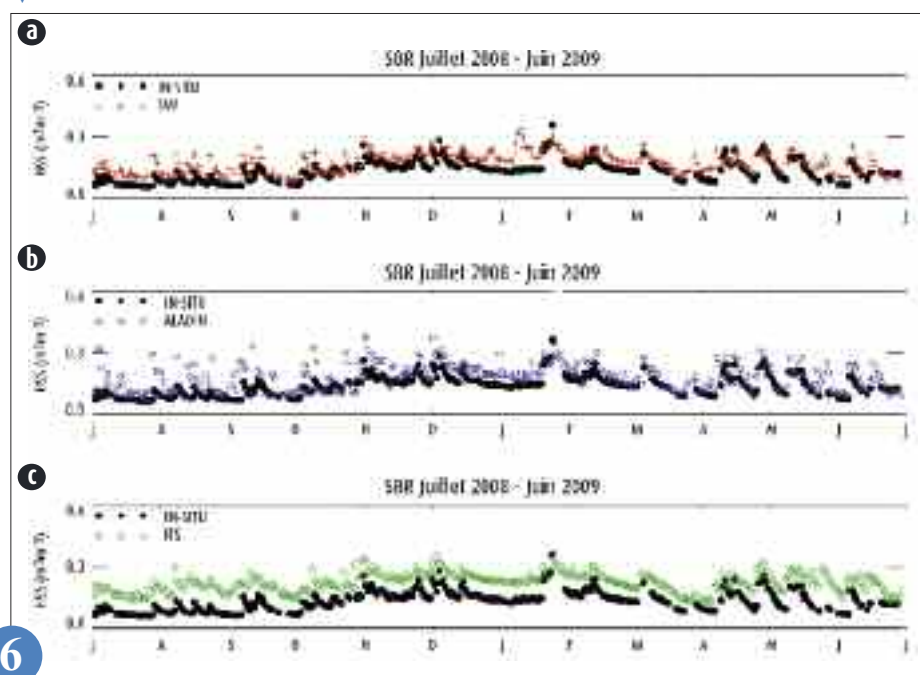
Le continent africain a d'abord été fragmenté en 5 éco-régions à partir de l'utilisation de l'Indice de Segmentation de la Composante de Fourier (ISFC) qui est un nouvel indice permettant de séparer des zones en des régions de comportement égal. Puis une nouvelle approche hybride par nuées dynamiques sert à capturer les gradients en termes de phasage, de durée et d'intensité de l'activité photosyn-

thétique pour un écosystème donné. Le résultat est une carte des écosystèmes à 1 km avec 73 classes en conformité avec la nomenclature du Land Cover Classification System (LCCS). Ces classes sont désagrégées en fractions de types de végétation d'ISBA. Les paramètres biophysiques (l'indice foliaire, l'albédo) issus de programmes satellitaires sont rendus cohérents via la classification.

La méthode ISFC suggérée facilite la labellisation des écosystèmes pour une cartographie plus cohérente et indépendante de la résolution d'échelle ainsi que du domaine de télédétection (optique ou radar). Le degré de généralisation et l'automatisation de la méthode sont favorables pour une mise à jour des écosystèmes globaux à un coût raisonnable.

7

Comparaison de l'humidité superficielle du sol mesurée in situ à Sabres (SBR) avec les simulations provenant (de haut en bas) de : (a) SIM, (b) ALADIN, (c) l'IFS du CEPMMT. Adapté de Albergel et al. 2010.



6

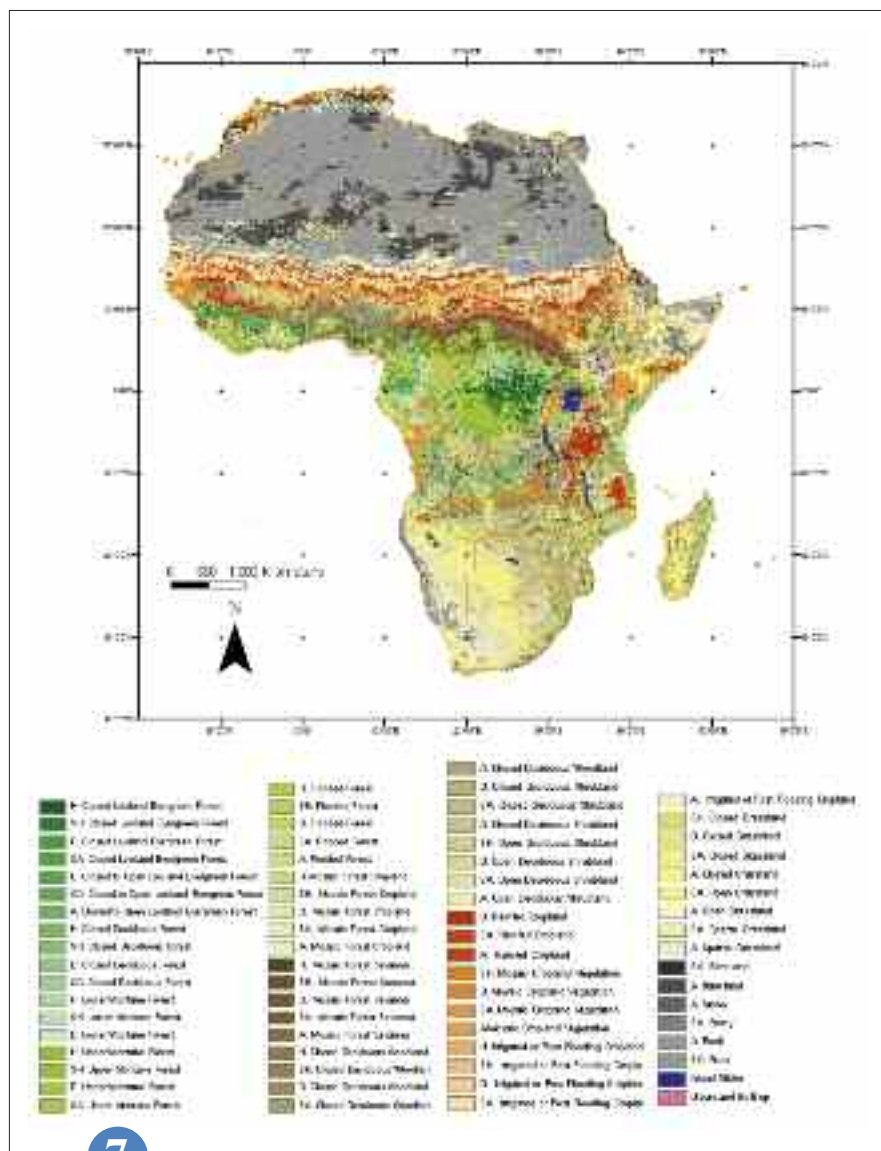
La végétation dans le modèle de ville TEB

Le modèle urbain TEB, développé pour représenter les villes dans les modèles météorologiques (Mésio-NH, AROME), traite uniquement les échanges d'humidité, d'énergie et de quantité de mouvement entre les surfaces minéralisées – routes, toits, murs – et l'atmosphère. La végétation est modélisée en parallèle par ISBA, sans interaction directe avec les surfaces minéralisées. Les flux sont calculés séparément par les deux modèles puis moyennés, de même que les températures à deux mètres. Cette approche pose des problèmes de représentativité à fine échelle, en particulier dans les quartiers résidentiels où la végétation fait partie intégrante du paysage urbain.

Une version « végétalisée » de TEB (TEB-Veg) vient d'être développée afin de représenter explicitement la végétation à l'intérieur du canyon urbain. Le bilan radiatif tient compte des effets d'ombre des bâtiments sur les jardins. Les échanges de surface au niveau des jardins restent modélisés par ISBA, mais contraints par les conditions atmosphériques calculés par TEB à l'intérieur du canyon. Inversement, le calcul de la température et de l'humidité de l'air au sein du canyon intègre les contributions de la végétation au travers des flux de chaleur sensible et latent.

TEB-Veg a été évalué à partir de mesures microclimatiques collectées dans une cour entourée de bâtiments, et comparée à l'approche TEB-ISBA sans interaction. Il en ressort que la prise en compte explicite des jardins dans le modèle de ville améliore la modélisation du microclimat urbain.

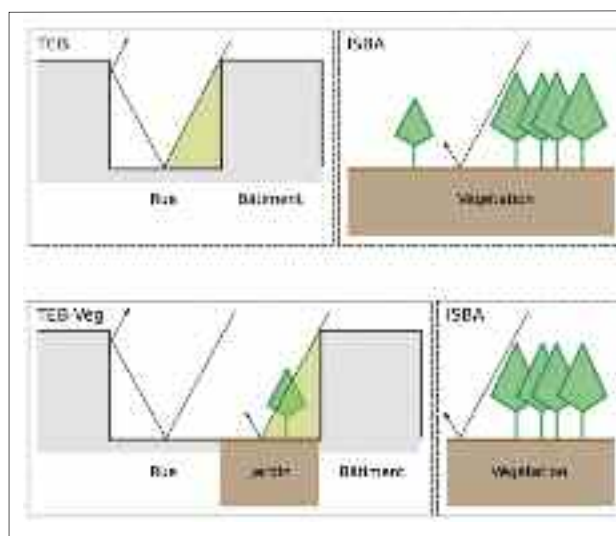
Cette nouvelle version de TEB présente un intérêt majeur pour les études d'impact du changement climatique en ville, et l'évaluation de stratégies de verdissement des villes pour l'amélioration du confort climatique.



7

▲ Nouvelle carte d'occupation des sols ECOCLIMAP-II à 1 km pour l'Afrique avec 37 classes.

Comparaison entre (a) l'approche TEB-ISBA sans interaction entre la végétation et les surfaces minéralisées, et (b) l'approche TEB-Veg représentant explicitement les jardins dans le canyon urbain.

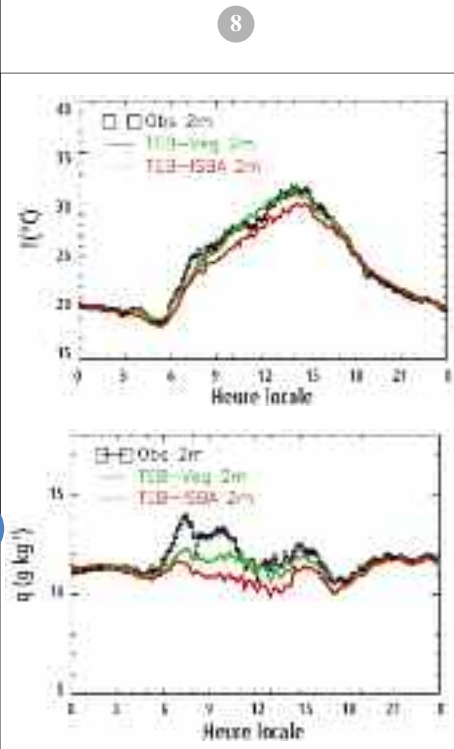


a

b

8

Comparaison entre la température (haut) et l'humidité spécifique (bas) de l'air mesurées à 2 mètres dans la cour instrumentée et simulées par les deux approches TEB-Veg et TEB-ISBA.



Étude du climat et du changement climatique

Concernant le groupe de recherche climatique, une des principales originalités de l'année 2010 est une amplification de l'effort des équipes de recherche pour participer à des projets d'intercomparaison internationaux ayant de fortes retombées potentielles, et cela dans différents domaines. Dans le domaine d'étude de la variabilité climatique de grande échelle, le principal fait marquant est la préparation et le lancement de l'exercice d'intercomparaison international CMIP5 (Coupled Model Intercomparaison Project) destiné à servir de base à l'analyse du changement climatique qui figurera dans le prochain rapport du GIEC (Assesment Report 5). Ces simulations sont réalisées à l'aide d'une nouvelle version du modèle couplé du système climatique CNRM-CM5 développé en collaboration avec le CERFACS et l'IPSL. Cette année a aussi vu le lancement de notre participation à un nouvel exercice de simulation international qui servira de base au prochain rapport du GIEC dans le domaine de la régionalisation du climat (CORDEX), avec pour la première fois des simulations à résolution augmentée sur l'ensemble du continent africain. Dans le domaine de la prévision saisonnière c'est le projet international CHFP (« Climate Historical Forecasting Project ») du WCRP qui sert de cadre aux études d'impact d'une représentation plus détaillée de la stratosphère sur la prévisibilité. Enfin, un autre fait marquant est la réalisation des premières simulations avec MOCAGE forcé par ARPEGE-Climat sur 1850 et les années 2000 dans le cadre de l'exercice d'intercomparaison « Atmospheric Chemistry and Climate » qui sera aussi analysé dans le cadre du prochain rapport du GIEC, et dont les premiers résultats apparaissent prometteurs.

1

Le climat du xx^e siècle simulé par le nouveau modèle CNRM-CM5

Le nouveau modèle climatique couplé global CNRM-CM5 s'appuie sur le cœur océan-atmosphère NEMO3.2 (IPSL)/ARPEGE-Climat v5 (Météo-France). Les échanges surface-atmosphère, la glace de mer et l'écoulement des fleuves au sein de CNRM-CM5 sont respectivement représentés par SURFEX v5, Gelato v5 et TRIP. Ce nouveau modèle, d'une résolution horizontale proche de 150 km, a été développé en collaboration avec le Cerfacs et permettra de contribuer au prochain rapport du GIEC devant paraître en 2013 par la réalisation d'un total de 8 000 ans de nouvelles simulations climatiques dans le cadre de l'exercice international CMIP5. Participer à cet exercice implique notamment de simuler le climat futur selon différents scénarios, mais aussi de réaliser des ensembles de simulations climatiques de la période 1850-2005, en prenant en compte les éruptions volcaniques observées et l'évolution des gaz à effet de serre, des aérosols atmosphériques et du rayonnement solaire. La réalisation d'ensembles permet notamment d'évaluer dans quelle mesure la dispersion simulée par un modèle est compatible avec les évolutions climatiques qui ont été réellement

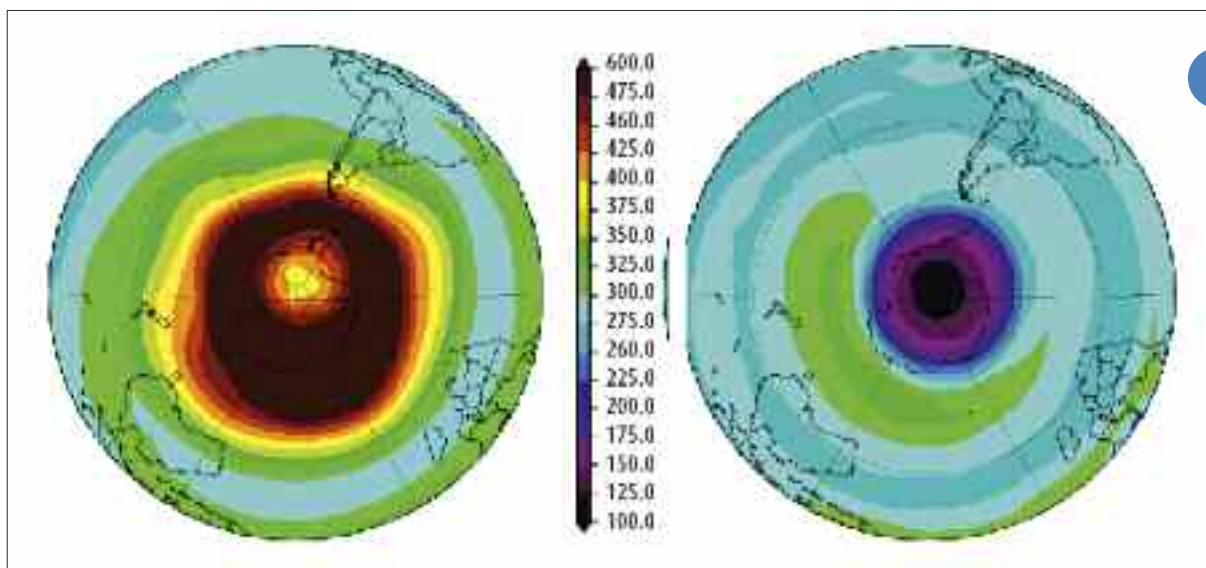
observées. Plusieurs expériences ont déjà été réalisées avec CNRM-CM5. Elles suggèrent que le comportement du modèle est amélioré par rapport à la version précédente. En particulier, le réchauffement simulé de la température moyenne de la planète sur le xx^e siècle est désormais comparable aux observations. Ce réchauffement s'est produit en deux temps, avant les années 40 et à partir du milieu des années 70. Par ailleurs, le refroidissement temporaire qui se produit lors des éruptions volcaniques majeures, d'ailleurs probablement sous-estimé par les observations dans le cas du Krakatoa (1883), est généralement bien simulé.

2

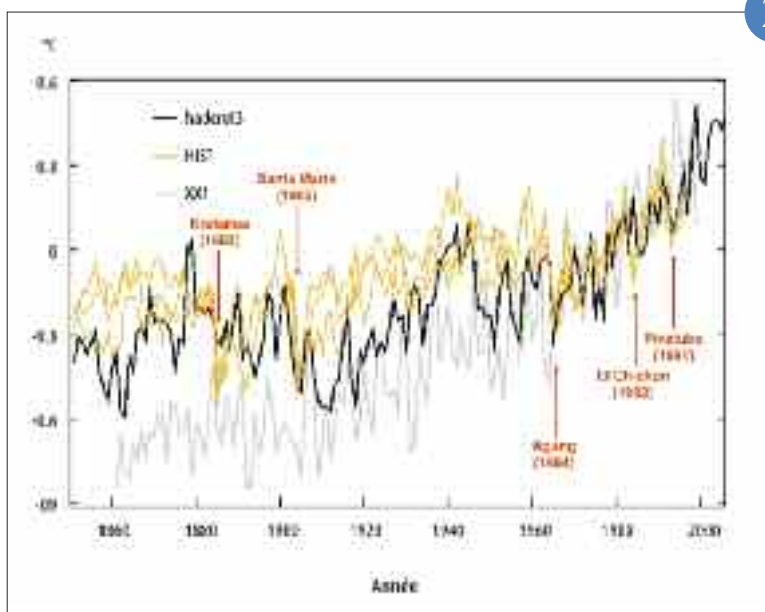
Notre participation à CORDEX

Jusqu'à présent, la production de scénarios climatiques régionaux s'est faite dans le cadre de projets nationaux ou européens. Pour le prochain rapport du GIEC, l'OMM a décidé de coordonner les activités de régionalisation à l'échelle mondiale en proposant le projet CORDEX. Dans le cadre de ce projet, 12 domaines sur le globe sont proposés pour régionaliser (maille 50 km) des scénarios standards du GIEC (maille 150 km). Il a été convenu que l'Afrique serait le domaine à traiter en priorité. A Météo-France nous disposons de deux modèles atmosphériques : ARPEGE à résolution variable et ALADIN à domaine limité. La première phase de CORDEX consiste à piloter le modèle régional par des observations (1989-2008) afin d'évaluer la qualité de la reconstruction du climat régional. La figure montre la moyenne des précipitations d'été (JJA) sur les 20 ans dans une simulation ARPEGE et dans les observations. Malgré une légère sous-estimation, le modèle reproduit bien la distribution géographique des précipitations sur le continent. On trouve d'ailleurs des caractéristiques similaires dans les simulations d'ARPEGE non pilotées hors du domaine. Nous avons également préparé une version d'ALADIN sur le domaine « bassin Méditerranéen » et réalisé une simulation pilotée dans les mêmes conditions. L'étape suivante sera de piloter ces modèles régionaux par nos derniers scénarios GIEC et d'aborder de nouveaux domaines CORDEX comme l'Europe ou l'Amérique centrale/Caribbes.

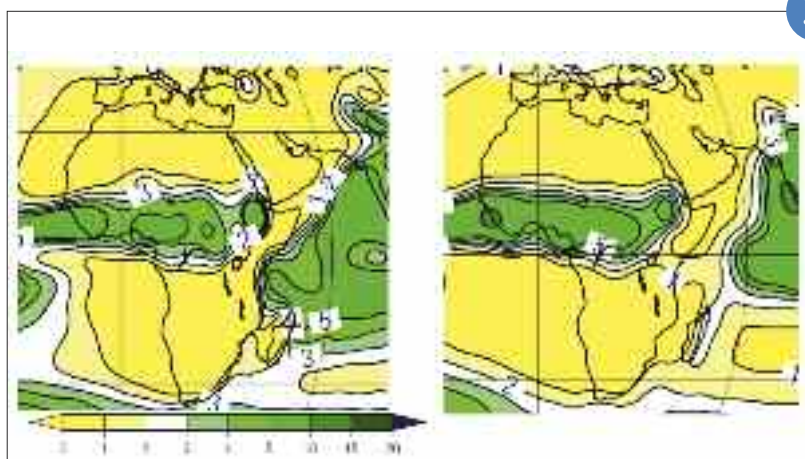
3



▲ Contenu total en ozone de la colonne atmosphérique au-dessus du pôle sud en octobre, simulé par le modèle MOCAGE forcé par ARPEGE-Climat sur une année représentative des années 1850 (à gauche) et une année représentative des années 2000 (à droite). Ces expériences ont été effectuées dans le cadre de l'exercice international d'intercomparaison « Atmospheric Chemistry and Climate ».



◀ Anomalie de la température à 2 m, en moyenne globale (°C) par rapport à la période 1961-1990 : en gris, l'ancien modèle CNRM-CM3 ; en orange, les trois premiers membres de l'ensemble réalisé avec CNRM-CM5 (avec forçages naturels et anthropiques) ; en noir, observations HadCRUT3. Les principales éruptions sont reportées en rouge.



◀ Précipitations moyennes (mm/jour) en juin-juillet-août : simulation ARPEGE-climat à maille 50 km pilotée par les observations (gauche) et observations directes (droite).

Variabilité intrasaisonnière de la mousson africaine : Le rôle des moyennes latitudes et de la dépression thermique saharienne

La mousson africaine est ponctuée de périodes sèches et humides, persistant parfois plusieurs jours voire semaines. Leurs impacts sur les sociétés sahéliennes sont souvent dramatiques : une phase sèche peut réduire la sécurité alimentaire de la région, alors que des pluies particulièrement intenses et prolongées peuvent conduire à des inondations importantes. La compréhension et l'amélioration de la prévision de tels événements sont des enjeux majeurs pour prévenir et atténuer leurs impacts.

Dans le cadre du programme AMMA, une attention particulière a été portée sur cette variabilité intrasaisonnière de la mousson. À l'échelle de 15 jours, plusieurs origines ont été proposées, notamment les ondes équatoriales. L'étude de la variabilité intrasaisonnière de la dépression thermique saharienne, acteur essentiel de la mousson qui pilote en partie le flux d'humidité sur le continent, a mis en évidence des interactions entre les moyennes latitudes et la convection sur

l'Afrique de l'Ouest. Des ondes de Rossby extratropicales et intrasaisonnières induisent des anomalies de circulation cyclonique/anticyclonique sur la Méditerranée, qui peuvent être transportées vers le Sahel Est. Elles y modulent alors la structure de la dépression, les flux d'humidité et d'air sec, et donc la convection.

L'existence de plusieurs mécanismes indépendants modulant la convection aux échelles intrasaisonnières conduit à des interférences, constructives ou destructives, et ainsi à une forte variabilité spatiale et temporelle des phases sèches et humides de la mousson. Cependant, la mise en évidence d'un rôle des moyennes latitudes est une source de prédictibilité intéressante, laissant espérer une amélioration des prévisions sur le Sahel.

4

Modèle conceptuel des interactions entre les moyennes latitudes et la convection sur l'Afrique de l'Ouest. Les circulations sont reportées à deux niveaux verticaux : les anomalies de circulation cyclonique/anticyclonique à 700 hPa sont indiquées par les cercles en trait tireté/plein. Les ventilations de la dépression thermique et le flux de mousson sont indiqués par les flèches bleues, dont l'épaisseur correspond à leur intensité. Il est à noter qu'il existe une inclinaison vers l'ouest des anomalies de vent entre la surface et 700 hPa, sur la Méditerranée, et une inclinaison opposée sur le Sahel. La position et la structure de la dépression thermique (HL) sont indiquées avec le contour en trait plein, rempli de rouge lorsque la dépression est renforcée, de bleu lorsqu'elle est affaiblie. Le jet d'ouest subtropical et le jet d'est africain (AE) sont indiqués par les flèches noires en trait épais. La région d'où les ondes de Rossby équatoriales sont originaires est indiquée par la flèche sur l'Océan Indien.

Le scénario est le suivant : une onde de Rossby se propage vers l'est au-dessus de la Méditerranée, modulant les ventilations de la dépression thermique. Celle sur la Libye est d'abord réduite (t0), permettant à la dépression de s'intensifier (t0+5), puis renforcée (t0+8) menant à un effondrement de la dépression (t0+12). En même temps, des anomalies de circulation vers 700 hPa peuvent être transportées vers le Sahel Est, où elles modulent les flux d'humidité dans les basses couches et donc la convection. Ces anomalies sont ensuite transportées vers l'ouest, vraisemblablement par le jet d'est africain.

Étude de la variabilité de l'activité cyclonique atlantique

Le dernier rapport du GIEC (2007) n'a pu qu'acter le manque de connaissance de la communauté scientifique sur l'évolution de l'activité cyclonique dans un climat modifié par l'homme. Tout au plus, les modèles les plus fins sembleraient opter pour une baisse du nombre de cyclones associée à une augmentation de l'intensité des plus forts systèmes.

Depuis plusieurs années, nous étudions l'activité cyclonique sur le bassin atlantique à l'aide du modèle ARPEGE/Climat dans une configuration basculée/étirée, c'est-à-dire pour laquelle la grille du modèle a été défor-

mée de telle sorte que le pôle d'intérêt voit sa résolution locale augmentée au détriment de l'antipode. L'utilisation passée de cette configuration, en mode forcé par les TSM (calculées par un modèle couplé à basse résolution) a permis de mettre en évidence l'importance des structures d'anomalies de TSM plutôt que leur intensité, dans la réponse des cyclones au réchauffement.

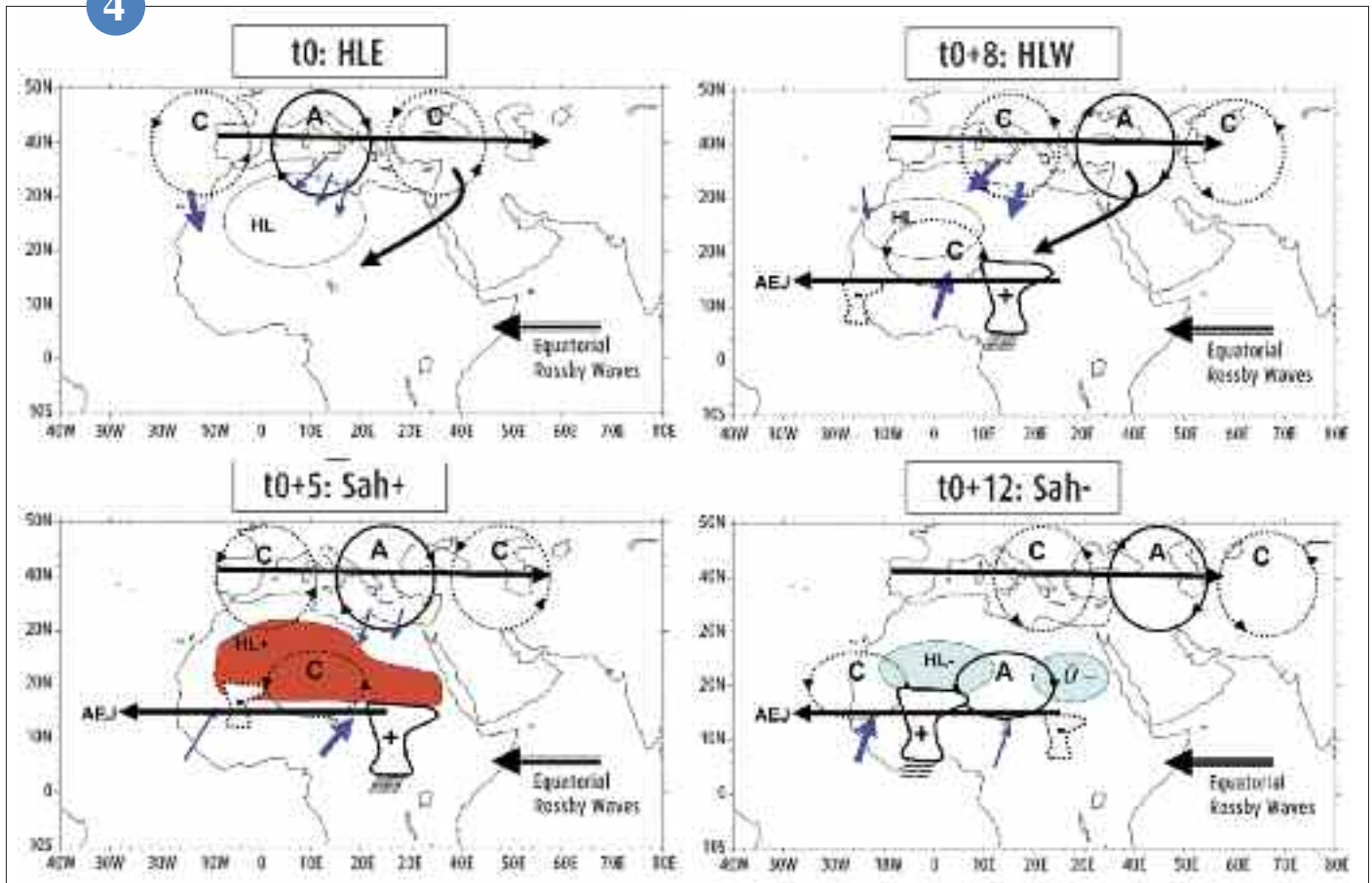
Plus récemment, nous avons franchi une étape supplémentaire en introduisant le couplage avec l'océan dans la version basculée/étirée du modèle. On permet ainsi à l'océan de rétroagir sur l'atmosphère lors du

passage d'un système cyclonique. On pourra donc, dans le futur, affiner notre connaissance de la sensibilité des cyclones atlantiques au réchauffement anthropique par l'introduction d'un degré de liberté supplémentaire.

Les travaux à venir se focaliseront sur la comparaison entre les versions pré-industrielles couplées et forcées, avant de s'attacher à l'évolution des systèmes au cours des ^{xx}e et ^{xxi}e siècles.

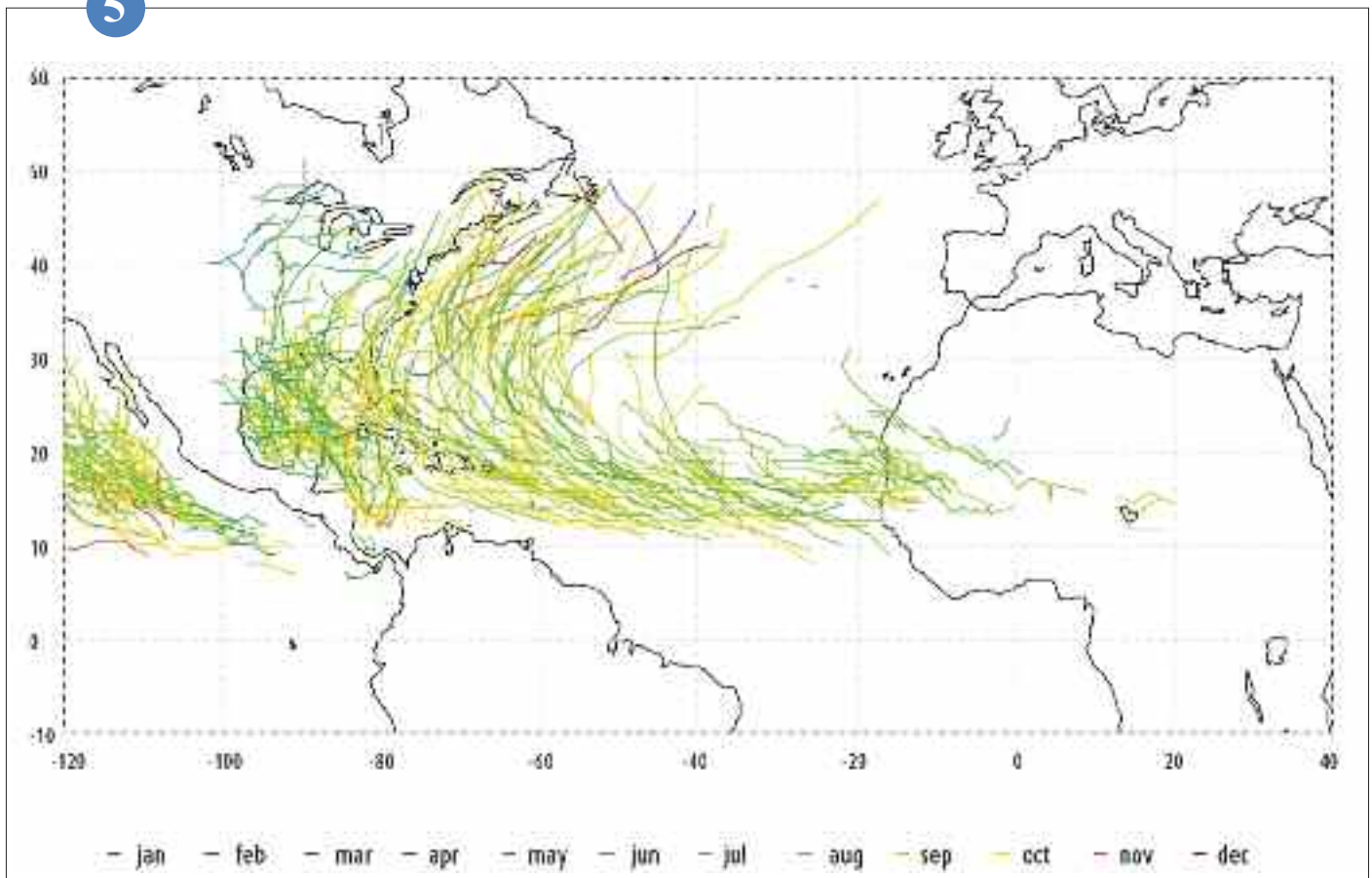
5

4



5

▼ Trajectoires détectées dans la simulation pré-industrielle du modèle ARPEGE basculé/étiré, couplé avec le modèle d'océan NEMO de l'IPSL.



L'Oscillation Nord Atlantique dans les simulations du climat présent et du dernier maximum glaciaire

L'Oscillation Nord Atlantique (NAO) est le mode de variabilité principal de la circulation atmosphérique dans l'Atlantique qui détermine en grande partie le temps et le climat sur l'Europe à différentes échelles de temps (intra-saisonnière, inter-annuelle, inter-décennale, etc.). De nos jours, la NAO se caractérise par des variations latitudinales du courant-jet Atlantique. La phase dite positive de la NAO est liée à une position plus au nord que d'habitude du courant-jet tandis que la phase dite négative à une position plus au sud (cf. vignette a).

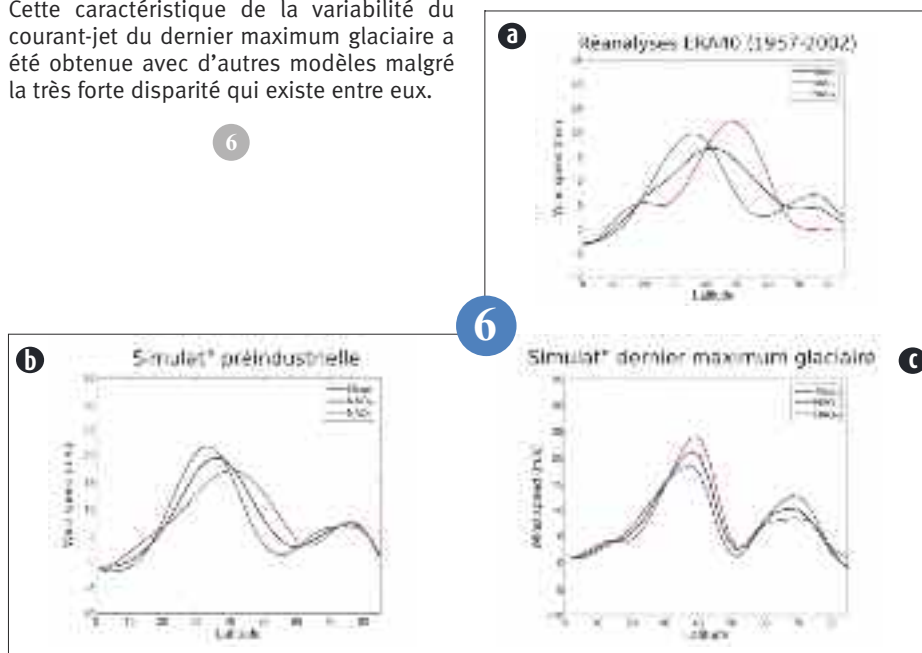
Le but de l'étude a été de caractériser à l'aide de simulations numériques du modèle couplé ARPEGE-climat la variabilité principale de la circulation atmosphérique au dernier maximum glaciaire (appelée également NAO) en la comparant au climat d'aujourd'hui. Dans un premier temps, une simulation du climat pré-industriel a été effectuée (vignette b). Elle montre que le modèle est capable de reproduire les fluctuations latitudinales de la NAO observée dans les réanalyses même si l'amplitude de ces fluctuations est atténuée dans le modèle. La NAO du dernier maximum glaciaire (vignette c) s'avère de nature différente puisque celle-ci est seulement marquée par des accélérations/décélérations du courant-jet et pas par des fluctuations de sa position latitudinale. Une analyse plus poussée montre que c'est

l'orographie due aux calottes glaciaires et notamment la calotte Laurentide qui recouvre l'Amérique du Nord au dernier maximum glaciaire qui est responsable de ce changement de comportement du courant-jet Atlantique via l'interaction avec le rail des dépressions.

Cette caractéristique de la variabilité du courant-jet du dernier maximum glaciaire a été obtenue avec d'autres modèles malgré la très forte disparité qui existe entre eux.

Représentation du mode de variabilité principal hivernal de l'Atlantique (premier EOF du géopotential à 850 hPa pour décembre, janvier et février) pour (a) les réanalyses ERA40 couvrant la période 1957 à 2002, (b) la simulation pré-industrielle d'ARPEGE-climat et (c) la simulation du dernier maximum glaciaire d'ARPEGE-climat.

Sur chaque vignette, chaque courbe représente le vent zonal à 500 hPa moyenné sur le domaine Atlantique (80°W-10°E) en fonction de la latitude ; en noir, la valeur climatologique ; en rouge, la valeur pour la phase positive et en bleu, la valeur pour la phase négative.



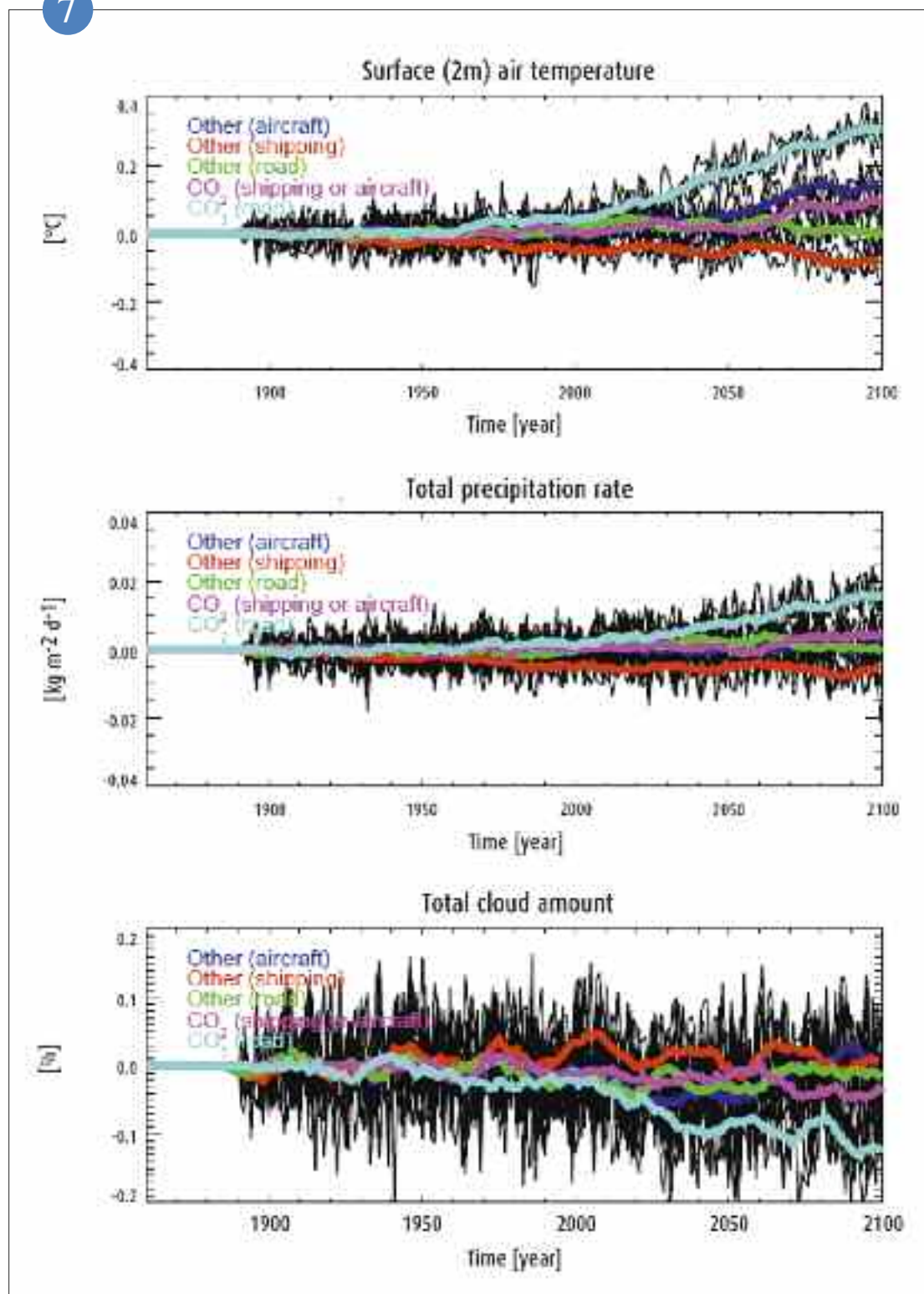
Étude des impacts des moyens de transports sur le climat

En croissance forte depuis plusieurs décennies, les activités liées aux transports peuvent avoir une influence sur l'évolution de la composition atmosphérique et contribuer au changement du climat. Le projet européen QUANTIFY (coordination R. Sausen, DLR) a permis pour la première fois de simuler, avec les mêmes outils numériques, les impacts des transports terrestres, maritimes et aériens et de les comparer.

Avec le modèle couplé de circulation générale atmosphérique et océanique CNRM-CM3.3, on a réalisé des simulations transitoires de la période 1860 à 2100 en prenant en compte des forçages radiatifs de la vapeur d'eau, du gaz carbonique, du méthane CH₄, de l'ozone et de l'aérosol ainsi que des traînées de condensation créées par les avions et des gaz CFC-12 et HFC-134a émis par les systèmes de climatisation des voitures.

Les réchauffements moyens en surface dus aux émissions de CO₂ des voitures, des bateaux et des avions sont respectivement de 0,3, 0,1 et 0,1 degré au cours du XXI^e siècle, à comparer aux 2,2 degrés dus à l'ensemble des activités du scénario A1B du GIEC. Les rejets autres que le CO₂ produisent un impact variable : les voitures créent un réchauffement de 0,05 degré vers 2050 qui diminue ensuite en raison du scénario choisi ; les bateaux produisent un refroidissement de 0,1 degré par effets combinés des émissions de SO₂ (impact radiatif négatif des aérosols sulfatés produits) et des émissions de NO_x (diminution de la durée de vie du CH₄) ; les rejets non CO₂ des avions produisent un réchauffement de 0,15 degré au cours du XXI^e siècle. L'impact total des émissions des avions est ainsi environ 2,5 fois plus important que celui de leur émission seule de CO₂.

Dans le projet QUANTIFY, on a cherché à intégrer au mieux l'ensemble des impacts connus des émissions des moyens de transport dans une modélisation globale. De nombreux effets ne sont pris en compte que par leur forçages radiatifs en moyennes mensuelles calculés avec d'autres modèles par des partenaires du projet. Les résultats sont novateurs mais les efforts se poursuivent pour obtenir un meilleur couplage entre la circulation, la chimie et l'aérosol atmosphériques qui doit faciliter le calcul et en diminuer les incertitudes.



▲ Évolution temporelle de la température moyenne, des précipitations et de la nébulosité en réponse au scénario A1B du GIEC (2006). Les impacts séparés dus aux émissions de CO_2 sont représentés en bleu clair (transports terrestres) et violet (transports aériens ou maritimes). Les impacts des émissions autres que le CO_2 sont représentés en vert (terrestres), rouge (maritimes) et bleu foncé (aériens).

Études environnementales liées à l'atmosphère

Hydrométéorologie

Impact de la représentation de la surface pour les études d'impact en hydrologie

L'augmentation de la concentration en dioxyde de carbone de l'atmosphère a un effet direct sur la physiologie des plantes : l'assimilation de carbone est plus efficace, limitant les pertes d'eau par transpiration, mais cet effet peut être contrebalancé par une augmentation de la surface foliaire, associée mécaniquement à une augmentation de la transpiration. Le schéma de surface ISBA-A-gs est capable de simuler ces effets. Dans le cadre du projet MEDUP, cette version a été comparée avec la version standard d'ISBA qui ne prend pas en compte ces effets. Cette étude a été menée pour le climat actuel et le climat de la fin du ^{xxi} siècle sur la zone méditerranéenne française selon le scénario climatique A2 CYPRIM.

Pour le climat présent, la végétation (surface spécifique des feuilles) calculée par ISBA-A-gs a été comparée avec les estimations des bases de données ECOCLIMAP 1 et 2.

En climat futur, le développement de la végétation est plus rapide au printemps, en raison de l'augmentation de la température, de la diminution de la couverture neigeuse et de l'augmentation de la concentration en dioxyde de carbone. Ceci entraîne une augmentation de l'évapotranspiration plus forte que dans le cas d'une végétation inchangée, et une baisse des débits légèrement plus forte.

La prise en compte de l'effet direct du dioxyde de carbone sur la physiologie des plantes dans les études d'impact climatiques a jusqu'à présent été très peu étudiée. Cet effet peut avoir un impact significatif dans certains cas. Ces études seront poursuivies afin de mieux comprendre les rétroactions mises en jeu au sein du système sol plantes.

1

Algorithmie radar en bande X dans le cadre du projet RHYTMME

Le projet RHYTMME prévoit l'installation de plusieurs radars en bande X dans le sud-est de la France sur la période 2010 – 2013, en complément d'un radar déjà installé sur le Mont Vial, au nord de Nice. Un programme de R&D ambitieux a démarré en 2010 pour exploiter au mieux les signaux des radars en bande X, longueur d'onde sujette à l'atténuation par les précipitations. Le programme de R&D, qui implique plusieurs chercheurs post-doctorants recrutés par le projet, comporte plusieurs volets :

– **Plate-forme radar** : une plate-forme de production centralisée des produits élaborés (lames d'eau, images de réflectivité, ...) à partir de données radar brutes polaires a été spécifiée et est en cours de développement. Cette plate-forme permettra de faire des démonstrations des produits spécifiques du projet RHYTMME (mosaïque de lames d'eau en bande X notamment) et constitue dans le même temps un prototype de nouvelle architecture technique pour la production radar opérationnelle.

2

Les ré-analyses de lames d'eau

Météo-France s'est engagé à mettre à disposition de la communauté hydrologique une base de données fournissant la meilleure estimation horaire des précipitations à une résolution spatiale du km² et sur une période d'au moins 10 ans. Cette base doit servir de référence commune afin par exemple d'en tester la valeur ajoutée pour les modèles hydrologiques et les calibrer. L'utilisation optimale des différentes sources d'information archivées (radars, pluviomètres, données satellite, ...) est donc recherchée.

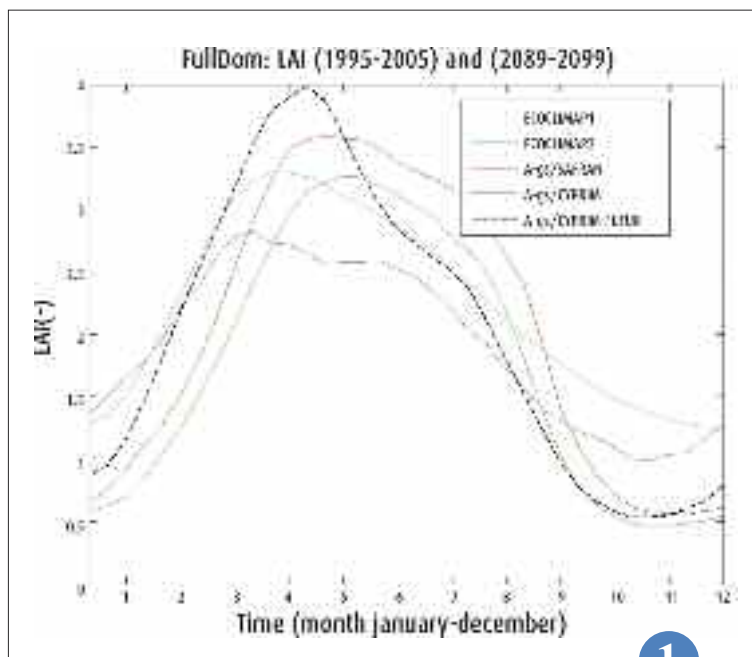
L'année 2010 a été dédiée à la définition des procédures de correction des données radar, de calibration et de fusion avec les données issues des pluviomètres aux pas de temps quotidien et horaire pour la période 1997-2006.

Les données radar archivées utilisées sont disponibles sur les domaines radar, toutes les 5 minutes et à l'échelle du km². Afin de tirer le meilleur profit de ces données, il a fallu détecter les zones d'échos fixes, supprimer les échos de ciel clair, corriger les effets liés aux masques du faisceau radar et appliquer une advection du champ de pluie vu par le radar entre deux images consécutives.

Ensuite, les données des pluviomètres sont utilisées au pas de temps quotidien pour effectuer la meilleure exploitation conjointe de l'information sur le champ pluviométrique (sol et radar) ; les cumuls radar manquants ou faibles sont complétés. Enfin, le passage au pas de temps horaire est effectué en utilisant de nouveau l'information radar et celle des pluviomètres nettement moins nombreuse à ce pas de temps.

Des méthodes simples et robustes ont été privilégiées de façon à respecter l'objectif d'une production et d'une mise à disposition d'une première livraison de la base de données d'ici fin 2011.

3

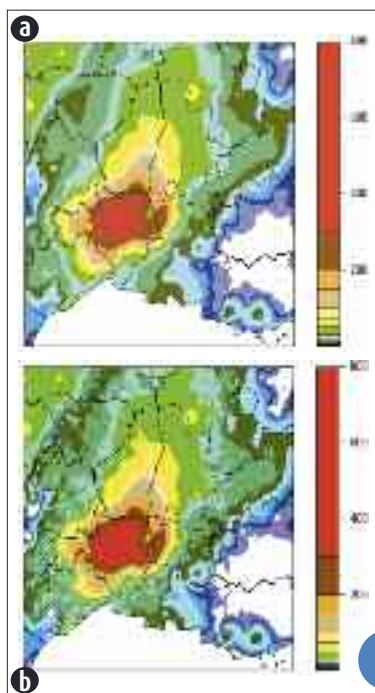
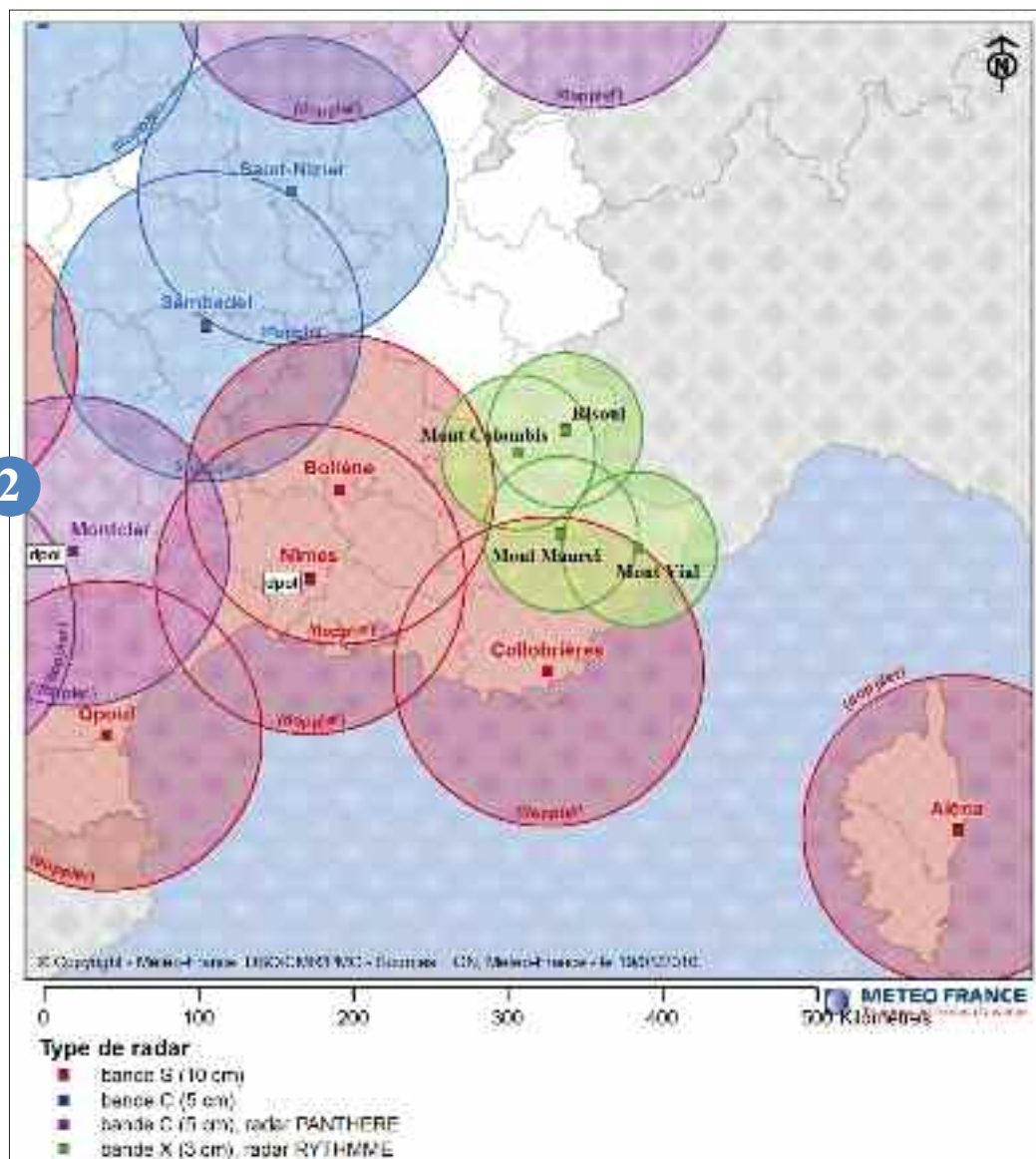


1

▲ Comparaison de la surface spécifique des feuilles simulée par ISBA-A-gs dans différentes configurations sur la partie méditerranéenne de la France aux données des bases de données ECOCLIMAP 1 et 2. A-gs/SAFRAN : simulation utilisant l'analyse météorologique à mésosécherelle SAFRAN. A-gs/CYPRIM : idem avec le scénario climatique désagrégé pour le climat présent. A-gs/CYPRIM FUTUR : idem avec scénario climatique désagrégé pour la fin du xxi^e siècle.

2

► Carte montrant d'une part les radars ARAMIS existants couvrant le sud est de la France avec leur cercle de portée de 100 km (rouge correspond à la bande S, bleu à la bande C, l'étiquette "Doppler" au fait que le radar est Doppler et l'étiquette « dpol » au fait que le radar est polarimétrique) et d'autre part les 4 radars Doppler polarimétriques bande X du projet RHYTHME (avec leur cercle de portée à 60 km). Les sites des deux radars les plus au nord ne sont encore qu'indicatifs.



3

▲ Évaluation des précipitations (en mm) pour le 8 septembre 2009 sur le domaine du radar de Bollène a) par krigeage à partir des pluviomètres seuls, b) par fusion entre données radar et pluviomètres.

Océanographie (modélisation et instrumentation)

En 2010 le CMM a poursuivi son rôle dans la mise en œuvre de stations d'observations sur les océans, contribuant ainsi à la visibilité internationale du CNRM et de Météo-France. Si une bonne partie des activités concerne les besoins de l'observation opérationnelle, le CMM joue un rôle très important dans les campagnes de mesure de la communauté scientifique. Un réseau de plus de 100 bouées dérivantes a été maintenu sur l'Atlantique Nord dans le cadre du programme européen ESURFAR que dirige le CMM. Une trentaine de bouées dérivantes est déployée régulièrement dans l'Océan Indien pour la surveillance cyclonique et une meilleure observation du grand sud. Le maintien de cinq stations fixes en haute mer a été assuré, deux sur le proche atlantique en collaboration avec le UK MetOffice, deux en Méditerranée et une au large des Antilles. Avec la montée en puissance du Chantier Méditerranée le renforcement des observations sur les deux bouées ancrées pour l'étude de l'interface océan-atmosphère et de la couche de mélange océanique se fait progressivement dans le cadre de Hymex. Le CMM accompagne également la préparation des campagnes en mer avec le déploiement et la récupération de bouées dérivantes. La contribution à la validation des mesures fournies par le satellite SMOS se fait par la mise en mer de bouées dérivantes qui mesurent la salinité de surface de la mer dans le Golfe de Gascogne et au large de l'Amazonie.

Une activité de recherche spécifique a été initiée pour mieux comprendre l'impact des vagues sur les flux entre l'océan et l'atmosphère. Cela passe par la collecte, le traitement de données in situ et les interactions avec la paramétrisation expérimentale des modèles de prévision numérique.

4

Déploiements de bouées dérivantes pour les besoins d'étalonnage et de validation du satellite SMOS

Lancé le 2 novembre 2009, le satellite SMOS est théoriquement capable de mesurer la salinité de surface des océans avec une résolution spatiale de 200 km x 200 km et une précision de 0,1 psu. Pour étalonner et valider les algorithmes de restitution de ce paramètre, des mesures in situ sont indispensables. Comme pour la température de surface, les bouées dérivantes sont les plus adaptées. Celles-ci effectuent en effet leurs mesures plus près de la surface que d'autres instruments (thermosalinographes embarqués, flotteurs Argo).

Au cours des dernières années, le CMM a largement contribué au développement de bouées « salinité » dérivées du flotteur SVP-B utilisé en opérationnel pour la mesure de pression atmosphérique et de température de

la mer en surface. Ces bouées, ont été mises en œuvre au cours de différentes campagnes dans le cadre du projet GLOSCAL. En 2010, quatorze bouées Metocean, directement gérées par le CMM, ont été mises à l'eau lors des campagnes Ovide, Amandes et Carols. En parallèle, le LOCEAN a déployé autant de bouées Pacific Gyre.

Le CMM est responsable de la transmission des données de toutes ces bouées sur le SMT. La validation des données SMOS a commencé. D'autres bouées seront nécessaires. Elles serviront aussi à valider les données du satellite Aquarius de la NASA dont le lancement est prévu en 2011.

5

Scintillométrie : un nouvel outil de mesure de la chaleur sensible en milieu marin

La mesure directe des flux de chaleur sensible et latente entre les surfaces aquatiques (lac, mer) et l'atmosphère reste délicate en raison des contraintes d'infrastructures (mobilité du support, distorsion de l'écoulement due à l'instrument) et instrumentales (mesures à très hautes fréquences). En 2009, le CNRM a expérimenté des mesures de chaleur sensible sur l'étang de Thau à l'aide d'une méthode indirecte : la scintillométrie mesure les fluctuations de l'indice de réfraction lumineuse du milieu le long d'un chemin optique qui fait ici 4 800 m. Ces fluctuations sont ensuite converties en une fonction de structure de la température, qui permet d'estimer le flux de chaleur sensible. L'intérêt, pour une telle mesure en milieu aquatique, est que l'on ne se préoccupe ni des dis-

torsions éventuelles de l'écoulement, ni de la stabilité du support, les instruments étant installés sur les berges. Dans le cas de l'étang de Thau, s'agissant d'une première expérience lacustre, la validité de la mesure a été vérifiée en installant en colocalisation un système de mesures par eddy corrélation. La méthode de traitement des données de scintillométrie a été adaptée pour tenir compte des spécificités du milieu. Sur l'ensemble des 4 mois de mesures, l'accord est très bon entre le flux de chaleur sensible mesuré par le scintillomètre, celui estimé par eddy corrélation, et celui calculé par méthode aérodynamique de masse (algorithme COARE 3.0 de référence).

6

L'évolution des couches superficielles de l'océan mesurée sous les bouées ancrées

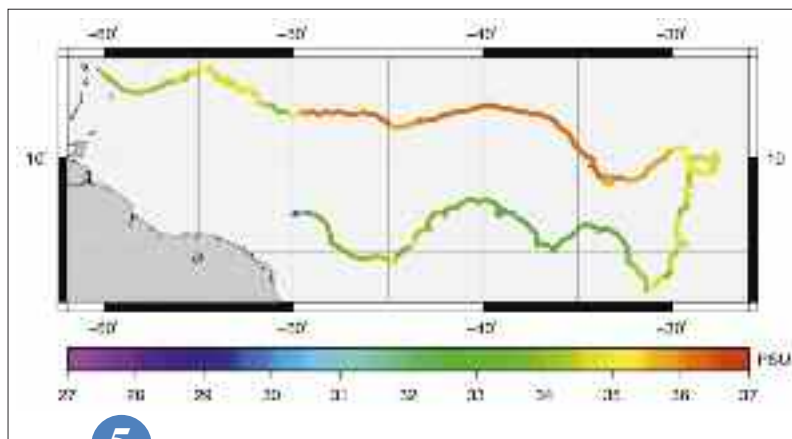
Dans le cadre de la préparation du programme HyMex du Chantier Méditerranée, le CNRM procède au renforcement de l'équipement des bouées ancrées du Golfe du Lion et Côte d'Azur. Ces bouées fournissent depuis une dizaine d'années des mesures des paramètres atmosphériques (pression, température, humidité, vent) et de la température de surface de la mer. Ces observations servent ensuite (de concert avec les observations satellitaires de la température de surface de la mer ou du vent) à contraindre les modèles de PNT. Pour le début de la période d'observation renforcée de HyMex (2011), et pour mieux contraindre les échanges physiques entre l'océan et l'atmosphère en Méditerranée Nord Occidentale, il est prévu d'équiper les 2 bouées Méditerranée en capteurs de rayonnement et en pluviomètres. Du côté des observations hydrologiques, chaque bouée sera équipée d'un thermosalinographe en surface, d'un houlographe et de sondes de température de la mer entre la surface et 200 m de profondeur. La bouée Golfe du Lion a déjà été instrumentée avec 5 capteurs à l'automne 2009. La première série de mesures montre très clairement l'approfondissement de la couche de mélange sous les 200 m, ainsi qu'une série d'oscillations rapides de température aux alentours de 100 m, probablement en lien avec des ondes internes océaniques. Le dispositif sera renforcé pour comprendre une vingtaine de capteurs sous chacune des bouées en 2011.

7



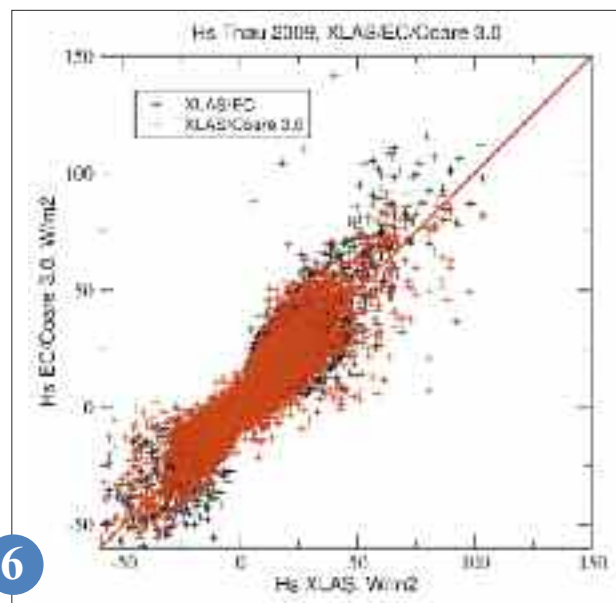
4

▲ Changement de la bouée Golfe du Lion (Mars 2010).



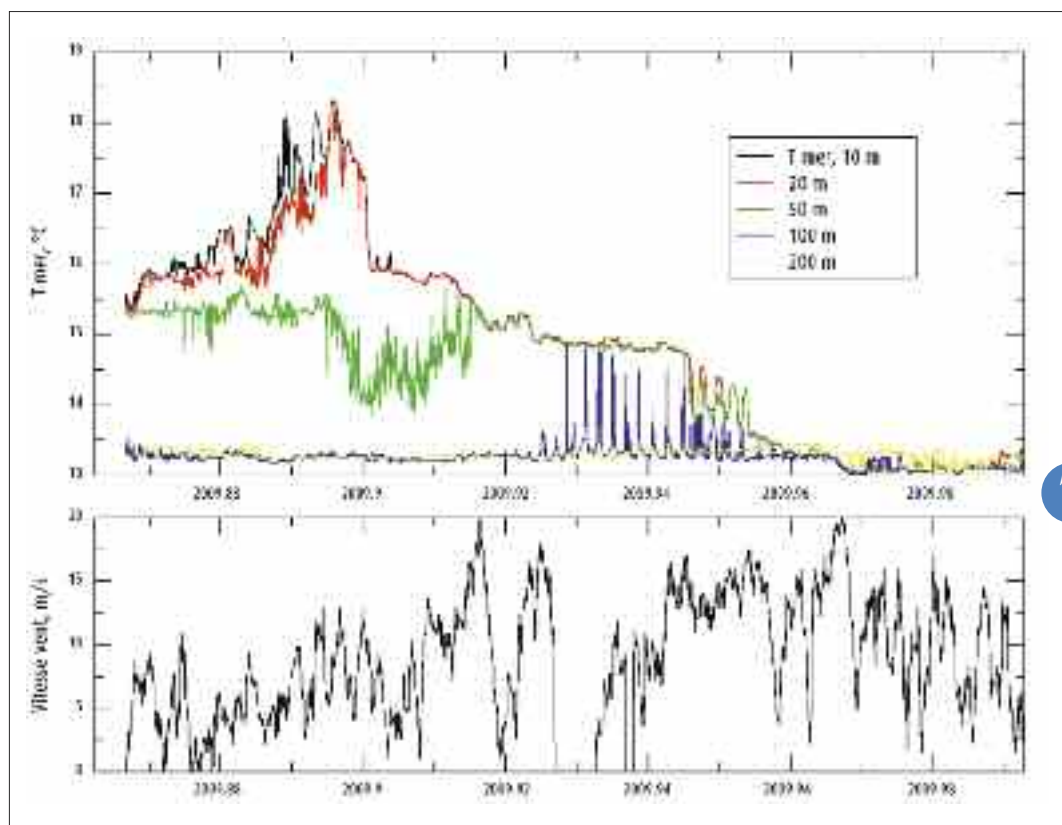
5

▲ Mesure de la salinité de surface de la mer (en psu) par la bouée dérivante Metocean 72579 entre août 2008 et octobre 2009.



6

►
Comparaison entre les mesures de flux de chaleur sensible sur l'étang de Thau par scintillométrie (abscisse), les mesures par eddy-covariance (noir) et le calcul par méthode aérodynamique de masse (rouge).



7

► Évolution de la température de la mer sous la bouée Lion, fin 2009 (haut) de 10 m à 200 m de profondeur, comparée à la vitesse du vent à 3 m (bas).

Mesure in situ de pluie en mer : comparaison d'instruments

Dans le cadre du programme HyMex, le CNRM procède au renforcement des observations atmosphériques et hydrologiques sur les bouées ancrées en Méditerranée avec en particulier la mesure de pluie. La mesure in situ des précipitations en mer est toujours problématique : à l'incertitude liée au mouvement du support et aux effets du vent, souvent violent au large, il faut ajouter les effets des embruns, voire de vagues déferlantes. Ces dernières années, plusieurs capteurs ont été améliorés de manière à mieux prendre en compte les 2 premiers effets. L'équipe CMM du CNRM a testé 2 de ces instruments en les étalonnant, sur plusieurs mois, par comparaison avec le pluviomètre opérationnel du CDM 29 (Guipavas). Le pluviomètre le plus évolué (Eigenbrodt) intègre une prise en compte matérielle des effets du vent, le second (Young) est développé pour les mesures en mer, mais sans correction instrumentale. Ces instruments, avec celui du CDM 29, reposent par ailleurs sur des principes de mesure différents : augets basculants, jauge auto siphonnante, et pesage d'un bol. Les comparaisons, sur une période modérément pluvieuse, montrent un très bon accord entre l'instrument Eigenbrodt et la référence. Une légère sous-estimation systématique du taux de pluie par le pluviomètre Young est observée, même en conditions de vent faible. Ce biais disparaît si l'on intègre une correction logicielle des effets du vent, et l'accord entre les 2 instruments testés et la référence devient alors meilleur que 0,1 mm/h en écart-type. Afin de poursuivre les tests en conditions réelles, ils seront tous 2 installés sur la bouée Côte d'Azur au début 2011.

8

Bilans de chaleur à l'aide des flotteurs ARGO pendant les campagnes AMMA/EGEE (2005-2007)

La mousson en Afrique de l'Ouest dépend des températures de surface de l'Atlantique équatorial est. Par exemple, les anomalies négatives de températures observées sur ce bassin au printemps 2005 (lors de la formation de la langue d'eau froide) ont eu une forte répercussion sur la mousson. La recherche des mécanismes à l'origine de telles anomalies a fait l'objet d'une analyse approfondie grâce aux données des flotteurs ARGO.

Ces flotteurs dérivent à une profondeur de 1 500 m et effectuent un profil de température et de salinité tous les dix jours en remontant à la surface. S'ils sont en nombre suffisant, ils permettent de faire des bilans de chaleur représentatifs d'une région donnée et d'accéder ainsi aux mécanismes physiques en jeu dans l'océan superficiel. Le déploiement de nombreux flotteurs ARGO pendant les campagnes AMMA/EGEE en 2005, 2006 et 2007 a permis d'augmenter considérablement le nombre des profils de température dans cette région de l'Atlantique.

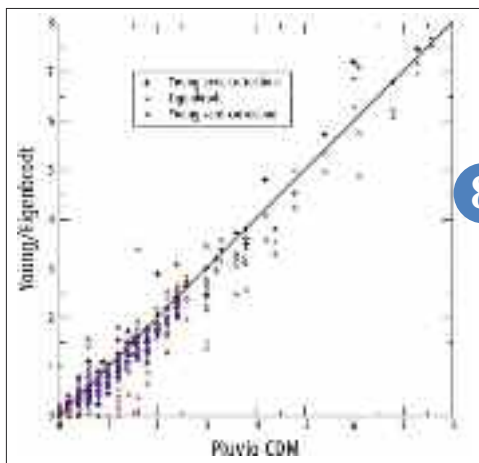
Les résultats montrent que les flux de surface dominent le bilan de chaleur aux échelles saisonnière et inter-annuelle. Dans la langue d'eau froide, le cycle saisonnier du bilan de chaleur provient principalement des flux de surface. Le flux net y est positif toute l'année (i.e. l'atmosphère réchauffe l'océan), même au printemps en dépit de la nébulosité. L'entraînement à la base de la couche mélangée et l'advection ont des contributions faibles. Le mélange vertical représente un terme important : il contribue à refroidir de manière significative les températures au printemps boréal. Ces résultats sont en accord avec les observations collectées lors des campagnes AMMA/EGEE. Il convient de savoir à présent si la modélisation numérique réaliste de cette région confirme ces résultats.

9

Utilisation opérationnelle des sorties de modèles de prévision numérique pour la correction des algorithmes de température de surface de la mer

Le Centre de Météorologie Spatiale de Lannion produit opérationnellement des champs de température de surface de la Mer (TSM) à partir des satellites METOP, SEVIRI et GOES-EST. Les algorithmes multispectraux que nous appliquons utilisent des coefficients déterminés par régression sur des jeux d'apprentissage rassemblant températures de surface et températures de brillance associées. Ces algorithmes sont précis tant que les conditions atmosphériques sont voisines de l'atmosphère moyenne du jeu d'apprentissage, mais présentent des erreurs en cas d'atmosphères atypiques telles que celles de l'Atlantique tropical. Nous avons donc utilisé les profils atmosphériques prévus par les modèles de prévision (ECMWF). L'erreur locale de l'algorithme moyen est calculée sur les températures de brillance simulées par RTTOV (Le Borgne et al 2010). Cette méthode est en cours d'implantation opérationnelle au CMS. La figure (a) montre la différence moyenne en Août 2010 entre les champs opérationnels de TSM issus de MSG et l'analyse de TSM du UK Met Office (OSTIA). La figure (b) montre la moyenne correspondante des erreurs de notre algorithme évaluées à partir des profils ECMWF. L'erreur calculée, utilisée comme correction, permet d'améliorer la précision de nos champs de TSM (figure c). Nous appliquerons cette méthode d'abord aux satellites géostationnaires MSG et GOES-E, puis aux données METOP.

10



8

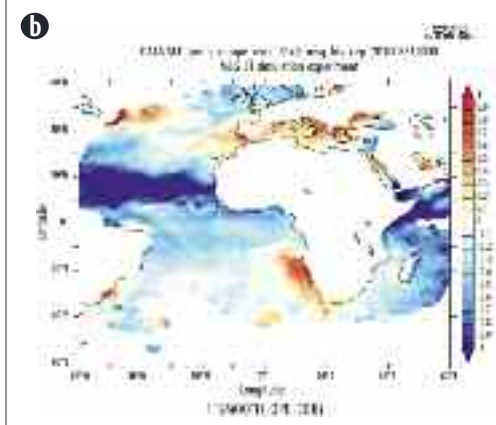
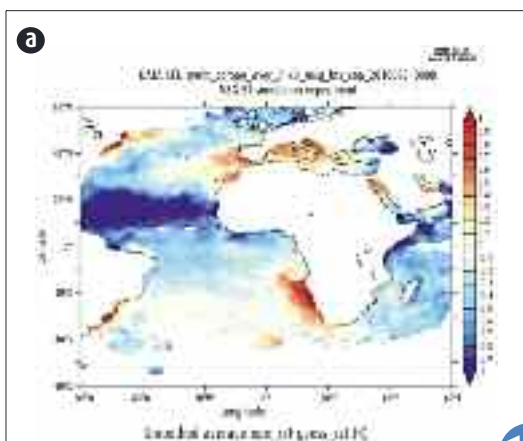
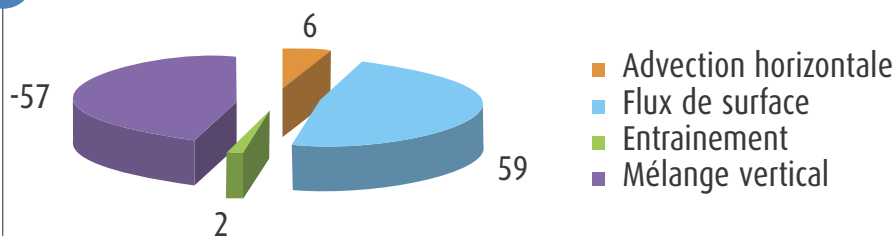
◀ Comparaison entre les taux de précipitation mesurés par le pluviomètre CDM29 (référence), ceux mesurés par le pluviomètre Young sans (bleu) et avec (noir) correction de vent, et ceux mesurés par le pluviomètre Eigenbrodt (rouge).

▶ Flotteur ARGO (crédit : IFREMER).



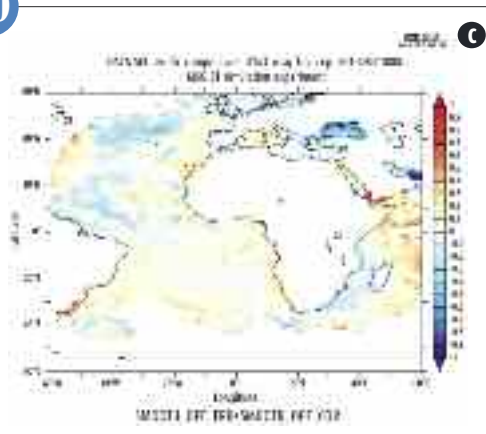
Diagramme représentant la contribution des différents termes du bilan de chaleur de la couche de mélange dans la zone 15°O-3°E ; 1°N-4°S (zone de la langue d'eau froide) pendant la période 2005-2007. Les flux sont exprimés en $W.m^2$.

9



10

◀ Champs de TSM issus de MSG en Août 2010 :
a) Différence moyenne entre la TSM opérationnelle et OSTIA ;
b) Moyennes des erreurs algorithmiques dérivées des profils ECMWF ;
c) Différence moyenne entre la TSM opérationnelle corrigée et OSTIA.



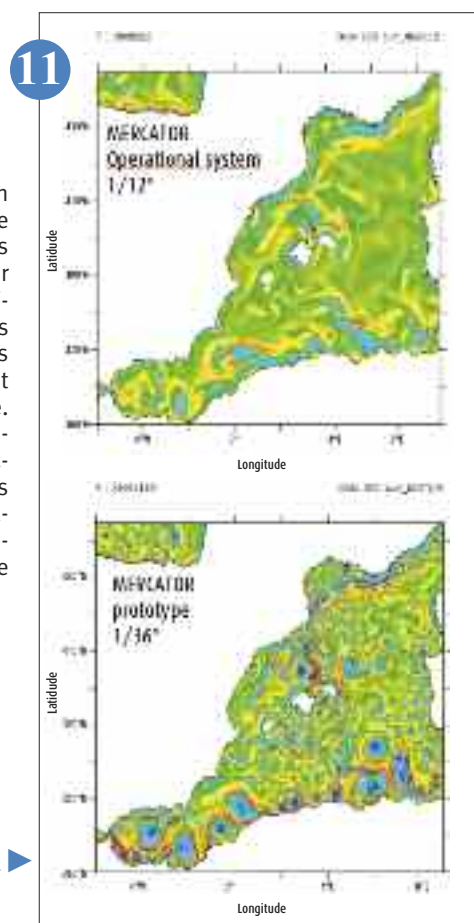
Apport de la modélisation océanique haute résolution dans la prévision des dérives

Des versions haute-résolution ($1/36^\circ$) du modèle Mercator ont été définies et testées sur les deux zones d'intérêt où l'apport de Mercator doit être déterminant pour la prévision de dérive. Il s'agit, d'une part, de la Méditerranée Occidentale, et d'autre part de l'Atlantique équatorial au large du Congo et de l'Angola. Le système opérationnel retenu pour le forçage aux frontières de ces deux versions est le système opérationnel PSY2 (3^e version), qui dispose d'une résolution au 12° de degré sur le domaine Atlantique/Méditerranée.

Le passage à une grille de calcul plus fine sur l'horizontal ($1/12^\circ \rightarrow 1/36^\circ$) s'accompagne d'une intensification des courants, l'énergie se retrouvant distribuée sur des volumes plus petits. Cela corrige un biais de vitesse systématiquement présent dans les prévisions au $1/12^\circ$. Les structures méso-échelles (tourbillons, filaments, front, etc.) et les conditions de génération de ces phénomènes sont également mieux représentées.

Les données d'une expérimentation en Méditerranée, menée fin 2007 dans le cadre du projet européen MERSEA, ainsi que des données de dérive de bouées fournies par TOTAL au large de l'Angola, ont été exploitées. On montre que le succès des résultats est fortement lié à la bonne description des processus de fines échelles spatiales et temporelles intervenant en zone turbulente. Pour la zone Angola, une nouvelle représentation des fleuves par une frontière déstructurée a été développée. Elle a montré des résultats très positifs. Par ailleurs, l'utilisation d'un forçage haute fréquence et la montée en résolution ont montré un bénéfice très clair sur les résultats moyens.

From Stéphane Law Chune (Mercator-Océan).



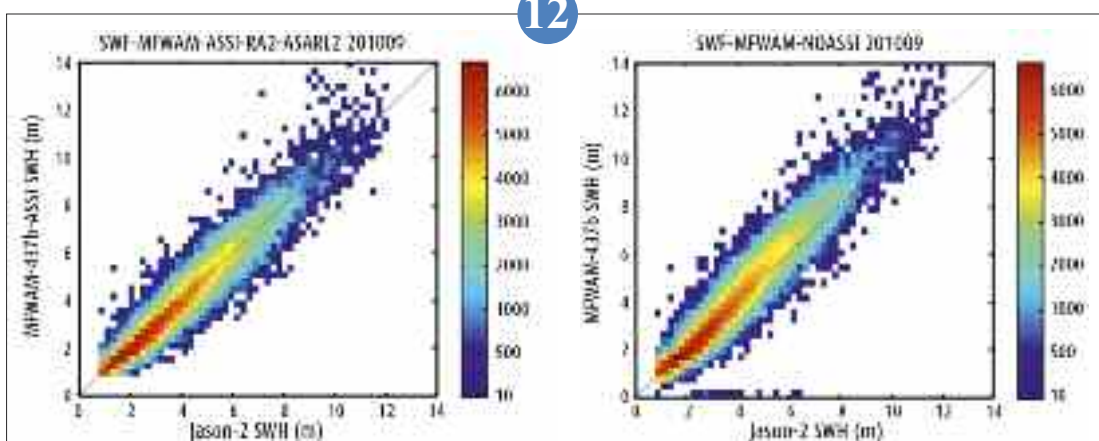
Assimilation de données satellite dans le nouveau modèle de vagues MFWAM global

Un modèle de vagues de 3^e génération (MFWAM), fruit d'une collaboration entre Météo-France, le SHOM et l'IFREMER tourne sur la chaîne opérationnelle de Météo-France depuis avril 2009. Le code de calcul a été modifié en mars 2010 pour intégrer de nouveaux paramétrages pour une meilleure estimation de la dissipation de la houle dans la perspective d'une utilisation optimale des données satellite dans le modèle. Les

modules d'assimilation de données développés avec le soutien du CNES ont récemment été implémentés et testés dans le nouveau modèle de vagues, pour une mise en place opérationnelle début 2011. Le modèle intégrera les données issues de l'altimétrie avec les satellites Jason-1, Jason-2 et ENVISAT, et celles issues du Radar à Ouverture de Synthèse ASAR d'ENVISAT qui apporteront également des informations sur la direction et

la période de la houle. Des travaux de recherche seront menés ensuite pour préparer l'intégration de données issues de nouveaux capteurs développés dans le cadre du projet franco-indien SARAL-Altika et du projet franco-chinois CFOSAT. Les données devraient être disponibles en 2011 pour l'instrument Altika, et en 2014 pour l'instrument SWIM (CFOSAT)

Diagrammes de dispersion représentant la densité de données modèles-observations. A gauche pour le modèle MFWAM avec assimilation de données ENVISAT (Altimètre et SAR) ; à droite pour le modèle sans assimilation. Les données de validation sont issues du satellite Jason-2. L'assimilation de données sur le mois de septembre 2010 a permis de passer d'une erreur relative sur la hauteur significative du modèle vagues de 15 % à 12 %.



Chimie atmosphérique et qualité de l'air

Contribution au core service « GMES Atmosphère »

Météo-France, avec ses partenaires de Prév'Air, l'INERIS, le CNRS et l'ADEME, joue un rôle important dans la mise en place des services pré-opérationnels de qualité de l'air au sein du volet « Atmosphère » de GMES, qui est piloté par le CEPMMT.

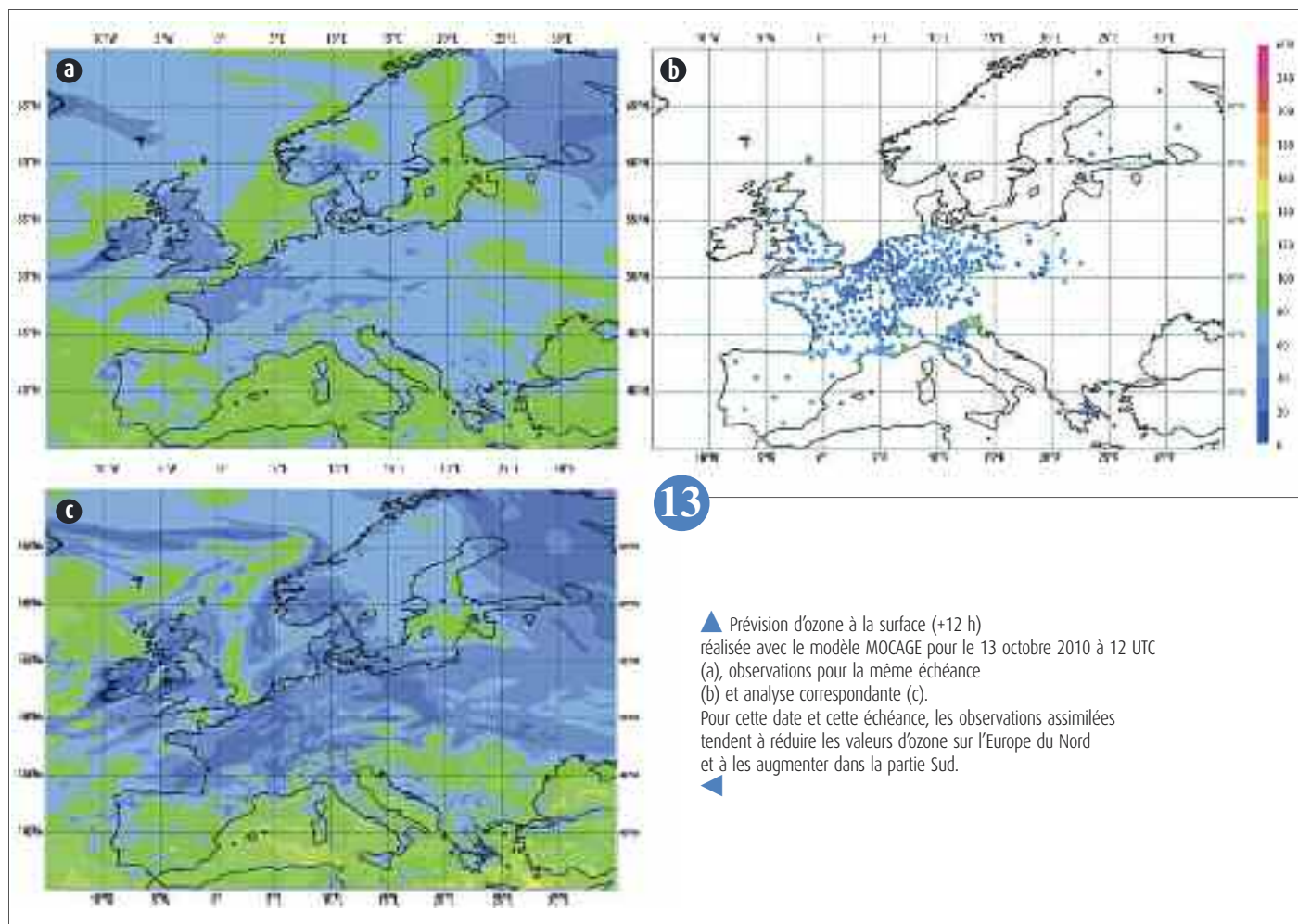
Les prévisions de qualité de l'air, jusqu'à une échéance de 72 h, sont réalisées avec un ensemble de 7 modèles parmi les plus éprouvés en Europe. Ces prévisions d'ensemble sont complétées par des scores de vérification par rapport à un millier de sites répartis en Europe et, nouveauté 2010, par des analyses à pas horaires qui sont disponibles chaque jour pour la journée de la veille. La mise à disposition d'analyses de qualité de l'air en temps peu différé constitue une avancée au plan international, qui

confirme la maturité des équipes. Venant concrétiser une activité de recherche de plusieurs années, les analyses réalisées avec le modèle MOCAGE sont élaborées avec le CERFACS en utilisant le coupleur PALM et une méthode variationnelle 3dvar ; à présent, seules sont assimilées quotidiennement les mesures d'ozone à la surface, mais les données assimilées vont s'étendre à d'autres mesures de surface (dioxydes d'azote et de soufre...) et à des données satellitaires.

Depuis cette année, Météo-France est responsable de la réalisation des calculs d'ensemble et de vérification, ainsi que de la plateforme internet qui délivre les produits régionaux « temps réel » de GMES « atmosphère ». Cette plateforme alimente le sys-

tème « Eye-On-Earth » de l'EEA, qui informe les citoyens européens en temps quasi-réel de l'état de l'environnement. Nos services s'insèrent ainsi progressivement au sein des dispositifs officiels d'information de l'Union. L'enjeu est maintenant de réussir la transition vers la phase opérationnelle à l'horizon 2015.

13



Passage opérationnel de MOCAGE-accident

La modélisation de la dispersion de rejets atmosphériques est une activité de longue date à Météo-France et lui permet d'assurer ses responsabilités nationales et internationales dans ce domaine.

L'établissement est par exemple chargé, comme CMRS éco-urgences de l'OMM, de fournir rapidement à l'AIEA une prévision du panache en cas d'accident nucléaire survenant n'importe où dans le monde, ou encore de délivrer des modélisations inverses pour déterminer l'origine de niveaux anormaux de radioactivité détectés par l'OTICE. Une autre activité majeure, comme VAAC pour l'OACI, consiste à suivre les cendres lors d'éruptions volcaniques, qui représentent un danger pour l'aviation.

En réponse à ces besoins, le modèle MOCAGE-accident a été mis en service opérationnel

début 2010, en remplacement d'un précédent outil devenu obsolète. MOCAGE-accident est une version réduite du modèle MOCAGE, spécifiquement dédiée à la modélisation de la dispersion et des dépôts d'un polluant émis dans l'atmosphère à partir d'un point source, depuis l'échelle régionale jusqu'aux échelles continentale et planétaire. Outre le fait de prendre en compte des effets nouveaux (convection, lessivage en 3-D, sédimentation) et d'utiliser des paramétrisations plus récentes, il offre une résolution accrue par rapport à son prédécesseur.

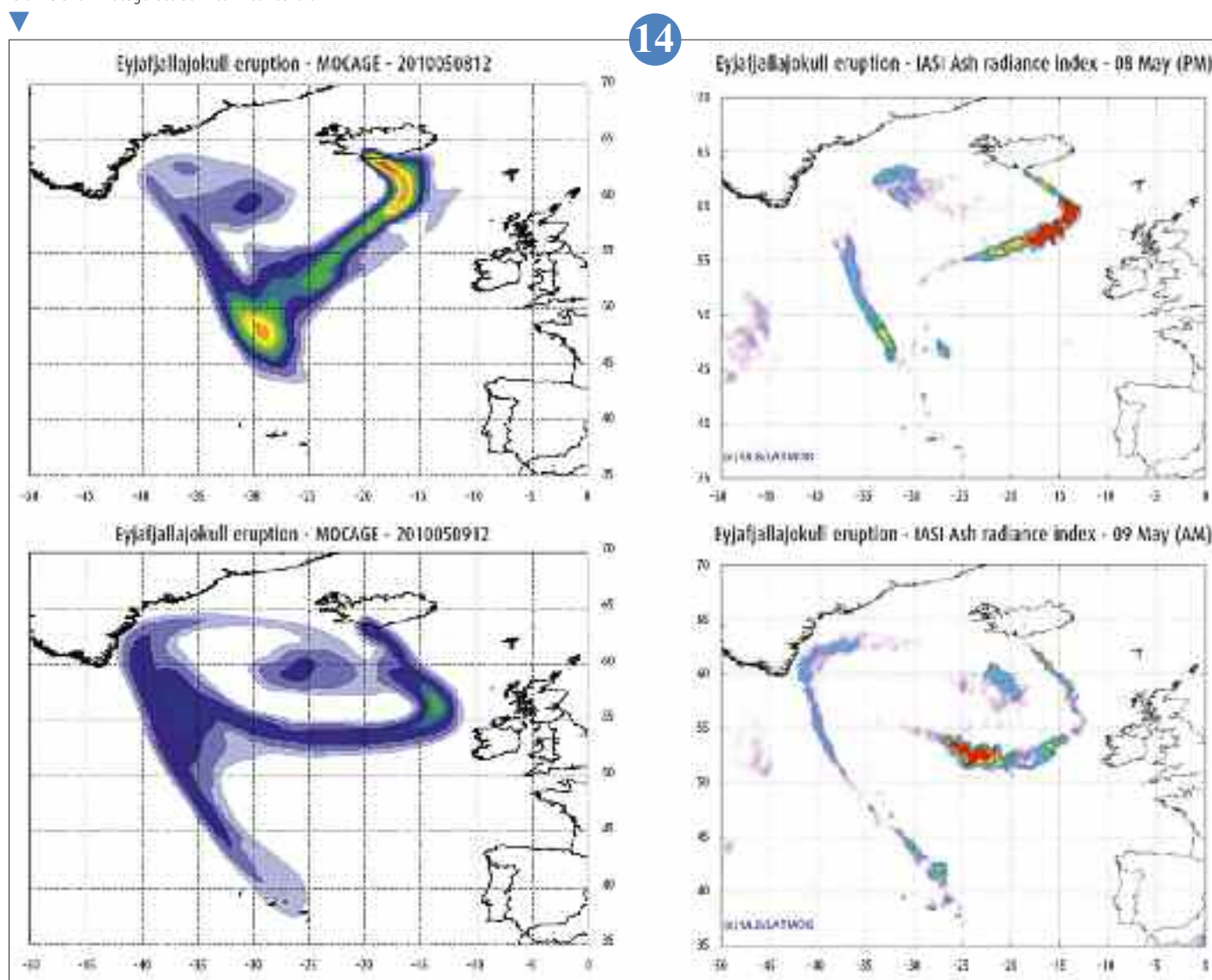
MOCAGE-accident bénéficie naturellement des nombreux travaux scientifiques de validation de MOCAGE. Il a de plus été lui-même spécifiquement évalué par confrontation à d'autres modèles de dispersion et à des mesures de campagnes de terrain.

Avec sa mise en opérationnel, MOCAGE-accident a franchi une étape importante. Il s'agira naturellement à l'avenir de le faire évoluer en fonction des avancées scientifiques et techniques.

14

Comparaison entre des simulations MOCAGE-accident (à gauche) et des images déduites des observations de MetOp/IASI (à droite, données LATMOS et Université Libre de Bruxelles), pour le cas de l'éruption de l'Eyjafjallajökull le 6 mai (en haut) et le 9 mai (en bas) 2010.

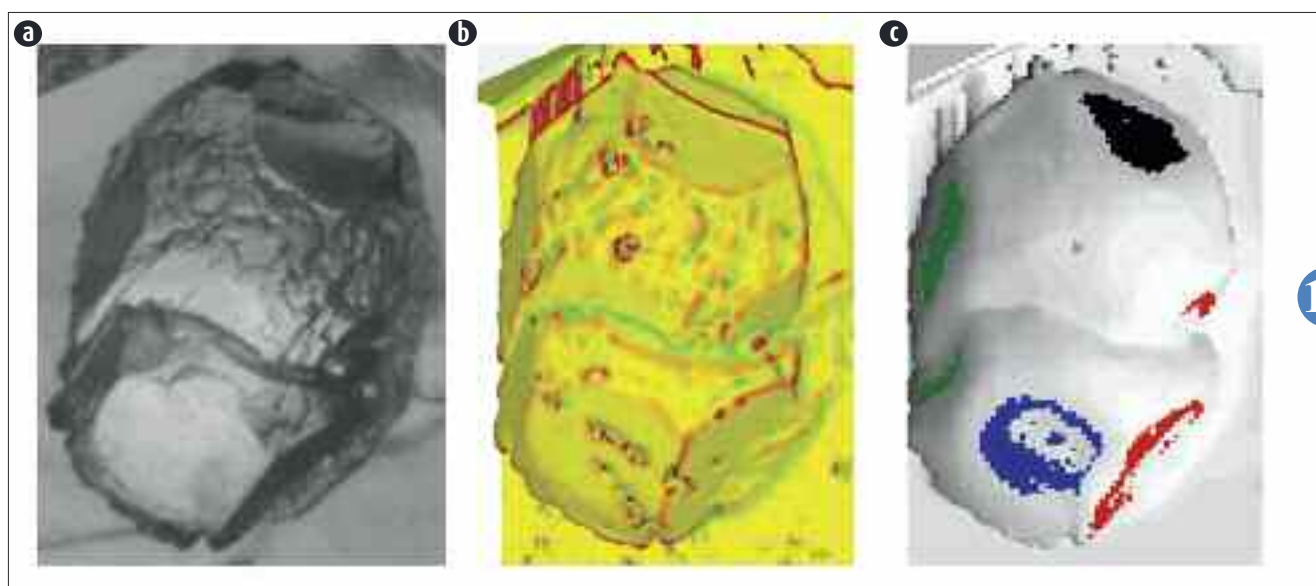
Même si la comparaison ne peut être que partielle compte-tenu de la nature qualitative de ces images satellitaires, on constate que le positionnement du panache de cendres dans la simulation MOCAGE-accident est très réaliste.



Étude du manteau neigeux et avalanches

En 2010, le Centre d'Etudes de la Neige (CEN) a poursuivi plusieurs projets importants utilisant les modèles Safran-Crocus-MEPRA (SCM) : validation et tests de sensibilité de la climatologie nivale des Pyrénées simulée avec la chaîne SCM, mise en place d'une climatologie des avalanches basée sur les données de l'Enquête Permanente des Avalanches du Cemagref et les données simulées par la chaîne SCM, étude de l'impact d'un changement climatique sur le manteau neigeux alpin et les sources d'incertitudes associées (projet SCAMPEI). La méthode d'assimilation des données télédétectées dans un modèle de neige a été appliquée pour améliorer le calcul du bilan de masse du glacier de Saint-Sorlin. La modélisation nivo-glaciaire d'un bassin versant de haute altitude en montagne tropicale a été menée à son terme. Un effort important a été initié concernant les propriétés physiques de la neige et leur modélisation : mise en place de nouvelles mesures au Col de Porte (conductivité thermique, surface spécifique de la neige), développement de prototypes permettant de systématiser ces mesures, évolution du code Crocus et intégration dans Surfex. En parallèle, les travaux sur la micro-structure de la neige ont été poursuivis, notamment sur l'estimation de caractéristiques de la neige à partir d'images 3D (telles que la surface spécifique ou l'orientation cristalline) et la modélisation du tassement. Le CEN a également assuré de nombreuses activités de soutien à la prévision opérationnelle du risque d'avalanche, comme par exemple le test d'un nouveau Bulletin d'Estimation du Risque d'Avalanche ou l'installation de nouvelles stations Nivôse.

15



▲ Détection des orientations cristallographiques d'un cristal de glace à partir d'images tridimensionnelles (3D) de figures d'attaque : Observation au microscope optique d'une figure d'attaque obtenue par sublimation (a), visualisation du volume 3D après tomographie par rayons X (b), reconnaissance automatique des facettes de la figure permettant l'identification des axes cristallographiques du cristal de glace analysé (c) : la facette noire correspond à la face basale tandis que les facettes verte, bleue et rouge correspondent aux faces prismatiques (collaboration CEN-LGGE-3SR).

Assimilation d'observation d'albédo dans le modèle de neige CROCUS, application pour la reconstruction du bilan de masse spatialisé d'un glacier tempéré

L'albédo est une des variables clefs du bilan énergétique de surface d'un glacier tempéré durant la saison d'ablation. Cette grandeur possède de plus une forte variabilité spatiale et temporelle ce qui fait de la télédétection un outil adapté pour son étude.

A partir d'images MODIS et de photographies terrestres, une méthode a été développée afin de déterminer des cartes d'albédo du glacier de Saint Sorlin (massif des Grandes Rousses, France).

Ces cartes sont assimilées par méthode variationnelle dans le modèle de neige CROCUS. Une version spatialisée de ce modèle est développée pour la reconstruction du bilan de masse spatialisé du glacier d'étude. Les forçages météorologiques utilisés proviennent du modèle SAFRAN. Pour cinq années hydrologiques, le modèle couplé avec la méthode d'assimilation des observations d'albédo donne une estimation non biaisée du bilan de masse annuel spatialisé sur trois des cinq années étudiées. L'erreur quadratique moyenne est inférieure à 0,5 m équivalent eau pour les cinq années étudiées.

Appliquée à d'autres glaciers tempérés, cette méthode permettrait une meilleure quantification des processus physiques mis en jeu dans le bilan de masse des glaciers tempérés ainsi qu'une meilleure compréhension des interactions complexes entre l'albédo, le bilan d'énergie de surface et le climat.

16

Modélisation distribuée de la production en eau du haut bassin versant nivo-glaciaire du Zongo (Bolivie, 4853-6014 m)

Les glaciers andins, situés dans une région clé pour la dynamique du climat mondial, en sont d'excellents indicateurs de variabilité. Leurs apports en eau maintiennent en saison sèche des débits d'étiage minimums, essentiels pour les populations vivant au pied des cordillères (tant pour l'hydroélectricité que l'eau potable). Pour prévoir le devenir nivo-glaciaire des hauts bassins andins, il importe au préalable de savoir reproduire sous le climat actuel l'évolution de la glace et de la neige et celle du débit des rivières. Faisant suite à des applications des modèles de manteau neigeux détaillés Crocus et ISBA-Crocus sur des sites locaux, une modélisation hydro-nivale distribuée du bassin versant (3,3 km²) englacé à 63 % du Zongo a été mise en œuvre pendant une période totale de 19 mois. Issue d'une collaboration entre Météo-France (CNRM/CEN), l'IRD et le LGGE, elle s'appuie sur les mesures de surface du SOERE/GLACIOCLIM.

Adaptés au contexte glaciaire, via l'introduction d'une représentation de la fraction d'enneigement, et aux caractéristiques du climat tropical, via notamment une nouvelle paramétrisation de l'albédo des cristaux de neige fraîche, les modèles se sont révélés performants pour simuler l'enneigement fugace des moraines, les variations de masse du glacier et au final, les débits du torrent émissaire. En complément à la validation de la modélisation, le fonctionnement nivo-hydrologique du haut bassin a été précisé quant à la distribution, en fonction de l'altitude et de la saison, des contributions en eau des surfaces glaciaires et morainiques, et la très forte vulnérabilité du glacier à un accroissement de +1°C de la température de l'air. Outre l'attente d'enseignements supplémentaires de ce travail, les premiers tests de sensibilité climatique vont être complétés.

17

Suivi in situ de la conductivité thermique de la neige alpine

La conductivité thermique d'un matériau quantifie sa capacité à transférer de l'énergie sous forme de chaleur. L'air et la glace, constituants principaux de la neige, possèdent des conductivités thermiques de l'ordre de 0,02 et 2,3 W/(m.K) respectivement. Les transferts thermiques sont donc environ 100 fois plus faciles dans la glace que dans l'air. Dans la neige, ils s'effectuent surtout dans la glace, à travers les grains et leurs points de contact. La conductivité thermique de la neige est donc intimement liée à l'organisation tridimensionnelle du réseau de cristaux de glace qui la compose. Cette dernière évolue sous l'effet des métamorphoses de la neige, qui dépendent en grande partie du gradient vertical de température.

Des sondes enfouies dans la neige sont utilisées pour mesurer sa conductivité thermique. Le Centre d'Etudes de la Neige (CNRM-GAME ; Météo-France/CNRS), conjointement avec le Laboratoire de Glaciologie et Géophysique de l'Environnement (CNRS/Université de Grenoble) a mis en œuvre cette méthode pour suivre l'évolution de la conductivité thermique du manteau neigeux sur le terrain. La conductivité thermique des couches de neige fraîche est faible, généralement de l'ordre de 0,05 W/m.K, ce qui confirme le caractère très isolant de ce type de neige. Elle augmente après la chute, traduisant des transformations rapides de ses propriétés physiques. L'augmentation de la conductivité thermique avec le temps s'explique au premier ordre par la densification sous l'effet du tassement, qui contribue à augmenter la densité de points de contact entre les cristaux de glace dans la neige.

La modélisation à l'échelle microscopique et macroscopique est mise en œuvre pour mieux comprendre et représenter l'évolution des propriétés thermiques de la neige au cours du temps.

18

Analyse et prévision de situations avalancheuses exceptionnelles : étude des événements de Février 1999 dans la vallée de Chamonix avec la chaîne SCM

Pour compléter notre connaissance des situations avalancheuses extrêmes, souvent partielle car basée sur de rares observations, nous avons utilisé la chaîne numérique d'estimation du risque d'avalanche SAFRAN – CROCUS – MEPR (SCM) en nous focalisant sur les événements extrêmes de Février 1999 dans la vallée de Chamonix.

La sensibilité du risque d'avalanche à divers facteurs nivo-météorologiques et la qualité des prévisions de la chaîne SCM, utilisée opérationnellement depuis 2005, ont été testées. Un nouvel indice décrivant l'instabilité du man-

teau neigeux en fonction de la quantité de neige mobilisable, de l'orientation, de l'altitude et de la pente a permis d'analyser les résultats. En Février 1999, les instabilités du manteau neigeux ont été principalement dues aux précipitations neigeuses intenses et significativement renforcées sous l'effet du transport de neige par le vent. Au contraire, les couches fragiles à la base du manteau neigeux n'ont probablement pas suffi à déclencher des avalanches, mais ont pu contribuer à leur volume. Les prévisions du risque d'avalanche sont fiables et facilitées par l'emploi de l'indice

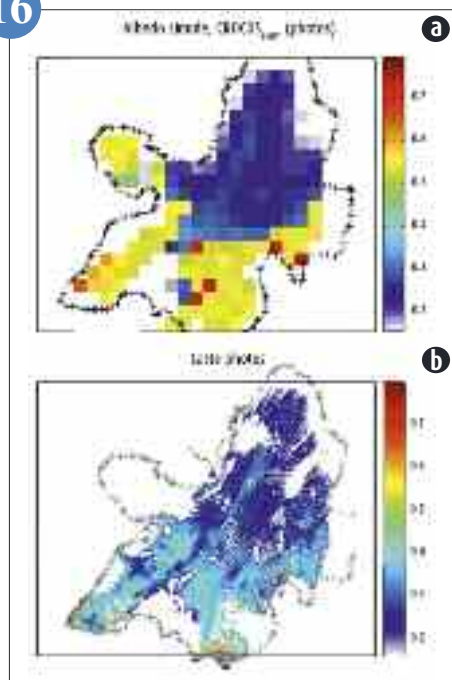
d'instabilité, qui permet une représentation fine du degré, de la localisation et de l'évolution des instabilités extrêmes.

Cette étude suggère que les modèles SCM sont adaptés à l'analyse et la prévision d'événements extrêmes à l'échelle du massif. Elle souligne également l'intérêt du traitement du transport de neige par le vent et de l'indice d'instabilité dans un contexte opérationnel.

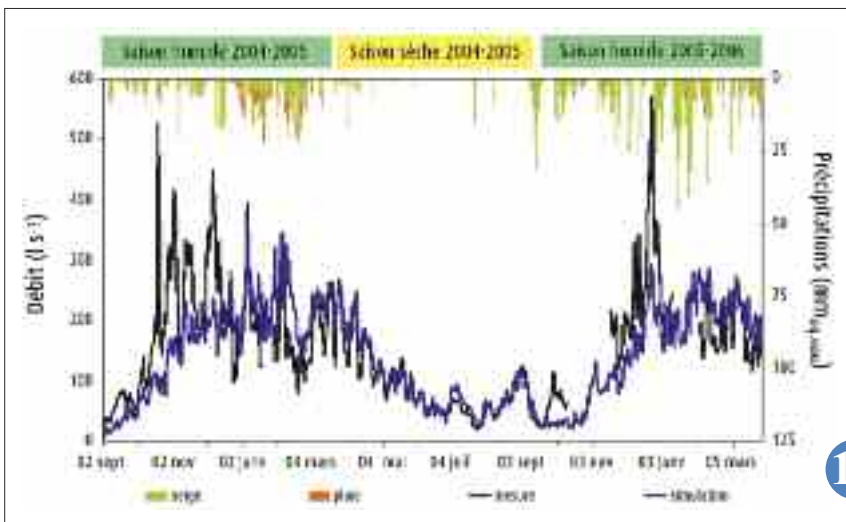
19

Débits quotidiens sur le haut bassin versant du Zongo (1^{er} septembre 2004 - 31 mars 2006) mesurés à 4 830 m (trait noir) et simulés (cumul des productions en eau des zones glaciaires et morainiques, trait bleu) et lames d'eau quotidiennes des précipitations à 5 050 m, pluvieuses (histogramme orange) et neigeuses (histogramme vert).

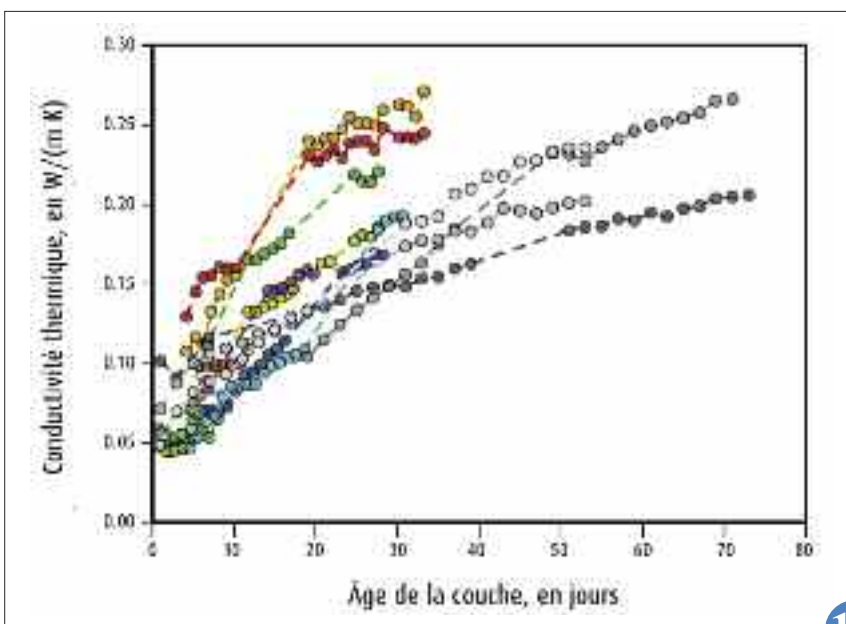
16



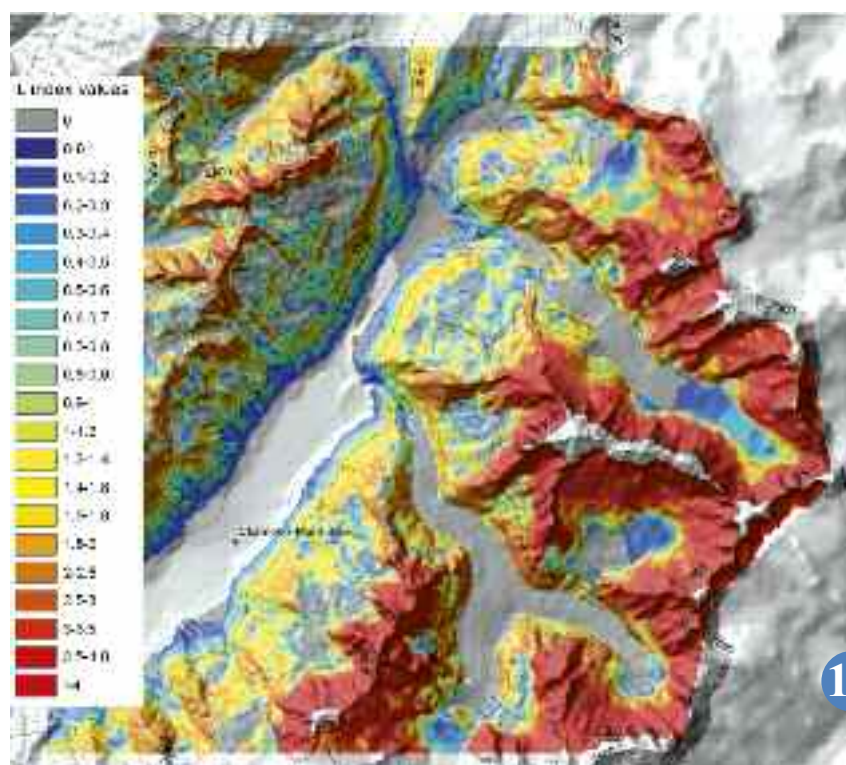
▲ a) Albédo simulé par CROCUS, assim nourri avec des cartes d'albédo provenant de photographies terrestres (résolution spatiale 10 m) ; b) Albédo observé à partir des photographies terrestres visibles et infrarouges. Ces deux cartes sont à la date du 16 juillet 2009 et représentent le glacier de Saint Sorlin.



17



18



19

▲ Évolution temporelle de la conductivité thermique de différentes couches de neige, mesurée sur le site d'Argentière (Massif du Mont Blanc) en 2008-2009 (4 sondes, courbes en niveaux de gris) et au col de Porte (Chartreuse, près de Grenoble) en 2009-2010 (8 sondes, courbes en couleur).

▲ Carte de l'indice d'instabilité du manteau neigeux le 9 Février à 12 UTC dans la vallée de Chamonix.

Instrumentation et campagne d'observation pour la recherche

L'année 2010 a été particulièrement riche en études expérimentales qui ont mobilisé les personnels et de nombreux moyens d'observation du CNRM. La campagne Concordiasi qui s'est déroulée en Antarctique dans le cadre de l'année polaire internationale est une initiative du CNRM qui en assurait la coordination. Elle a cependant mobilisé peu de moyens instrumentaux du CNRM qui ne sont pas adaptés à ce contexte expérimental, mais plutôt l'expertise de ses chercheurs et un membre du GMEI pour assurer les sondages depuis le site de Concordia.

Les moyens aéroportés ont été très actifs avec 4 campagnes de mesures, dont deux dédiées à la validation d'instruments spatiaux, et deux dédiées à des études de basse couche, pollution particulaire en région parisienne et observation infra-rouge de la surface. L'ATR 42 a par ailleurs largement contribué aux activités du réseau européen EUFAR avec une campagne trans-nationale à Madères au bénéfice de chercheurs portugais et une école d'été à Hyères sur la turbulence atmosphérique, organisée par l'institut des sciences atmosphériques et du climat de Rome.

Les équipes sol ont mené 9 campagnes de mesures qui couvrent un large panel d'applications scientifiques, télédétection de la microphysique nuageuse, pollution particulaire et validation du satellite SMOS en synergie avec les moyens aéroportés, études appliquées pour l'aéronautique, rafales de vent et brouillard sur aéroport, et enfin mise au point des techniques de scintillométrie pour les mesures de la turbulence et de la propagation électromagnétique en basse couche.

Outre ses contributions planifiées aux activités de recherche expérimentale, le CNRM a joué un rôle de premier plan pendant la crise qui a suivi l'éruption du volcan islandais. SAFIRE a reconfiguré ses deux avions pendant le week-end, le FA 20 en télédétection lidar et l'ATR 42 pour la mesure in situ des cendres volcaniques et chacun des deux avions a réalisé 5 vols de mesures qui ont largement contribué à la réouverture de l'espace aérien français.

Ce niveau d'activité de terrain ne laisse pas beaucoup de potentiel pour les développements instrumentaux qui ont cependant bien progressé sur la mise au point des mesures de turbulence sous ballon captif et la réalisation d'un système intégré autonome de mesure de l'aérosol atmosphérique.

Instrumentation aéroportée

Campagne de mesures CAROLS : validation des mesures satellite de l'humidité des sols et de la salinité océanique

Faisant suite à l'envoi réussi du satellite scientifique SMOS en novembre 2009, l'ATR 42 de Météo-France a embarqué l'instrument CAROLS pour une campagne de 3 mois. Les vols avaient pour but de valider les mesures du satellite ; à savoir la température de brillance et l'estimation de l'humidité des sols et de la salinité des océans. CAROLS est un radiomètre hyperfréquence (bande L), développé par le LATMOS en collaboration avec l'Université Technique du Danemark.

L'ATR 42 est opéré par SAFIRE, unité mixte de Météo-France, du CNRS et du CNES, en charge des avions de recherche français.

Après 3 campagnes de tests en 2007, 2008 et 2009 qui ont permis de valider la qualité

de l'instrument et d'acquérir une large base de données scientifiques sur différents sites d'études (Golf de Gascogne, sud ouest de la France, Valence (Espagne)), l'ATR 42 était prêt pour ces mesures synchronisées avec les passages du satellite. Les données de l'avion et du satellite sont ainsi comparées afin de valider l'étalonnage et la qualité des données du capteur spatial.

La campagne de mesures s'est déroulée sur 3 mois (Avril à Juin 2010), au départ de Toulouse, à raison d'un vol tous les 3 jours environ. Malgré quelques vols reportés en raison de l'épisode de cendres volcaniques qui a bloqué le ciel européen, les objectifs scientifiques ont été atteints. Une large base

de données a été créée et disponible pour les partenaires : CESBIO, LATMOS, LOCEAN, Météo-France, INRA-Bordeaux, Université de Valence, CNES, ESA.

La campagne se clôt fin 2010 par 10 jours de survol océanique au départ de Brest. Pour l'occasion, le radar STORM est également monté dans l'avion. Ce radar renseigne sur l'état de la mer et les hauteurs de vagues.

1



1



▲ L'une des 2 antennes CAROLS montée dans la fosse arrière de l'ATR 42.

▶ Plan de vol réalisé par l'ATR 42 au-dessus du Golf de Gascogne.

Campagne Megha-Tropiques : étude microphysique des nuages tropicaux

La campagne scientifique Megha-Tropiques vise à valider les mesures du satellite éponyme. Ce satellite Franco-Indien survolera les tropiques et mesurera le contenu en eau et l'état microphysique (eau ou glace) dans les nuages. Ces données sont particulièrement intéressantes en saison de mousson.

Pour préparer la future validation du satellite (lancement 2011), le Falcon 20 de SAFIRE a été équipé du radar RASTA développé par le LATMOS (Paris) et de nombreux capteurs de microphysique placés sous les ailes (opérations conjointes avec le LaMP de Clermont-Ferrand).

Bien que le satellite ne soit pas encore lancé, les mesures réalisées au Niger ont permis de mieux connaître les teneurs en eau liquide ou glace dans les orages tropicaux ainsi que de valider les mesures réalisées à distance par les radars sols.

A Niamey, 2 radars étaient disponibles au sol et une grande majorité des vols ont pu être effectués à proximité de ces équipements.

Les conditions rencontrées ont été excellentes tout le mois d'août 2010 et les données engrangées sont très prometteuses.

L'avion et les instruments sont maintenant prêts pour la campagne de validation du satellite qui devrait avoir lieu l'été 2011 dans l'océan indien.

2

Le Piper, un avion léger pour des mesures au-dessus de la ville

En 2010, le petit bi-moteur Piper-Aztec de SAFIRE a repris du service scientifique à travers deux campagnes de mesures au dessus des villes de Paris et Nantes.

Peu utilisé par la communauté scientifique française depuis l'arrivée des 2 gros porteurs ATR 42 et Falcon 20 dans la flotte de SAFIRE en 2006, le Piper-Aztec a démontré son intérêt dans les mesures au dessus des villes. C'est en effet un avion assez petit pour que le survol des agglomérations soit possible à basse altitude. A cet atout, s'ajoute un coût d'exploitation très faible.

Le Piper-Aztec est l'avion le plus ancien opéré par SAFIRE, unité mixte de service du CNRS, de Météo-France et du CNES. Cet avion peut embarquer des caméras (trou dans le plancher du fuselage, des analyseurs de chimie (veines de prélèvement d'air) ou des capteurs sous les ailes.

MEGAPOLI

En Janvier et Février 2010, le Piper a réalisé des vols autour de Paris afin d'étudier le vieillissement des polluants dans l'air, sous le vent de la capitale.

Les conditions météorologiques attendues (anticyclone) n'ont pas été très fréquentes, mais le Piper a néanmoins permis de collecter des données intéressantes.

FLUXSAP

En Mai 2010, le Piper-Aztec a survolé la ville de Nantes avec une caméra infrarouge. Ces mesures de température de surface des bâtiments étaient complémentaires de plusieurs équipements disposés au sol ou sur des mâts instrumentés.

En 2010, l'intérêt des vols effectués par le Piper-Aztec a été une nouvelle fois démontré. L'avion devrait effectuer une nouvelle campagne d'étude de la turbulence dans les basses couches de l'atmosphère en juillet 2011, au départ de Toulouse.

3

L'implication européenne des avions de recherche

A l'heure où la recherche aéroportée s'organise au niveau européen (projet EUFAR), « SAFIRE », l'opérateur français des avions de recherche, s'affirme comme un acteur de poids dans la démarche de coopération européenne.

Sur une trentaine d'avions de recherche disponibles en Europe, SAFIRE est opérateur de 3 d'entre eux, notamment l'un des 4 jets (le Falcon 20) et l'un des 3 gros porteurs troposphériques (l'ATR 42).

L'ATR 42 est ainsi souvent mis à disposition de la communauté scientifique européenne dans le cadre du projet EUFAR. C'est un avion très demandé, car il peut emporter de nombreux passagers (jusque 9 places en cabine) et une charge utile scientifique importante (2 tonnes). En 2010, l'avion a été sollicité pour une école d'été qui a formé 20 jeunes scientifiques à la mesure à partir d'avions. L'ATR 42 a également été utilisé pour effectuer des survols de l'île de Madère au profit de 2 équipes de chercheurs portugais (étude de la gravité et étude des vortex turbulents sous le vent de l'île).

Météo-France et son unité SAFIRE ont également initié une démarche de partenariat transnational pour les opérations des avions. L'objectif est de faciliter l'accès aux avions pour les chercheurs des pays n'ayant pas de vecteur tout en consolidant les effectifs et les moyens de l'équipe SAFIRE.

Cette démarche est en passe d'aboutir sur un grand accord multilatéral via le projet européen COPAL.

4



2

◀ Refueling du Falcon 20 à Niamey, NIGER.



3

◀ Les veines de prélèvement d'air du Piper-Aztec.

Des étudiants européens devant l'ATR 42 lors de l'école d'été TETRAD à Hyères, France. Septembre 2010.



4

Instrumentation in situ – télédétection

La campagne Concordiasi

La genèse de Concordiasi

Concordia est le nom d'une station polaire franco-italienne, située à plus de 1 000 km à l'intérieur du continent antarctique, et IASI, l'acronyme d'un instrument de mesure satellitaire (Interféromètre Atmosphérique de Sondage Infrarouge) qui mesure, avec une précision inégalée, température, humidité et chimie de l'atmosphère. L'idée d'associer les données de IASI aux mesures effectuées par les ballons-sondes lâchés depuis Concordia a germé lors d'une discussion entre des chercheurs de Météo-France et du Laboratoire de Glaciologie et Géophysique de l'Environnement. La campagne de mesures Concordiasi était née, sous la coordination de Météo-France et avec le soutien majeur du CNES et le soutien logistique de l'IPEV.

Concordiasi vise principalement à améliorer la connaissance de l'atmosphère polaire et la surveillance du climat, ainsi qu'à mieux utiliser les données des satellites météorologiques dans les modèles de prévision du temps.

Le projet Concordiasi a pris de l'ampleur quand, aux radiosondages classiques, sont venus s'ajouter des ballons stratosphériques pressurisés développés par le CNES. Gonflés à l'hélium, ces aérostats d'un diamètre de 12 m sont capables de se maintenir à 17 km d'altitude pendant plusieurs mois avec une

charge de 50 kg. Le dispositif de mesure comprend 19 de ces ballons plafonnants, préparés et lâchés depuis la base américaine de McMurdo, en Antarctique.

Treize ballons emportent chacun cinquante sondes largables (« dropsondes »), fournies par le NCAR (National Center for Atmospheric Research, aux États-Unis). Le largage des sondes est télécommandé depuis Toulouse. Les mesures prises pendant la descente sous parachute de chacune de ces sondes classiques donnent le profil vertical de l'atmosphère en autant de points précis, inaccessibles par d'autres moyens.

Des chercheurs du Laboratoire de Météorologie Dynamique, des universités du Wyoming, du Colorado et de Purdue, dans l'Indiana, se sont également associés au projet. Ils ont conçu divers capteurs à envoyer dans l'atmosphère pour mesurer les mouvements de la haute atmosphère, étudier sa composition chimique et suivre l'évolution de l'ozone pour mieux comprendre ce qui conduit à sa destruction. Ces capteurs sont embarqués sur 6 des ballons stratosphériques.

5

Enrichir les observations en Antarctique pour améliorer les prévisions météorologiques et suivre l'évolution du climat

Les observations sur les régions polaires demeurent rares. En Antarctique, elles sont fournies par 13 stations réparties principalement en bordure de cet immense continent de 13 millions de km². Cette couverture par radiosondages de l'Antarctique se révèle très insuffisante pour décrire avec précision l'atmosphère sur tout le continent. En revanche, les satellites d'observation de la Terre à orbite polaire fournissent, sur toute la région, une quantité de données considérable.

Pour exploiter au mieux les mesures satellitaires, il est nécessaire de valider leur utilisation à l'aide d'observations relevées sur le terrain. L'objectif de Concordiasi consiste à produire des données de radiosondage complémentaires de celles effectuées par les stations opérationnelles sur une période

déterminée, en des lieux inaccessibles par un autre moyen (notamment à l'intérieur du continent). Nous pourrions ainsi vérifier que les données produites par le sondeur IASI du satellite MetOp sont utilisées de manière pertinente pour ajuster le modèle météorologique, sur des points de mesure nombreux et représentatifs de toute la région. Le cas échéant, des améliorations seront apportées aux algorithmes et intégrées aux futures versions des modèles de prévision du temps qui servent également à effectuer un suivi du climat.

6

Premiers résultats

Au cours de la première phase de la campagne Concordiasi (printemps austral 2008 et 2009), des mesures in situ ont été réalisées à la station Concordia, située à 1 000 km à l'intérieur du continent, lors des passages du satellite MetOp. Elles ont été comparées à des profils de l'atmosphère issus du modèle de prévision de Météo-France. Il a été constaté que le modèle de prévision manquait de précision pour simuler correctement la température de surface à Concordia. Par contre, l'utilisation combinée de IASI et du modèle s'est révélée positive car elle permet de se rapprocher nettement des mesures in situ réalisées notamment par un ingénieur de Météo-France envoyé en mission sur place (figures a et b). Ceci permet de valider l'utilisation des données IASI pour ajuster le modèle dans cet environnement très particulier de la station de Concordia.

La seconde phase de Concordiasi, de septembre à novembre 2010, permettra d'étendre les réglages à une zone beaucoup plus large et dans des conditions météorologiques variées.

L'ensemble des mesures de dropsondes effectuées depuis le début de la campagne est représenté sur la carte (figure c).

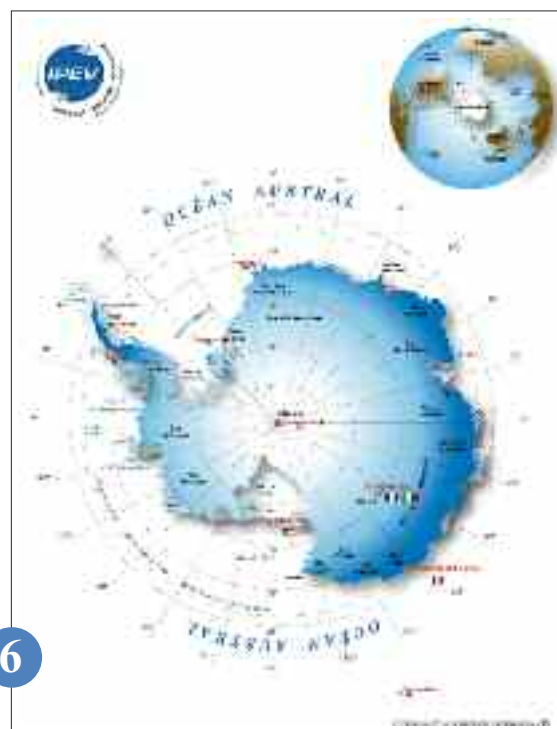
Deux critères principaux ont été définis pour déclencher le largage. Le premier critère consiste à rechercher si la trajectoire du ballon plafonnant se trouve sur le passage du satellite MetOp (voir figure d). Un deuxième critère concerne le survol par un ballon d'une zone pertinente du point de vue météorologique, c'est-à-dire susceptible de fournir des données d'observation supplémentaires permettant d'améliorer significativement la prévision. En complément de ces dropsondes, plusieurs stations ont également été sollicitées pour réaliser des sondages supplémentaires : la station française de Dumont d'Urville, la base franco-italienne de Concordia et la station britannique de Rothera.

7



5

Photo de ballon stratosphérique lancé depuis McMurdo, Philippe Cocquerez, CNES.

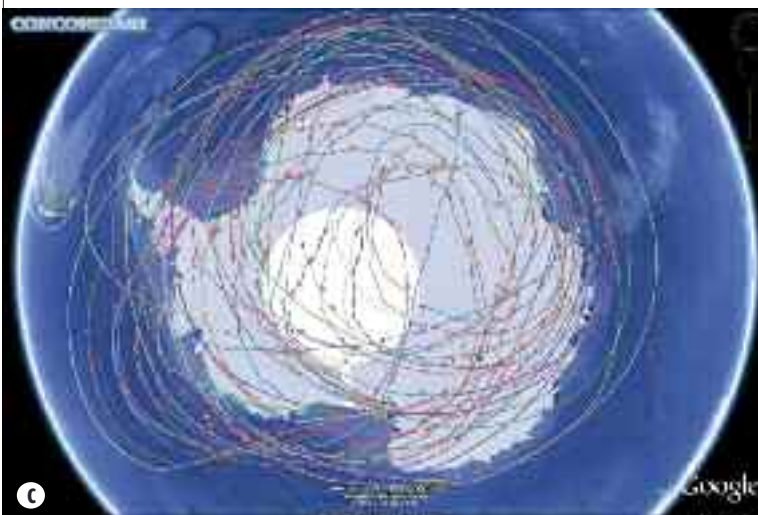
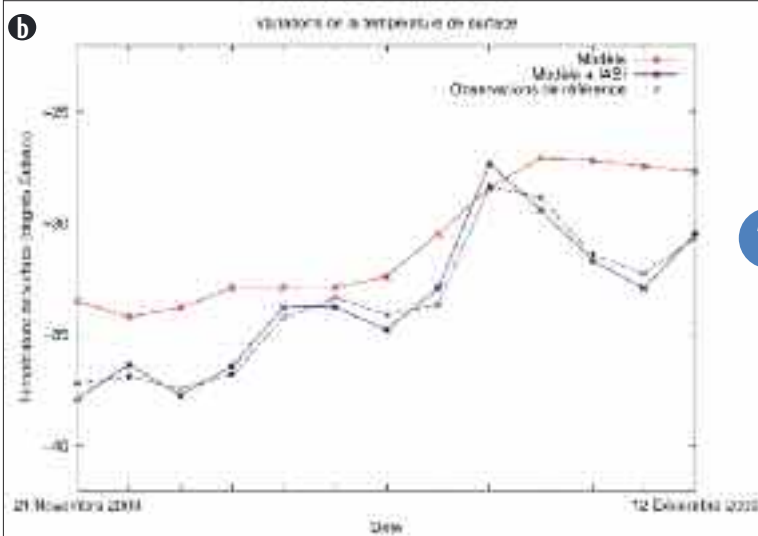


6

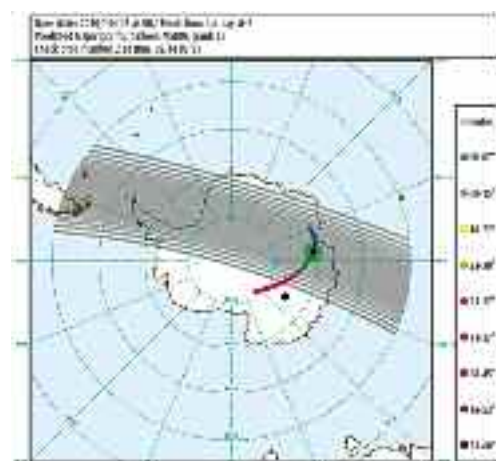
Carte de l'Antarctique (fournie par l'institut polaire français IPEV).

Image d'Olivier Traullé prenant des mesures à Concordia.

Série temporelle de température de surface à Concordia. Le modèle est représenté en rouge, le modèle ajusté avec les données IASI en bleu et les observations in situ en noir. Sur cette figure, on constate un écart de quelques degrés entre les prévisions du modèle et les données observées sur place. Quand on ajuste le modèle à l'aide des données IASI, on se rapproche nettement des mesures faites sur le terrain.



7



d

▲ Prévision pour le 8 octobre 2010 de la fauchée du satellite MetOp contenant IASI (zone grise) et de la position d'un ballon plafonnant (ligne colorée). La ligne colorée correspond à la prévision de trajectoire du ballon pour le 8 octobre. Le triangle noir indique la position optimale pour larguer la sonde. Si ce lâcher est réalisé à 2 heures et 14 minutes, il sera complètement en phase avec le satellite (à moins de 7 minutes près).

► Localisation des 275 dropsondes larguées entre le 23 septembre et le 19 octobre 2010.

Des prévisions locales spécifiques pour planifier les opérations

Les opérations de lâcher de ballons sont tributaires du vent au sol, fréquent et potentiellement puissant en Antarctique. Sur place, les équipes bénéficient du soutien météorologique de la station scientifique américaine de McMurdo, qui dispose de données d'observations et d'informations provenant de différents modèles numériques. De plus, des prévisions météorologiques sont fournies pour l'occasion par Météo-France. Une combinaison de modèles numériques spécialement adaptés pour obtenir une description fine de l'atmosphère sur ces régions polaires tourne en routine sur le supercalculateur de Toulouse. Le premier, ARPEGE, est un modèle global d'une résolution d'une dizaine de kilomètres en Antarctique, adapté du modèle global opérationnel. Le second, AROME, d'une résolution de 2,5 km, permet de faire des prévisions fines sur la région autour de la station McMurdo. En effet, disposer d'un modèle avec une très bonne définition du relief est capital pour bien prévoir les vents dans la région. Les prévisions sont transmises deux fois par jour : le matin pour pla-

nifier les opérations à mener dans la journée et le soir pour anticiper les activités du lendemain. Les prévisions ont été très appréciées de l'équipe technique sur place, notamment lors du lâcher effectué le 11 septembre (figure 8).

Remerciements : Les partenaires scientifiques du programme sont les suivants : Centre National de Recherches Météorologiques (Météo-France/CNRS) – coordinateur du programme, CNES, CNRS/INSU, NSF, NCAR, Université du Wyoming, Université Purdue, Université du Colorado, Institut Alfred Wegener, Met Office et CEPMMT. Concordiasi bénéficie également du soutien logistique ou financier des agences polaires : IPEV, PNRA, USAP et BAS. Concordiasi fait partie des projets soutenus dans le cadre de l'Année Polaire Internationale et du programme international THORPEX.

8

Impact des mégacités sur la pollution atmosphérique à l'échelle régionale : l'expérience MEGAPOLI-Hiver

Le projet MEGAPOLI vise à donner une description complète, cohérente et quantitative de l'impact des Mégacités sur la qualité de l'air, la composition chimique de la troposphère et le climat. L'étude de la pollution particulière en Île-de-France constitue le point focal du projet, avec notamment l'organisation d'une campagne expérimentale d'envergure afin de mieux comprendre et quantifier les sources de pollution particulière. Cette région a été choisie comme terrain d'étude du fait de sa charge élevée de pollution, du contraste fort entre ses régions urbaines et rurales, et de la présence d'un réseau dense de surveillance de la qualité de l'air. Après la campagne estivale qui s'est déroulée en juillet 2009, une campagne hivernale a été organisée entre mi-janvier et mi-février 2010. L'équipe GMEI/MNPCA du CNRM-GAME a tout d'abord instrumenté le site du SIRTa au sol : compteurs de particules, de noyaux de condensation nuageuse et de gouttelettes de brouillard, et analyseurs

du spectre de taille des particules et des gouttelettes. Puis, le piper Aztec de SAFIRE a rejoint l'aérodrome de Pontoise, où il a séjourné jusqu'à mi-février. Lors de la campagne hivernale, étant donné que l'épaisseur de la couche limite était plus faible, les phénomènes de pollution atmosphérique ont été le plus souvent observés à des altitudes moins élevées qu'en été. L'implication du Piper instrumenté dans une configuration allégée pour la mesure des aérosols (propriétés physico-chimiques) et des gaz (O_3 , NO_x) a donc été jugée suffisante pour cette campagne (alors que l'ATR avait été utilisé lors de la campagne estivale). Les partenaires plus particulièrement impliqués dans l'analyse de cette phase hivernale sont : le CNRS (LSCE, LISA, LCP, LGGE, LaMP, LMD), le MPI-C (Mayence), PSI (Zürich), l'INERIS, et Leosphere.

9

Développement de mesure de turbulence sous ballon captif

La mesure de la turbulence sur toute l'épaisseur de la couche limite atmosphérique reste délicate à mettre en œuvre. Elle est parfois réalisée à partir de mâts de grandes hauteurs lorsqu'on s'intéresse aux premières centaines de mètres au-dessus du sol. Au delà, il devient nécessaire d'utiliser des moyens aéroportés qui sont fortement dépendants de la réglementation aéronautique et des caractéristiques et limites de vol des supports, ou des moyens de télédétection. Le ballon captif gonflé à l'hélium constitue une alternative intéressante et d'une mise œuvre aisée lors de campagnes de mesures ponctuelles. Ce type de ballon, de petite taille, permet d'embarquer une instrumentation légère entre le sol et le sommet de la couche limite. En 2010, le CNRM a débuté la conception d'une sonde autonome et d'un poids inférieur à 2 Kg pour l'estimation de la turbulence atmosphérique. La sonde est bâtie autour d'un système d'acquisition haute fréquence (10 Hz) à base de microcontrôleurs, d'un anémomètre sonique et d'une centrale d'attitude et de positionnement GPS. La centrale d'attitude permet la correction des mesures de vent perturbées par les mouvements du ballon et de la sonde. Associé à un thermomètre rapide, le système permettra aussi l'estimation du flux de chaleur sensible à plusieurs niveaux. Les premiers essais réalisés en août 2010 au Centre de Recherche Atmosphérique de Lannemezan ont permis de confirmer les caractéristiques de vol du prototype et de constituer un jeu de données permettant la mise au point des algorithmes de traitement et de correction. On disposera ainsi d'un outil simple pour l'estimation de la turbulence utilisable pendant les campagnes de mesures dans la couche limite ou pour la validation de système de mesures par télédétection.

10

8



- ▲ Prévision AROME le 10 septembre permettant d'anticiper un créneau favorable (vent faible) pour un lâcher de ballon le 11 septembre à 3 heures du matin. Les prévisions du modèle sont en vert, et les observations locales en rouge. On constate la forte variabilité de la force du vent, qui est reproduite dans ses grandes lignes par le modèle.

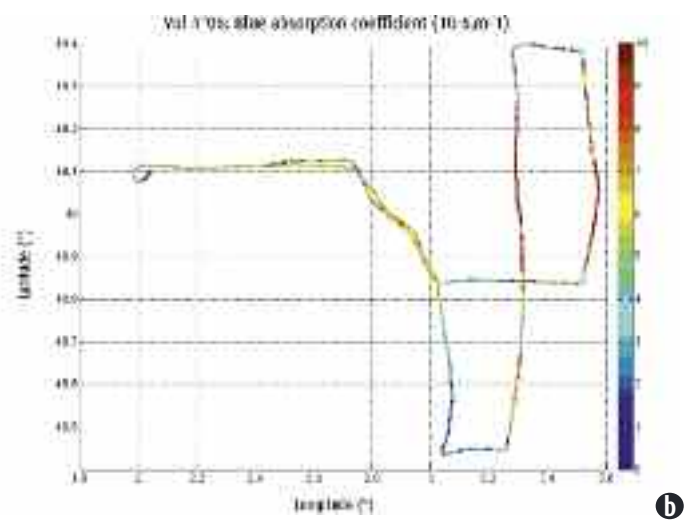
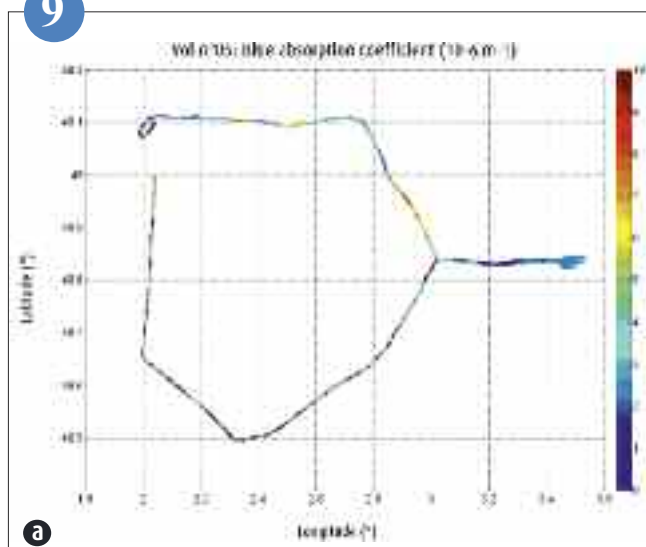
10



- ▲ Ballon captif et sonde de mesure de turbulence pendant les tests.



9



- ▲ Coefficient d'absorption de la lumière par des particules d'aérosol lors des vols scientifiques du 31 janvier 2010,
(a) le matin autour de Paris,
(b) l'après-midi dans le secteur situé à l'est de Paris. On peut clairement distinguer le transport de particules absorbantes vers l'est de Paris.
(c) Membres de l'équipe de SAFIRE impliqués dans la campagne MEGAPOLI-Hiver devant le Piper Aztec instrumenté.



Une campagne pour la microphysique des précipitations en région toulousaine (hiver 2009-2010)

La campagne de mesure CIDEX est une expérience pluridisciplinaire qui s'intéresse à l'étude de la microphysique des précipitations et à la prévision du risque de givrage aéronautique.

Les principaux objectifs de cette expérience sont de tester de nouvelles méthodes d'étalonnage adaptées aux radars polarimétriques, de déterminer leur capacité à détecter l'eau surfondue, et de mieux comprendre les conditions thermodynamiques et dynamiques propices à l'apparition du phénomène de givrage.

Ce projet repose sur l'exploitation de la synergie instrumentale entre différents types de radars mis en œuvre par le CNRM/GAME et le LaMP. Le dispositif expérimental, constitué d'un ensemble d'instruments de recherche (Micro Rain Radars, profileurs de vent UHF et VHF, radars en bande X, disdromètres, pluviomètres et radiosondages), a été déployé pendant 2 mois sur quatre sites distincts au voisinage du radar opérationnel polarimétrique de Toulouse.

Bien que les cumuls de précipitations relevés en région toulousaine au cours de l'hiver

2009-2010 aient été sensiblement inférieurs à la moyenne, de nombreux cas intéressants, parmi lesquels la tempête de neige du 8 Mars 2010, ont pu être échantillonnés et sont actuellement en cours d'analyse. Les études menées pendant CIDEX vont par ailleurs se poursuivre prochainement dans les Alpes du Sud avec l'installation, pour 18 mois, d'une partie du dispositif expérimental dans la vallée du Var dans le cadre du projet RHYTMME.

11

11



▲ Site CIDEX de Castanet avec profileur de vent Uhf, radar band X, MRR...

Valorisation et Communication

La valorisation des activités de recherche passe par une politique de communication interne et externe ambitieuse, visant à faire connaître et partager les récentes avancées dans le domaine des sciences de la météorologie, du climat et de l'environnement.

Outre les colloques organisés annuellement – les Ateliers de Modélisation de l'Atmosphère 2010 sur le thème « Sources d'incertitudes dans la modélisation » avec une journée sur les paramétrisations physiques, qui constituent un rassemblement annuel de la communauté scientifique francophone, et les Rencontres R&D de Météo-France sur le manteau neigeux en 2010 qui permettent des échanges entre tous les acteurs de la recherche à Météo-France – on retiendra pour 2010 une journée consacrée au changement climatique et à la communication sur les incertitudes, ainsi que la conférence ICARE, organisée sur le site de la météopole à Toulouse.

L'année 2010 a vu le démarrage d'une refonte complète du site web de la principale unité de recherche, le CNRM-GAME. Ce travail de grande ampleur s'est concrétisé par l'ouverture d'un nouveau site dans une version presque complète et se poursuivra par un important travail de mise à jour des informations. Il permet une meilleure visibilité des activités de recherche menées à Météo-France.

Au-delà des actions de communication, la valorisation en interne passe par une appropriation et une utilisation plus large des avancées en R&D par les différents services de Météo-France.

Pour 2010, figurent parmi les actions phares, le développement de nouveaux types d'adaptation statistique des sorties de modèles numériques, une utilisation plus poussée des prévisions d'ensemble et une appropriation des modèles de prévision numérique du temps par les bureaux d'études.

Descente d'échelle dynamique : Outils du Bureau d'Études et Consultance (BEC)

La modélisation à méso-échelle vit actuellement une évolution importante : les modèles deviennent progressivement des outils d'utilisateur final. Cette mutation stimule le développement d'interfaces ergonomiques, étend les domaines d'application au-delà de la météorologie, multiplie les opportunités de validation.

L'outil Armillaire, développé conjointement par le Bureau BEC de la DP et par la CDMA, répond à une double ambition : proposer une Interface Homme Machine permettant de gérer l'ensemble des tâches complexes de la descente d'échelle dynamique et disposer d'un ensemble de productions pré-définies. Armillaire s'appuie sur l'environnement de configuration d'expériences et d'exécution OLIVE. Deux expériences type basées sur AROME ont été définies : une expérience « temps réel » (forcée par IFS, ARPEGE ou ALADIN) et une expérience « ré-analyse » (forcée par des ré-analyses ERA-40 ou ERA-Interim). Armillaire a été déployé en décembre 2010 au CISMF, permettant de répondre aux demandes diverses des armées, sur les théâtres extérieurs.

La Défense n'étant pas le seul demandeur en données de méso-échelle, BEC a acquis des compétences et développé des outils dans divers domaines : l'éolien (sélection de situations représentatives), l'hydrologie (utilisation du modèle Top-Model) etc... L'année 2011 sera l'occasion d'étoffer l'offre de service définie par BEC, pour la mise en œuvre de descentes d'échelle dynamiques.

1

Copie d'écran
de la page « théâtres » d'armillaire.



Utilisation des prévisions d'ensemble au CNP dans le cadre de la courte échéance

Un des buts du projet Prévi-Prob est de poursuivre l'amélioration de la prise en compte au CNP des incertitudes des prévisions déterministes à J+2/J+3, avec un souhait de promouvoir les prévisions d'ensemble de différents centres (Météo-France, Centre européen, Canada, USA).

Dans ce cadre, une expérimentation a été effectuée au Laboratoire de Prévision (LABO) au cours de l'hiver 2009-10. Elle a permis de formaliser les approches préexistantes au CNP, pour tester les outils existants ou en susciter de nouveaux (comme les « smarties »). L'implication des prévisionnistes a été importante, l'apport des prévisions d'ensemble ayant été jugé intéressant, avec la rédaction d'un guide méthodologique.

L'expérimentation engagée en 2010 devrait se poursuivre au CNP à partir de l'automne 2010 et en 2011, en reprenant et en prolongeant ce qui a été testé au LABO, avec par exemple la mise en place d'un contrôle plus systématique et une réflexion à mener pour J+1 ?

2

Un nouveau site Internet pour le CNRM-GAME

Le CNRM a entrepris en 2010 une refonte de son site Internet externe, qui s'est concrétisée par son ouverture en décembre 2010. Les principaux objectifs de cette action étaient les suivants :

- bâtir un véritable site de laboratoire, permettant d'offrir une meilleure visibilité aux différentes actions de recherche conduites par le Centre, en complémentarité avec les informations de vulgarisation scientifique disponibles sur les sites Internet de Météo-France ou du CNRS,

- permettre des mises à jour aisées des informations, en répartissant le travail d'actualisation sur un grand nombre de rédacteurs potentiels, grâce à une architecture basée sur un outil de gestion de contenu élaboré,

- offrir aux chercheurs permanents et non permanents la possibilité de disposer de pages personnelles.

Différentes maquettes du futur site ont été réalisées et évaluées au cours du 1er trimestre. Au final, c'est une solution basée sur SP/IP et dotée d'une atmosphère graphique rappelant les 2 tutelles du laboratoire (Météo-France et

CNRS) qui a été retenue. Le découpage thématique de présentation de nos activités repose en grande partie sur le plan du dernier rapport quadriennal GAME. La présentation synthétique des différents projets de recherche dans lesquels le CNRM est impliqué est disponible via différentes grilles de lecture (par thématique, par financeur, par niveau de responsabilité). De même, l'accès aux publications scientifiques du laboratoire peut se faire selon différents critères, et permet ainsi un accès rapide à l'information recherchée.

L'alimentation du site s'est faite progressivement à compter de la rentrée 2010. Grâce à la forte implication de chacune des unités du Centre, le contenu a été jugé suffisamment riche pour que son ouverture officielle puisse avoir lieu en fin d'année (accès via l'adresse : <http://www.cnrn-game.fr/>). L'enrichissement du site se poursuivra en 2011, pour couvrir de façon exhaustive les différentes activités du laboratoire.

3

ICARE

Météo-France coordonne, depuis sa création en 2000, le réseau européen des avions de recherche pour l'environnement : EUFAR (European Facilities for Airborne Research in environmental and geoscience). Doté d'une allocation de 8 M€ dans le 7^e Programme Cadre (2008-2012) de la Commission Européenne, EUFAR coordonne les activités d'une vingtaine d'opérateurs ouvrant accès à une trentaine d'avions instrumentés pour la recherche. EUFAR mène aussi des activités d'intégration pour le transfert de connaissance, la définition de standards et protocoles, la constitution d'un portail unique pour les données collectées et l'organisation de sessions de formation pour les jeunes chercheurs. Enfin, le réseau conduit trois activités de recherche collaborative pour le développement de nouveaux instruments aéroportés et de logiciels avancés pour l'observation hyper-spectrale de la surface. Suivant une initiative d'EUFAR et dans le cadre de la feuille de route des nouvelles infrastructures (ESFRI), la Commission européenne soutient également l'avant-projet COPAL (Community Heavy-Payload and Long Endurance Research Aircraft), coordonné par Météo-France, qui concerne l'étude d'un avion européen à charge utile lourde et long rayon d'action (type C130 ou Airbus 400M), lequel manque encore à la panoplie des avions de recherche européens.

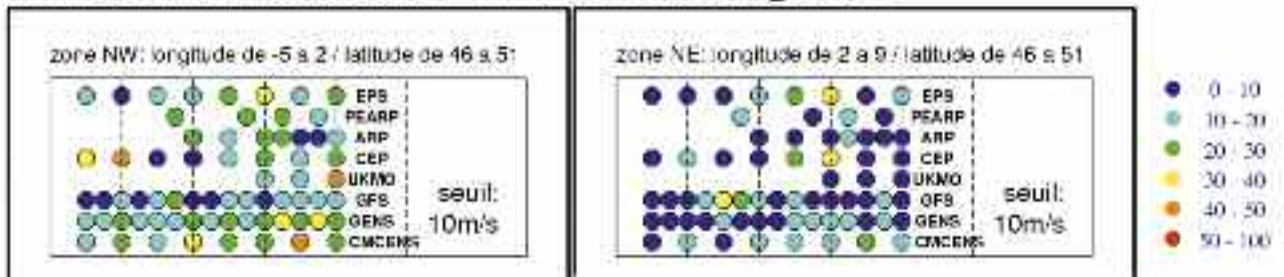
Pour célébrer les 10 ans du réseau, Météo-France a organisé du 25 au 29 octobre 2010 une conférence internationale sur la mesure aéroportée avec le soutien du CNRS, du CNES, de l'Aéroport de Toulouse-Blagnac, du

RTRA-STAE, d'Airbus, du programme européen IAGOS, du Conseil Régional Midi-Pyrénées, du Conseil Général de la Haute-Garonne, de la Communauté Urbaine du Grand Toulouse, des Mairies de Toulouse et Blagnac. Plus de 200 experts internationaux de la mesure aéroportée et des représentants de la Commission Européenne, de l'ESA et du RTRA ont présenté leur vision des technologies émergentes pour la mesure aéroportée, des besoins scientifiques et nouveaux challenges pour la recherche, du management des infrastructures de recherche en Europe et aux Etats-Unis et des perspectives à court et moyen terme dans ce domaine. L'ensemble des présentations est accessible sur le site du réseau www.eufar.net/icare.

La conférence était suivie d'une campagne d'inter étalonnage de 12 avions de recherche, de l'aile volante de l'Université de Karlsruhe à l'Hercule C130 du NCAR aux USA, sur la plate-forme de Toulouse-Blagnac. Grâce au soutien actif de la CCER, les avions ont pu réaliser 12 vols dans les conditions très spéciales requises pour l'inter-étalonnage, dont plusieurs vols en patrouille. Vingt jeunes chercheurs européens ont été formés au traitement des données collectées et ils les analysent maintenant pour en évaluer la qualité. Enfin, 60 exposants du milieu de la recherche aéroportée et de l'aéronautique ont présenté, du 29 au 31 octobre 2010, leurs produits et leurs savoir faire dans le hall de l'aéroport d'affaires.

4

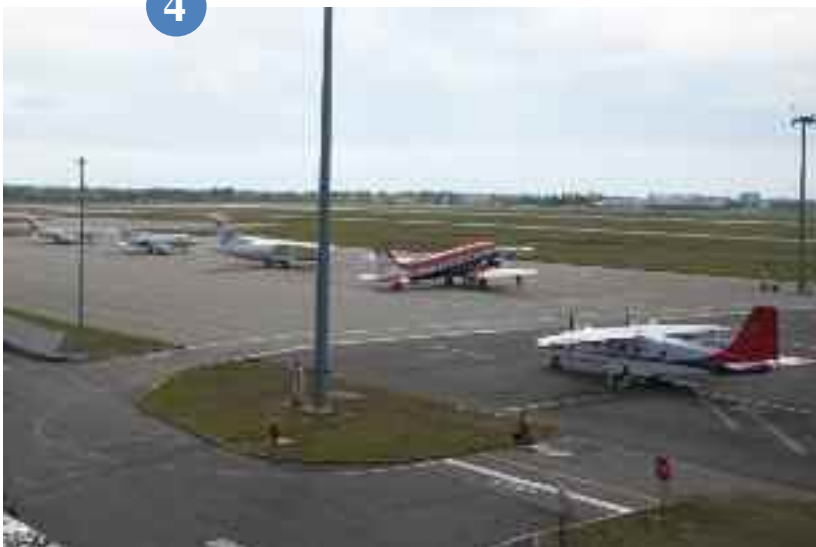
Vent moyen 10m : pourcentage de points sur terre supérieur à un seuil
pour le 20100331 0 UTC, par modèle et domaine géographique
date de référence : 20100329 00 UTC - date de trace : 20100329_1905UTC



▲ Les « smarties » associées aux risques de voir le vent dépasser un seuil donné pour une proportion plus ou moins importante de points, pour différents domaines, (1/4 de France) et différents modèles ou ensembles. L'échelle de couleur indique la proportion (en %) des points où le seuil est dépassé. On peut apprécier, en allant vers la gauche, la stabilité des prévisions issues des réseaux antérieurs (pas de 6 h, traits verticaux journaliers).



◀ La page d'accueil du nouveau site Internet du CNRM-GAME.



◀ Avions de recherche sur le tarmac de l'aéroport d'affaires de Toulouse-Blagnac.

Annexes

Liste des publications scientifiques 2010

Publications scientifiques dans des revues de rang « a » (facteur d'impact > 1)

- Agusti-Panareda A., A. Beljaars, M. Ahlgrimm, G. Balsamo, O. Bock, R. Forbes, A. Ghelli, F. Guichard, M. Köhler, R. Meynadier and J.-J. Morcrette, 2010: The ECMWF re-analysis for the AMMA observational campaign. Volume: 136. Issue: 651. Pages: 1457-1472 – Quart. J. Royal Meteorological Society. Doi: 10.1002/qj.662.
- Albergel C., J.-C. Calvet, A.-L. Gibelin, S. Lafont, J.-L. Roujean, C. Berne, O. Traullé, N. Fritz, 2010: "Observed and modelled gross primary production and ecosystem respiration of a grassland in southwestern France", *Biogeosciences*, 7, 1657-1668, 2010.
- Albergel C., J.-C. Calvet, P. de Rosnay, G. Balsamo, W. Wagner, S. Hasenauer, V. Naemi, E. Martin, E. Bazile, F. Bouysse, J.-F. Mahfouf, 2010: "Cross-evaluation of modelled and remotely sensed surface soil moisture with in situ data in southwestern France", *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, Volume: 14. Issue: 11. Pages: 2177-2191. Doi: 10.5194/hess-14-2177-2010.
- Albergel C., J.-C. Calvet, J.-F. Mahfouf, C. Rüdiger, A.L. Barbu, S. Lafont, J.-L. Roujean, P. Walker, M. Crapeau, J.-P. Wigneron, 2010: Monitoring of water and carbon fluxes using a land data assimilation system: a case study for southwestern France. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 14, 1109-1124, 2010.
- Alkama R., B. Decharme, H. Douville, M. Becker, A. Cazenave, J. Sheffield, A. Voldoire, S. Tyteca, and P. Le Moigne, 2010: Global evaluation of the ISBA-TRIP continental hydrologic system. Part 1: A twofold constraint using GRACE Terrestrial Water Storage estimates and in situ river discharges. *Journal of Hydro-meteorology*, 11, 583-600.
- Alkama R., B. Decharme, H. Douville, A. Ribes, 2010: Trends in global and basin-scale runoff over the late 20th century: Methodological issues and sources of uncertainty, *Journal of Climate*, doi: 10.1175/2010JCLI3921.1.
- Alkama R., M. Kageyama, G. Ramstein, 2010: Relative contributions of climate change, stomatal closure, and leaf area index changes to 20th and 21st century runoff change: A modelling approach using the Organizing Carbon and Hydrology in Dynamic Ecosystems (ORCHID-DEE) land surface model, *Journal Geophysical Research*, 115, D17112, doi: 10.1029/2009JD013408.
- Alonso M. F., K. M. Longo, S. R. Freitas, R. Mello da Fonseca, V. Marécal, M. Pirre and L. Gallardo Klenner, 2010: An urban emissions inventory for South America and its application in numerical modeling of atmospheric chemical composition at local and regional scales, *Atmospheric Environment*, Volume: 44. Issue: 39. Pages: 5072-5083. Doi: 10.1016/j.atmosenv.2010.09.013.
- Amoroso A., F. Domine, G. Esposito, S. Morin, J. Savarino, M. Nardino, M. Montagnoli, J.-M. Bon-neville, J.-C. Clement, A. Ianniello and H. J. Beine, 2010: Microorganisms in dry polar snow are involved in the exchanges of reactive nitrogen species with the atmosphere, *Environ. Sci. Technol.*, 44(2), 714 – 719, doi: 10.1021/es9027309.
- Aouizerats B., P. Tulet, G. Pigeon, V. Masson, and L. Gomes, 2010: High resolution modelling of aerosol dispersion regimes during the CAPITOU field experiment : from regional to local scale interactions, *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, 10, 29569-29598, doi:10.5194/acpd-10-29569-2010.
- Auligné T., A. Lorenc, Y. Michel, T. Montmerle, 2010: The summary of the first international Cloud Analysis Workshop, *Bulletin of the American Meteorological Society*. Doi: 10.1175/2010BAMS2978.1
- Artale V., S. Calmanti, A. Carillo, A. Dell'Aquila, M. Hermann, G. Pisacane, P. M. Ruti, G. Sannino, M. V. Struglia, F. Giorgi, X. Bi, J. Pal, S. Rauscher, 2009: An Atmosphere-Ocean Regional Climate Model for the Mediterranean area: Assessment of a Present Climate Simulation. *Climate Dynamics*, doi: 10.1007/s00382-009-0691-8.
- Austin J., J. Scinocca, D. Plummer, L. Oman, D. Waugh, H. Akiyoshi, S. Bekki, P. Braesicke, N. Butchart, M. Chipperfield, D. Cugnet, M. Dameris, S. Dhomse, V. Eyring, S. Frith, R. R. Garcia, H. Garmy, A. Gettelman, S. C. Hardiman, D. Kinnison, J. F. Lamarque, E. Mancini, M. Marchand, M. Michou, O. Morgenstern, T. Nakamura, S. Pawson, G. Pitari, J. Pyle, E. Rozanov, T. G. Shepherd, K. Shibata, H. Teyssède, R. J. Wilson, and Y. Yamashita, 2010: Decline and recovery of total column ozone using a multimodel time series analysis, *J. Geophys. Res.*, 115, D00M10, doi:10.1029/2010JD013857.
- Austin J., H. Struthers, J. Scinocca, D. A. Plummer, H. Akiyoshi, A. J. G. Baumgaertner, S. Bekki, G. E. Bodeker, P. Braesicke, C. Brühl, N. Butchart, M. P. Chipperfield, D. Cugnet, M. Dameris, S. Dhomse, S. Frith, H. Garmy, A. Gettelman, S. C. Hardiman, P. Jöckel, D. Kinnison, A. Kubin, J. F. Lamarque, U. Langematz, E. Mancini, M. Marchand, M. Michou, O. Morgenstern, T. Nakamura, J. E. Nielsen, G. Pitari, J. Pyle, E. Rozanov, T. G. Shepherd, K. Shibata, D. Smale, H. Teyssède, and Y. Yamashita, 2010: Chemistry-climate model simulations of spring Antarctic ozone, *J. Geophys. Res.*, 115, D00M11, doi: 10.1029/2009JD013577.
- Aznar R., M.G. Sotillo, M.L. Martín, S. Somot, F. Valero, 2010: Comparison of model and satellite-derived long-term precipitation databases over the Mediterranean basin: a general overview, *Atmospheric Research*, doi: 10.1016/j.atmosres.2010.03.026.
- Baehr C., 2010: Nonlinear filtering for observations on a random vector field along a random path. Application to atmospheric turbulent velocities, *ESAIM-Math MODEL NUM: M2AN*, special Issue on Probabilistic methods and their applications, Volume: 44. Issue: 5. Pages: 921-945. Doi: 10.1051/m2an/2010047. Published: SEP-OCT 2010.
- Bain C. L., D. J. Parker, C. M. Taylor, L. Kergoat and F. Guichard, 2010: Observations of the nocturnal boundary layer associated with the West African monsoon. Volume: 138. Issue: 8. Pages: 3142-3156. *Mon. Wea. Rev.* Doi: 10.1175/2010MWR3287.1
- Ballu V., M.N. Bouin, S. Calmant, E. Folcher, J.M. Bore, J. Ammann, O. Pot, M. Diamant and B. Pelletier, 2010: Absolute seafloor vertical positioning using combined pressure gauge and kinematic GPS data. *Journal of Geodesy*, 84(1), pages 65 - 77, doi: 10.1007/s00190-009-0345-y, 2010.
- Barthe C., N. Asencio, J.-P. Lafore, M. Chong and B. Campistron, 2010: Multi-scale analysis of the 25-27 July 2006 convective period over Niamey: comparison with radar data and other observations. *Quart. Jour. Roy. Meteor. Soc.*, 190 - 208. Doi: 10.1002/qj.539.
- Barthlott C., R. Burton, D. Kirshbaum, K. Hanley, E. Richard, J.-P. Chaboureaud, J. Trentmann, B. Kern, H.-S. Bauer, T. Schwital, C. Keil, Y. Seity, A. Gadian, A. Blyth, S. Mobbs, C. Flamant, J. Handwerker, 2010: Initiation of deep convection at marginal instability in an ensemble of mesoscale models: A case study from COPS. *J. R. Meteor. Soc.*, ID QJ-10-0035.
- Bellon G. and A. H. Sobel, 2010: Multiple equilibria of the Hadley circulation in an intermediate-complexity model, *Journal of Climate*, 23 (7), 1760–1778.
- Bellon G., G. Gastineau, A. Ribes, and H. Le Treut, 2010: Analysis of the tropical climate variability in a two-column framework, *Climate Dynamics*, doi: 10.1007/s00382-010-0864-5.
- Ben Rais Lasram F., Guilhaumon F., Albouy C., Somot S., Thuiller W., Mouillot, D., 2010: The Mediterranean Sea as a "cul-de-sac" for endemic fishes facing climate change, *Global Change Biology*, doi: 10.1111/j.1365-2486.2010.02224.x.
- Bénard P., J. Vivoda, J. Masek, P. Smolikova, K. Yessad, Ch. Smith, R. Brozkova and J.-F. Geleyn, 2010: Dynamical kernel of the Aladin-MH spectral limited-area model: formulation and sensitivity experiments. *Quart. Jour. Roy. Meteor. Soc.*, 136, 155-169.
- Beuvier J., F. Sevault, M. Herrmann, H. Kontoyiannis, W. Ludwig, M. Rixen, E. Stanev, K. Beranger, and S. Somot, 2010: Modelling the Mediterranean Sea interannual variability during 1961-2000: focus on the Eastern Mediterranean Transient (EMT), *J. Geophys. Res.*, doi: 10.1029/2009JC005850.
- Berre L. and G. Desroziers, 2010: Filtering of background error variances and correlations by local spatial averaging. *Monthly Weather Review*, 138, 3693-3720, Special Collection, doi: 10.1175/2010MWR3111.1.
- Berhet S., M. Leriche, J.P. Pinty, J. Cuesta, G. Pigeon, 2010: Scavenging of aerosol particles by rain in a cloud resolving model, *Atmospheric Research*, vol 96, pages: 325-336, doi: 10.1016/j.atmosres.2009.09.015.
- Bielli S., H. Douville, B. Pohl, 2010: Understanding the West African monsoon variability and its remote effects: an illustration of the grid point nudging methodology. *Climate Dynamics*, 35, 159-174, doi: 10.1007/s00382-009-0667-8.
- Biancamaria S., M. Durand, K. M. Andreadis, P. D. Bates, A. Boone, N. M. Mognard, E. Rodriguez, D. E. Alsdorf, D. Lettenmaier, and E. Clark, 2010: Assimilation of virtual wide swath altimetry to improve Arctic river modeling. *Rem. Sens. Environ.*, doi: 10.1016/j.rse.2010.09.008.
- Bock O., Y. Xue, I. Pocard-Leclercq, J. Feng, F. de Sales, A. Boone, R. Meynadier, J.L. Redelsperger, P. Roucou, 2010: The large scale water cycle of the West African Monsoon, *Atmos. Sci. Lett.*, n/a, doi: 10.1002/asl.288.
- Boone, A., Y. Xue, I. Pocard-Leclercq, J. Feng, F. de Sales, and P. de Rosnay, 2009 : Evaluation of the WAMME model surface fluxes using results from the AMMA land-surface model intercomparison project. *Clim. Dynamics*, doi: 10.1007/s00382-009-0653-1.
- Bouchard A, F. Rabier, V. Guidard & F. Karbou, 2010: Enhancements of satellite data assimilation over Antarctica. *Monthly Weather Review*, 138, 2149 –2173. Doi: 10.1175/2009MWR3071.1.

- Bougeault P., Z. Toth, C. Bishop, B. Brown, D. Burridge, C. De Hui, B. Ebert, M. Fuentes, T. M. Hamill, K. Mylne, J. Nicolau, T. Paccagnella, Y.-Y. Park, D. Parsons, B. Raoult, D. Schuster, P. Silva Dias, R. Swinbank, Y. Takeuchi, W. Tennant, L. Wilson, S. Worley, 2010: The THORPEX Interactive Grand Global Ensemble, *Bulletin of the American Meteorological Society* August 2010, Vol. 91, N° 8: 1059-1072.
- Bouilloud L., K. Chancibault, B. Vincendon, V. Ducrocq, F. Habets, G.-M. Saulnier, S. Anquetin, É. Martin, J. Noilhan, 2009: Coupling the ISBA land surface model and the TOPMODEL hydrological model for Mediterranean flash-flood forecasting: Description, calibration and validation. *Journal of Hydrometeorology*, 11 (2), 315-333, doi: 10.1175/2009JHM1163.1.
- Bouin M. N., Woeppelmann, G., 2010: Land motion estimates from GPS at tide gauges: a geophysical evaluation, *Geophysical Journal International* Volume: 180. Issue: 1. Pages: 193-209. Doi: 10.1111/j.1365-246X.2009.04411.x.
- Bouniol D., J. Delanoë, C. Duroure, A. Protat, V. Giraud and G. Penide, 2010: Microphysical characterization of West African MCS anvils. *Quart. Jour. Roy. Meteor. Soc.*, 323-344. Doi: 10.1002/qj.557.
- Bouniol D., A. Protat, J. Delanoë, J. Pelon, J.-M. Piriou, F. Bouysse, A. M. Tompkins, D. R. Wilson, Y. Morille, M. Haeffelin, E. J. O'Connor, R. J. Hogan, A. J. Illingworth, D. P. Donovan and H.-K. Baltink, 2010: Using continuous ground-based radar and lidar measurements for evaluating the representation of clouds in four operational models. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, Volume: 49. Issue: 9. Pages: 1971-1991, doi: 10.1175/2010JAMC2333.1.
- Burnet F., J.-L. Brenguier, 2010: The onset of precipitation in warm cumulus clouds: An observational case-study (p 374-381), doi: 10.1002/qj.552 *Quart. Jour. Roy. Meteor. Soc.* Volume: 136. Issue: 647. Pages: 277-552.
- Carré D., J.-L. Roujean, O. Hautecoeur, and T. Elias, 2010: Daily estimates of aerosol optical thickness over land surface based on a directional and temporal analysis of SEVIRI MSG visible observations, *J. Geophys. Res.*, 115, D10208, doi: 10.1029/2009JD012272.
- Carré D., J.-L. Roujean, C. Meurey, 2009: Comparing Operational MSG/SEVIRI Land Surface Albedo Products From Land SAF With Ground Measurements and MODIS, *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, doi: 10.1109/TGRS.2009.2034530.
- Caumont O., V. Ducrocq, É. Wattrelot, G. Jaubert, S. Pradier-Vabre, 2010: 1D+3DVar assimilation of radar reflectivity data: A proof of concept. *Tellus*, 62A(2), 173-187, doi : 10.1111/j.1600-0870.2009.00430.x.
- Chauvin F., R. Roehrig, and J.-P. Lafore, 2010: Intraseasonal Variability of the Saharan Heat Low and Its Link with Midlatitudes. *Journal of Climate*, 23, 2544-2561, doi: 10.1175/2010JCLI3093.1.
- Claeyman M., J.-L. Attié, L. El Amraoui, D. Cariolle, V.-H. Peuch, H. Teyssède, B. Josse, P. Ricaud, S. Massart, A. Piacentini, J.-P. Cammas, N. J. Livesey, H. C. Pumphrey and D. P. Edwards, 2010: A linear CO chemistry parameterization in a chemistry-transport model: evaluation and application to data assimilation, *Atmos. Chem. Phys.*, 10, 6097-6115, doi: 10.5194/acp-10-6097-2010, 2010.
- Colin J., M. Déqué, R. Radu, S. Somot, 2010: Sensitivity study of heavy precipitations in Limited Area Model climate simulation: influence of the size of the domain and the use of the spectral nudging technique. *TELLUS SERIES A-DYNAMIC METEOROLOGY AND OCEANOGRAPHY*. Volume: 62. Issue: 5. Pages: 591-604. Doi: 10.1111/j.1600-0870.2010.00467.
- Coll M., C. Piroddi, J. Steenbeek, K. Kaschner, F. Ben Rais Lasram, J. Aguzzi, E. Ballesteros, C. Nike Bianchi, J. Corbera, T. Dailianis, R. Danovaro, M. Estrada, C. Froglija, B. S. Galil, J. M. Gasol, R. Gertwagen, J. Gil, F. Guilhaumon, K. Kesner-Reyes, M.-S. Kitsos, A. Kouras, N. Lampadariou, E. Laxamana, C. M. López-Fé de la Cuadra, H. K. Lotze, D. Martin, D. Mouillot, D. Oro, S. Raicevich, J. Rius-Barile, J. I. Saiz-Salinas, C. San Vicente, S. Somot, J. Templeado, X. Turon, D. Vafidis, R. Villanueva, E. Voultsiadou, 2010: Biodiversity of the Mediterranean Sea: status, patterns & threats". Source: PLOS ONE. Volume: 5. Issue: 8. Article Number: e11842. Doi : 10.1371/journal.pone.0011842.
- Couvreur F., F. Guichard, O. Bock, B. Campistron, J.-P. Lafore and J.-L. Redelsperger, 2010: Synoptic variability of the monsoon flux over West Africa prior to the onset. *Quart. Jour. Roy. Meteor. Soc.*, 159-173. Doi: 10.1002/qj.473.
- Couvreur F., F. Hourdin and C. Rio, 2009: Resolved versus parametrized boundary-layer plumes. Part I: a parametrization-oriented. *Boundary Layer Meteorology*. Doi: 10.1007/s10546-009-9456-5.
- Crumeyrold S., H.E. Manninen, K. Sellegri, L. Gomes, G. Roberts, M. Kulmala, R. Weigel, P. Laj, and A. Schwarzenboeck, 2010: New particle formation events measured onboard the ATR-42 aircraft during the EUCAARI campaign. Source: *Atmospheric Chemistry And Physics*. Volume: 10. Issue: 14. Pages: 6721-6735. Doi: 10.5194/acp-10-6721-2010.
- Decharme B., R. Alkama, H. Douville, M. Becker, and A. Cazenave, 2010: Global evaluation of the ISBA-TRIP continental hydrologic system. Part 2: Uncertainties in river routing processes. *Journal of Hydrometeorology*, 11, 601-617.
- Déqué M. and S. Somot, 2010: Weighted frequency distributions expressing modelling uncertainties in the ENSEMBLES regional climate experiments. Source: *CLIMATE RESEARCH*. Volume: 44. Issue: 2-3. Pages: 195-209. Doi : 10.3354/cr00866.
- Delon C., C. Galy-Lacaux, A. Boone, C. Lioussé, D. Serça, M. Adon, B. Diop, A. Akpo, F. Lavenue, E. Mougin, and F. Timouk, 2009: Atmospheric Nitrogen budget in Sahelian dry savannas. *ATMOSPHERIC CHEMISTRY AND PHYSICS*. Volume: 10. Issue: 6. Pages: 2691-2708.
- De Boissésion E., V. Thierry, H. Mercier and G. Caniaux, 2010: Mixed layer heat budget in the Iceland basin from ARGO. Source: *JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH- OCEANS*. Volume: 115. Article Number: C10055. Doi: 10.1029/2010JC006283.
- Derrien M. and H. Le Gléau, 2010: Improvement of cloud detection near sunrise and sunset by temporal-differencing and region-growing techniques with real-time SEVIRI, *International Journal of Remote Sensing*, 31: 7, 1765-1780, doi: 10.1080/01431160902926632.
- Douville H., 2010: Relative contributions of soil and snow hydrology to seasonal climate predictability, a pilot study. *Climate Dyn.*, 34, 797-818, doi: 10.1007/s00382-008-0508-1.
- Duffourg, F., V. Ducrocq, N. Fourrié, G. Jaubert, V. Guillard, 2010: Simulation of satellite infrared radiances for convective-scale data assimilation over the Mediterranean. *Journal of Geophysical Research*, doi: 10.1029/2009JD012936.
- Drîouech, F., M. Déqué, and E. Sánchez-Gómez, 2010: Weather regimes-Moroccan precipitation link in a regional climate change simulation, *Global and Planetary Change*, 72, 1-10, doi: 10.1016/j.gloplacha.2010.03.004.
- Eckert N., C. Coleou, H. Castebrunet, M. Deschates, G. Giraud, J. Gaume, 2010: Cross-comparison of meteorological and avalanche data for characterising avalanche cycles: The example of December 2008 in the eastern part of the French Alps. Source: *Cold Regions Science And Technology*. Volume: 64. Issue: 2. Special Issue: Sp. Iss. SI. Pages: 119-136. Doi: 10.1016/j.coldregions.2010.08.009.
- Eigenmann R., N. Kalthoff, T. Foken, M. Dorninger, M. Kohler, D. Legain, G. Pigeon, B. Piguet, D. Schüttemeyer and O. Traulle, 2010: Surface energy balance and turbulence network during the Convective and Orographically-induced Precipitation Study (COPS). *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, n/a. doi: 10.1002/qj.704.
- El Amraoui L., J.-L. Attié, N. Semane, M. Claeyman, V.-H. Peuch, J. Warner, P. Ricaud, J.-P. Cammas, A. Piacentini, B. Josse, D. Cariolle, S. Massart, and H. Bencherif, 2010: Midlatitude stratosphere – troposphere exchange as diagnosed byMLS O3 and MOPITT CO assimilated fields, *Atmos. Chem. Phys.*, 10, 2175-2194.
- Eymard L., F. Karbou, S. Janicot, N. Chouaib, and F. Pinsard, 2010: On the use of Advanced Microwave Sounding Unit-A and -B measurements for studying the monsoon variability over West Africa, *J. Geophys. Res.*, 115, D20115, doi: 10.1029/2009JD012935.
- Farda A., M. Deque, S. Somot, A. Horanyi, V. Spiridonov, H. Toth, 2010: Model Aladin as regional climate model for Central and Eastern Europe, *Studia Geophysica et deodaetica*. Volume: 54. Issue: 2. Pages: 313-332.
- Fontaine B., J. Garcia-Serrano, P. Roucou, B. Rodriguez-Fonseca, T. Losada, F. Chauvin, S. Gervois, S. Sijikumar, P. Ruti and S. Janicot, 2009: Impacts of warm and cold situations in the Mediterranean basins on the West African monsoon: observed connection patterns (1979-2006) and climate simulations. *Climate Dynamics* (Online), doi: 10.1007/s00382-009-0599-3.
- Geoffroy O., J.-L. Brenguier, and F. Burnet, 2010: Parametric representation of the cloud droplet spectra for LES warm bulk microphysical schemes, *Atmos. Chem. Phys.*, 10, 4835-4848, doi:10.5194/acp-10-4835-2010.
- Gettelman A., M. I. Hegglin, S.-W. Son, J. Kim, M. Fujiwara, T. Birner, S. Kremser, M. Rex, J. A. Anel, H. Akiyoshi, J. Austin, S. Bekki, P. Braesike, C. Brühl, N. Butchart, M. Chipperfield, M. Dameris, S. Dhomse, H. Garmy, S. C. Hardiman, P. Jöckel, D. E. Kinnison, J. F. Lamarque, E. Mancini, M. Marchand, M. Michou, O. Morgenstern, S. Pawson, G. Pitari, D. Plummer, J. A. Pyle, E. Rozanov, J. Scinocca, T. G. Shepherd, K. Shibata, D. Smale, H. Teyssède, and W. Tian, 2010: Multi-model Assessment of the Upper Troposphere and Lower Stratosphere: Tropics and Trends. *J. Geophys. Res.*, 115, D00M08, doi: 10.1029/2009JD013638.
- Grabowski W., O. Thouvenin, J.-P. Pinty, and J.-L. Brenguier, 2010: A Hybrid Bulk–Bin Approach to Model Warm-Rain Processes, *Journal of the Atmospheric Sciences*. Volume: 67. Issue: 2. Pages: 385-399.
- Grandpeix J.-Y. and J.-P. Lafore, 2010: A density current parametrization coupled to Emanuel's convection scheme. Part I: The models. *Journal of the Atmospheric Sciences*. Volume: 67. Issue: 4. Pages: 881-897. Doi: 10.1175/2009JAS3044.1.
- Grandpeix J.-Y., J.-P. Lafore and F. Cheruy, 2010: A density current parametrization coupled to Emanuel's convection scheme. Part II: 1D simulations. *Journal of the Atmospheric Sciences*. Volume: 67. Issue: 4. Pages: 898-922. Doi: 10.1175/2009JAS3045.1.
- Grimmond C., M. Blackett, M.-J. Best, J. Barlow, J.-J. Baik, S.-E. Belcher, S.-I. Bohnenstengel, I. Calmet, F. Chen, A. Dandou, K. Fortuniak, M.-L. Gouvea, R. Hamdi, M. Hendry, T. Kawai, Y. Kawamoto, H. Kondo, E.-S. Kravynhoff, S.-H. Lee, T. Loridan, A. Martilli, V. Masson, S. Miao, K. Oleson, G. Pigeon, A. Porson, Y.-H. Ryu, F. Salamanca, L. Shashua-Bar, G.-J. Steeneveld, M. Tombrou, J. Voogt, D. Young, and N. Zhang, 2010: The International Urban Energy Balance Models Comparison Project: First Results from Phase 1, *Journal of Applied Meteorology and Climatology*. Volume: 49. N° 6: 1268-1292.
- Guedj S., F. Karbou, F. Rabier, A. Bouchard, 2010: Towards a better modeling of surface emissivity to improve AMSU data assimilation over Antarctica, *IEEE transactions on geoscience and remote sensing*, 48, n° 4, 1976-1985.

- Guémas V., D. Salas-Melia, M. Kageyama, H. Giordani, A. Voldoire, E. Sanchez-Gomez, 2010: Summer interactions between weather regimes and surface ocean in the North-Atlantic region. *Climat Dynamics*, 34(4): 527-546, doi:10.1007/s00382-008-0491-6.
- Guichard F., N. Asencio, C. Peugeot, O. Bock, J.-L. Redelsperger, X. Cui, M. Garvert, B. Lampertey, E. Orlandi, J. Sander, F. Fierli, M.-A. Gaertner, S.-C. Jones, J.-P. Lafore, A. Morse, M. Nuret, A. Boone, G. Balsamo, P. de Rosnay, B. Decharme, P.-P. Harris, and J.-C. Bergès, 2010: An Intercomparison of Simulated Rainfall and Evapotranspiration Associated with a Mesoscale Convective System over West Africa. *Weather and Forecasting*. Volume: 25. Issue: 1. pages: 37-60. Doi: 10.1175/2009WAF222250.1.
- Habets F., S. Gascoin, S. Korkmaz, D. Thiéry, M. Zribi, N. Amraoui, M. Carli, A. Ducharme, E. Leblois, E. Ledoux, E. Martin, J. Noilhan, C. Ottlé and P. Viennot, 2010: Multi-model comparison of a major flood in the groundwater-fed basin of the Somme River (France). *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 14, 99-117.
- Haeffelin M., T. Bergot, T. Elias, R. Tardif, D. Carrer, P. Chazette, M. Colomb, P. Drobinski, E. Dupont, L. Gomes, L. Musson-Genon, C. Pietras, A. Plana-Fattori, A. Protat, J. Rangognio, J.C. Raut, S. Remy, D. Richard, J. Sciare and X. Zhang, 2010: PARIFOG shedding new light on fog physical processes. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 91, 767-783, doi: 10.1175/2009BAMS2671.1.
- Hazeleger W., C. Severijns, T. Semmler, S. Stefanescu, S. Yang, X. Wang, K. Wyser, E. Dutra, J. M. Baldasano, R. Bintanja, P. Bougeault, R. Caballero, A.-M.-L. Ekman, J.-H. Christensen, B. van den Hurk, P. Jimenez, C. Jones, P. Källberg, T. Koenigk, R. McGrath, P. Miranda, T. van Noije, T. Palmer, J.-A. Parodi, T. Schmith, F. Selten, T. Storelvmo, A. Sterl, H. Tapamo, M. Vancoppenolle, P. Viterbo, U. Willén, 2010: EC-Earth : A Seamless Earth System Prediction Approach in Action. *BAMS*. Volume: 91. N° 10. Pages: 1357-1393, doi: 10.1175/2010BAMS2877.1.
- Heggin M.-I., A. Gettelman, P. Hoor, R. Krichesky, G.-L. Manney, L.-L. Pan, S.-W. Son, G. Stiller, S. Tilmes, K.-A. Walker, V. Eyring, T.-G. Shepherd, D. Waugh, H. Akiyoshi, J. Austin, A. Baumgaertner, S. Bekki, P. Braesicke, C. Brühl, N. Butchart, M. Chipperfield, M. Dameris, S. Dhomse, S. Frith, H. Garmy, S.-C. Hardiman, P. Jöckel, D.-E. Kinnison, J.-F. Lamarque, E. Mancini, M. Michou, O. Morgenstern, T. Nakamura, D. Olivie, S. Pawson, G. Pitari, D.-A. Plummer, E. Rozanov, J.-F. Scinocca, K. Shibata, D. Smale, H. Teyssède, W. Tian, Y. Yamashita, 2010: Multi-Model Assessment of the Upper Troposphere and Lower Stratosphere: Extratropics. Source: *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*. Volume: 115. Article Number: D00M09. Doi: 10.1029/2010JD013884.
- Herrmann M., F. Sevaut, J. Beuvier, S. Somot, 2010: What induced the exceptional 2005 convection event in the Northwestern Mediterranean basin? Answers from a modeling study. Source: *JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH-OCEANS*. Volume: 115. Article Number: C12051. Doi: 10.1029/2010JC006162.
- Holleman I., A. Huuskonen, R. Gill, P. Tabary, 2010: Operational Monitoring of Radar Differential Reflectivity Using the Sun, *Journal of Atmospheric and Technology*. Volume: 27. Issue: 5. Pages: 881-887.
- Hidalgo J., V. Masson and L. Gimeno, 2009: Scaling the Daytime Urban Heat Island and Urban-Breeze Circulation, *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, doi: 10.1175/2009JAMC2195.1.
- Hourdin F., F. Guichard, F. Favot, P. Marquet, A. Boone, J.-P. Lafore and J.-L. Redelsperger, P. Ruti, A. Dell'Aquila, T.-L. Doval, A.-K. Traore, and H. Gallee, 2010: AMMA-Model Intercomparison Project. Volume: 91. Issue: 1. Pages: 95+ Bull. Amer. Meteor. Soc. Doi: 10.1175/2009BAMS2791.1.
- Huijnen V., H.-J. Eskes, A. Poupkou, H. Elbern, K.-F. Boersma, G. Foret, M. Sofiev, A. Valdebenito, J. Flemming, O. Stein, A. Gross, L. Robertson, M. D'Isidoro, I. Kioutsioukis, E. Friese, B. Amstrup, R. Bergstrom, A. Strunk, J. Vira, D. Zyryanov, A. Maurizi, D. Melas, V.-H. Peuch and C. Zerefos, 2010, Comparison of OMI NO2 tropospheric columns with an ensemble of global and European regional air quality models, *Atmos. Chem. Phys.*, 10, 3273-3296.
- Huszar P., D. Cariolle, R. Paoli, T. Halenka, M. Belda, H. Schlager, J. Miksovsky and P. Pisoft, 2010: Modeling the regional impact of ship emissions on Nox and ozone levels over the Eastern Atlantic and Western Europe using ship plume parameterization, *Atmos. Chem. Phys.*, 10, 6645-6660. Doi: 10.5194/acp-10-6645-2010.
- Jacobi, H.-W., S. Morin, J.-W. Bottenheim, 2010: Observation of widespread depletion of ozone in the spring-time boundary layer of the Central Arctic linked to mesoscale synoptic conditions, *Journal of Geophysical Research*, 115, D17302, doi: 10.1029/2010JD013940.
- Joly M., A. Voldoire, 2010: Role of the Gulf of Guinea in the inter-annual variability of the West African monsoon: what do we learn from CMIP3 coupled simulations? Volume: 30. Issue: 12. Pages: 1843-1856. *International Journal of Climate*. Oct 2010. Doi: 10.1002/joc.2026.
- Kaptue Tchuenté A.-T., J.-L. Roujean, S. Faroux, 2010: ECOCLIMAP-II: An ecosystem classification and land surface parameters database of Western Africa at 1 km resolution for the African Monsoon Multidisciplinary Analysis (AMMA) project, *Hydrology conference, Remote Sensing of Environment*. Volume: 114. Issue: 5. Pages: 961-976. Doi: org/10.1016/j.rse.2009.12.008.
- Kaptue A., S.-M. De Jong, J.-L. Roujean, C. Favier and C. Mering, 2010: Ecosystems mapping at the African continent scale using a hybrid clustering approach based on 1 km resolution multiannual data from Spot/Vegetation, *Remote Sens. Env.*
- Karam H., A.-J. Pereira, V. Masson, J. Noilhan, Marques EP., 2010: Formulation of a tropical town energy budget (t-TEB) scheme, *Theoretical and Applied Climatology*. Volume: 101. Issue: 1-2. Pages: 109-12. Published: JUL 2010. Doi: 10.1007/s00704-009-0206-x 0.
- Karbou F., E. Gérard, F. Rabier, 2010: Global 4D-Var assimilation and forecast experiments using AMSU observations over land. Part I: Impact of various land surface emissivity parameterizations. *Weather and Forecasting*, 25, 5-19.
- Karbou F., F. Rabier, J.-P. Lafore, J.-L. Redelsperger, O. Bock, 2010: Global 4D-Var assimilation and forecast experiments using AMSU observations over land. Part II: Impact of assimilating surface sensitive channels on the African Monsoon during AMMA. *Weather and Forecasting*, 25, 20-36.
- Knigge C., D. Etling, A. Paci, O. Eiff 2010: Laboratory experiments on mountain-induced rotors. Source: *Quarterly Journal of The Royal Meteorological Society*. Volume: 136. Issue: 647. Pages: 442-450. Part: Part B. Doi: 10.1002/qj.564.
- Kuhn U., L. Ganzeveld, A. Thielmann, T. Dindorf, G. Schebeske, M. Welling, J. Sciare, G. Roberts, F.-X. Meixner, J. Kesselmeier, J. Lelieveld, O. Kolle, P. Ciccioli, J. Lloyd, J. Trentmann, P. Artaxo, and M.-O. Andreae, 2010: Impact of Manaus City on the Amazon Green Ocean atmosphere: ozone production, precursor sensitivity and aerosol load. Source: *Atmospheric Chemistry And Physics*. Volume: 10. Issue: 19. Pages: 9251-9282. Doi: 10.5194/acp-10-9251-2010.
- Lafore J.-P., C. Flamant, V. Giraud, F. Guichard, P. Knipfertz, J.-F. Mahfouf, P. Mascart, E. Williams, 2010: Introduction to the AMMA Special issue on "Advances in understanding atmospheric processes over West Africa through the AMMA field campaign". *Quart. Jour. Roy. Meteor. Soc.*, 2-7. Doi: 10.1002/qj.583.
- Lebel T., D.-J. Parker, C. Flamant, B. Bourles, B. Marticorena, E. Mougin, C. Peugeot, A. Diedhiou, J. Haywood, J.-B. Ngamini, J. Polcher, J.-L. Redelsperger, and C.-D. Thorncroft, 2010: The AMMA field campaigns: Multiscale and multidisciplinary observations in the West African region, *Quart. Jour. Roy. Meteor. Soc.*, 8-33. Doi:10.1002/qj.486.
- Le Borgne P., H. Roquet, C. Merchant, 2010: Estimation of Sea Surface Temperature from the Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager, improved using numerical weather prediction, *Remote Sensing of Environment*, doi: 10.1016/j.rse.2010.08.004.
- Legras B., O. Mestre, E. Bard, and P. Yiou, 2010: A critical look at solar climate relationships from long temperature series. Source : *Climate of The Past*. Volume: 6. Issue: 6. Pages: 745-758. Doi: 10.5194/cp-6-745-2010.
- Legrand J., N. Bergeot, C. Bruyninx, G. Wöppelmann, M.-N. Bouin, Z. Altamimi, 2010: Impact of Regional Reference Frame Definition on Geodynamic Interpretations, *J. of Geodynamics*, doi: 10.1016/j.jog.2009.10.002, 49(3), p. 116-122.
- Lemonsu A., S. Bélair, J. Mailhot, and S. Leroyer, 2010: Evaluation of the Town Energy Balance Model in Cold and Snowy Conditions during the Montreal Urban Snow Experiment 2005, *Journal of Applied Meteorology and Climatology*. Volume: 49. Issue: 3. Pages: 346-362. Published: MAR 2010. Doi: 10.1175/2009JAMC2131.1.
- Leroyer, S., J. Mailhot, S. Belair, A. Lemonsu, I.-B. Strachan, 2010: Modeling the Surface Energy Budget during the Thawing Period of the 2006 Montreal Urban Snow Experiment, *Journal of applied Meteorology and climatology*. Volume: 49. Issue: 1. Pages: 68-84. Doi: 10.1175/2009JAMC2153.1.
- Li L., P.-W. Gaiser, B.-C. Gao, R.-M. Bevilacqua, T.-J. Jackson, E.-G. Njoku, C. Rüdiger, J.-C. Calvet, R. Bindlish, 2010: Windsat global soil moisture retrieval and validation, *IEEE Trans. Geosc. Remote Sens.*, 48(5), 2224-224.
- Losada T., B. Rodríguez-Fonseca, S. Janicot, S. Gervois, F. Chauvin, P. Ruti, 2010: A multi-model approach to the Atlantic Equatorial mode: impact on the West African monsoon, *Climate Dynamics*. Volume: 35. Issue: 1. Special Issue: Sp. Iss. SI. Pages: 29-43. Doi: 10.1007/s00382-009-0625-5.
- Losada T., B. Rodríguez-Fonseca, S. Janicot, S. Gervois, F. Chauvin, P. Ruti, 2010: Tropical response to the Atlantic Equatorial mode: AGCM multimodel approach. Volume: 35. Issue: 1. Special Issue: Sp. Iss. SI. Pages: 45-52. *Climate Dynamics*. Doi: 10.1007/s00382-009-0624-6.
- Mahfouf J.-F., 2010: Assimilation of satellite-derived soil moisture from ASCAT in a limited-area model. Source: *Quarterly Journal of The Royal Meteorological Society*. Volume: 136. Issue: 648. Pages: 784-798. Part: Part A. Doi: 10.1002/qj.602.
- Matsuki A., A. Schwarzenboeck, H. Venzac, P. Laj, S. Crumeyrolle and L. Gomes, 2010: Cloud processing of mineral dust: direct comparison of cloud residual and clear sky particles during AMMA aircraft campaign in summer 2006, *Atmos. Chem. Phys.*, 10 1057-1069, 2010.
- Matsuki A., A. Schwarzenboeck, H. Venzac, P. Laj, S. Crumeyrolle and L. Gomes, 2009: Effect of surface reaction on the cloud nucleating properties of mineral dust: AMMA aircraft campaign in summer 2006, *Atmos. Chem. Phys.*, 9, 1797-1830.
- Matsuki A., B. Quennehen, A. Schwarzenboeck, S. Crumeyrolle, H. Venzac, P. Laj, and L. Gomes, 2010: temporal and spatial variations of aerosol physical and chemical properties over West Africa: AMMA aircraft campaign in summer 2006. Source: *Atmospheric Chemistry And Physics*. Volume: 10. Issue: 17. Pages: 8437-8451. Doi: 10.5194/acp-10-8437-2010.
- Ménégoz M., V. Guemas, D. Salas y Melia, and A. Voldoire, 2010: Winter interactions between aerosols and weather regimes in the North-Atlantic European region, *J. Geophys. Res.*, 115, D09201. Doi: 10.1029/2009JD012480.

- Meynadier R., O. Bock, F. Guichard, A. Boone, P. Roucou and J.-L. Redelsperger, 2010: West African Monsoon water cycle 1. A hybrid water budget data set. *Journal of Geophysical Research*, 115, doi: 10.1029/2010JD013917.
- Meynadier R., O. Bock, S. Gervois, F. Guichard, J.-L. Redelsperger, A. Agusta-Panareda and A. Beljaars, 2010: West African Monsoon water cycle: 2. Assessment of numerical weather prediction water budgets. *Journal of Geophysical Research*, 115, doi: 10.1029/2010JD013919.
- Monteiro M. and L. Berre, 2010: A diagnostic study of time variations of regionally averaged background error covariances. *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*. Volume: 115. Article Number: D23203. Doi: 10.1029/2010JD014095. Published : DEC 3 2010.
- Michel Y., T. Auligné, 2010: Inhomogeneous Background Error Modeling and Estimation over Antarctica. *Mon.Wea.Rev.*, 138, N° 6. 2229–2252.
- Michel Y., 2010: Data Assimilation of Tropopause Height Using Dry Intrusion Observations, *Monthly Weather Review*. Volume: 138. Issue: 1. Pages: 101-122. Doi: 10.1175/2009MWR2912.1.
- Monteiro M., and L. Berre, 2010: A diagnostic study of time variations of regionally averaged background error covariances, *J. Geophys. Res.*, 115, D23203, doi: 10.1029/2010JD014095.
- Montmerle T., Berre L. 2010: Diagnosis and formulation of heterogeneous background-error covariances at the mesoscale. *Quart. J. Royal Meteorol. Soc.* 137, 1408-1420. Doi: 10.1002/qj.655.
- Morgenstern O., M.-A. Giorgetta, K. Shibata, V. Eyring, D. Waugh, T.-G. Shepherd, H. Akiyoshi, J. Austin, A. Baumgaertner, S. Bekki, P. Braesicke, C. Bruhl, M.-P. Chipperfield, D. Cugnet, M. Dameris, S. Dhomse, S. Frith, H. Garmy, A. Gettelman, S.-C. Hardiman, M.-I. Hegglin, P. Jockel, D. Kinnison, J.-F. Lamarque, E. Mancini, E. Manzini, M. Marchand, M. Michou, T. Nakamura, J.-E. Nielsen, D. Olivie, G. Pitari, D.-A. Plummer, E. Roza-nov, J. Scinocca, D. Smale, H. Teyssède, M. Toohey, W. Tian and Y. Yamashita, 2010: Review of the formulation of present-generation stratospheric chemistry-climate models and associated external forcings. Source: *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*. Volume: 115. Article Number: D00M02. Doi: 10.1029/2009JD013728.
- Morgenstern, O., H. Akiyoshi, S. Bekki, P. Braesicke, N. Butchart, M.-P. Chipperfield, D. Cugnet, M. Deushi, S. Dhomse, R.-R. Garcia, A. Gettelman, N.-P. Gillett, S.-C. Hardiman, J. Jumelet, D.-E. Kinnison, J.-F. Lamarque, F. Lott, M. Marchand, M. Michou, T. Nakamura, D. Olivie, T. Peter, D. Plummer, J. Pyle, E. Rozanov, D. Saint-Martin, J.-F. Scinocca, K. Shibata, M. Sigmond, D. Smale, H. Teyssède, W. Tian, A. Voldoire and Y. Yamashita, 2010: Anthropogenic forcing of the Northern Annular Mode in CCMVal-2 Models. Source: *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*. Volume: 115. Article Number: D00M03. Doi: 10.1029/2009JD013347.
- Morin S., F. Domine, L. Arnaud, G. Picard, 2010: in situ monitoring of the time evolution of the effective thermal conductivity of snow. Source: *COLD REGIONS SCIENCE AND TECHNOLOGY*. Volume: 64. Issue: 2. Special Issue: Sp. Iss. SI. Pages: 73-80. Doi: 10.1016/j.coldregions.2010.02.008.
- Najac J., C. Lac and L. Terray, 2010: Impact of climate change on surface winds in France using a statistical-dynamical downscaling method with mesoscale modeling. *International Journal of Climatology*, doi: 10.1002/joc.2075.
- Olivie D. and N. Stuber, 2010: Emulating AOGCM results using simple climate models, *Climat Dynamics*, doi: 10.1007/s00382-009-0725-2.
- Oman L.-D., D.-A. Plummer, D.-W. Waugh, J. Austin, J.-F. Scinocca, A.-R. Douglass, R.-J. Salawitch, T. Canty, H. Akiyoshi, S. Bekki, P. Braesicke, N. Butchart, M.-P. Chipperfield, D. Cugnet, S. Dhomse, V. Eyring, S. Frith, S.-C. Hardiman, D.-E. Kinnison, J.-F. Lamarque, E. Mancini, M. Marchand, M. Michou, O. Morgenstern, T. Nakamura, J.-E. Nielsen, D. Olivie, G. Pitari, J. Pyle, E. Rozenov, T.-G. Shepherd, K. Shibata, R.-S. Stolarski, H. Teyssède, W. Tian, Y. Yamashita, J.R. Ziemke, 2010: Multi-model assessment of the factors driving stratospheric ozone evolution over the 21st century. Source: *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*. Volume: 115. Article Number: D24306. Doi: 10.1029/2010JD014362.
- Ordóñez C., N. Elguindi, O. Stein, V. Huijnen, J. Fleming, A. Inness, H. Flentje, E. Katragkou, P. Moinat, V.-H. Peuch, A. Segers, V. Thouret, G. Athier, M. van Weele, C.-S. Zerefos, J.-P. Cammas, and M.-G. Schultz, 2010: Global model simulations of air pollution during the 2003 European heat wave, *Atmos. Chem. Phys.*, 10, 789-815.
- Pannekoucke O., L. Vezard, 2010: Stochastic integration for the heterogeneous correlation modeling using a diffusion equation. *Monthly Weather Review* 138: 3356-3365.
- Paugam R., R. Paoli and D. Cariolle, 2010: influence of vortex dynamics and atmospheric turbulence on the early evolution of a contrail, *Atmospheric Chemistry and Physics*. Volume: 10. Pages: 3933-3952, SRef-ID: 1680-7324/acp/2010-10-3933.
- Peings Y., H. Douville, 2010: Influence of the Eurasian snow cover on the Indian summer monsoon variability in observations and CMIP3 simulations. *Climat Dyn.*, 34, 643-660, doi: 10.1007/s00382-009-0565-0.
- Peings, Y., H. Douville, R. Alkama, B. Decharme, 2010: Snow contribution to springtime atmospheric predictability over the second half of the twentieth century, *Climat Dynamics* doi: 10.1007/s00382010-0884-1.
- Penide G., V. Giraud, D. Bouniol, P. Dubuisson, C. Durou, A. Protat, S. Cautenet, 2010: Numerical simulation of the 7 to 9 September 2006 AMMA mesoscale convective system: Evaluation of the dynamics and cloud microphysics using synthetic observations. *Quart. Jour. Roy. Meteor. Soc.*, 304-322. Doi: 10.1002/qj.558.
- Pohl B., H. Douville, 2010: Diagnosing GCM errors over West Africa using relaxation experiments. Part I: Summer monsoon climatology and interannual variability. *Climat Dynamics*, doi: 10.1007/s00382-010-0911-2.
- Quintana Segui P., A. Ribes, E. Martin, F. Habets, J. Boe, 2010: Comparison of three downscaling methods in simulating the impact of climate change on the hydrology of Mediterranean basins, *Journal of Hydrology*. Volume: 383. Issues: 1-2. Water Quality and Assessment under Scarcity. Prospects and challenges in Mediterranean watersheds, 15 March 2010. Pages: 111-124, ISSN 0022-1694, doi: 10.1016/j.jhydrol.2009.09.050.
- Rabier, F., A. Bouchard, E. Brun, A. Doerenbecher, S. Guedj, V. Guidard, F. Karbou, V.-H. Peuch, L. El. Amraoui, D. Puech, C. Genthon, G. Picard, M. Town, A. Hertzog, F. Vial, P. Cocquerez, S. Cohn, T. Hock, H. Cole, J. Fox, D. Parsons, J. Powers, K. Romberg, J. VanAndel, T. Deshler, J. Mercer, J. Haase, L. Avallone, L. Kalnajsand, C.-R. Mechoso, A. Tangborn, A. Pellegrini, Y. Frenot, A. McNally, J.-N. Thépaut, G. Balsamo and P. Steinle, 2010: The Concordiasi project in Antarctica, *Bulletin of the American Meteorological Society*. Volume: 91. Issue: 1 (January 2010). Pages: 69-86, doi: 10.1175/2009BAMS2764.1.
- Reeves C.-E., P. Formenti, C. Afif, G. Ancellet, J.-L. Attie, J. Bechara, A. Borbon, F. Cairo, H. Coe, S. Crumeyrolle, F. Fierli, C. Flamant, L. Gomes, T. Hamburger, C. Lambert, K.-S. Law, C. Mari, A. Matsuki, J. Methven, G.-P. Mills, A. Minikin, J.-G. Murphy, J.-K. Nielsen, D.-E. Oram, D.-J. Parker, A. Richter, H. Schlager, A. Schwarzenboeck, V. Thouret, 2010: Chemical and aerosol characterisation of the troposphere over West Africa during the monsoon period as part of AMMA. Source: *Atmospheric Chemistry And Physics*. Volume: 10. Issue: 16. Pages: 7575-7601. Doi: 10.5194/acp-10-7575-2010.
- Remy S. and T. Bergot, 2010: Ensemble Kalman filter data assimilation in a 1D numerical model used for fog forecasting. Source: *Monthly Weather Review*. Volume: 138. Issue: 5. Pages: 1792-1810. Doi: 10.1175/2009MWR3110.1.
- Reverdin G., G. Boutin, J. Martin, N. Lourenco, A. Bouruet-Aubertot, P. Lavin, A. Mader, J. Blouch, P. Rolland, J. Gaillard, F. Lazure, P., 2010: Temperature measurements from surface drifters, *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, doi: 10.1175/2010JTECH0741.1.
- Ribes A, J.-M. Azaïs, S. Planton, 2009: A method for regional climate change detection using smooth temporal patterns, *Climate Dynamics*, doi: 10.1007/s00382-009-0670-0.
- Rio C., F. Hourdin, F. Couvreux, A. Jam, 2010: Resolved Versus Parametrized Boundary-Layer Plumes. Part II: Continuous Formulations of Mixing Rates for Mass-Flux Schemes, *Boundary-Layer Meteorology*, doi: 10.1007/s10546-010-9478-z.
- Reverdin G., G. Boutin, J. Martin, N. Lourenco, A. Bouruet-Aubertot, P. Lavin, A. Mader, J. Blouch, P. Rolland, J. Gaillard, F. Lazure, P. Temperature measurements from surface drifters. Source: *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*. Volume: 27. Issue: 8. Pages : 1403-1409. Doi : 10.1175/2010JTECH0741.1.
- Rivière G., , P. Arbogast, K. Maynard, A. Joly, 2010: The essential ingredients leading to the explosive growth stage of the European wind storm Lothar of Christmas 1999, doi: 10.1002/qj.585 *Quart. Jour. Roy. Meteor. Soc.* Volume: 136.
- Rivière G., 2010: Role of Rossby wave breaking in the West Pacific teleconnection pattern. *Geophys. Research. Letters*, 37, L11802, doi: 10.1029/2010GL043309
- Rivière G., A. Laîné, G. Lapeyre, D. Salas-Méla, M. Kageyama, 2010: Links between Rossby Wave Breaking and the North Atlantic Oscillation-Arctic Oscillation in Present-Day and Last Glacial Maximum Climate Simulations. *Journal of Climate*, 23, 2987-3008.
- Roberts G., D. Day, L. Russell, E. Dunlea, J. Jimenez, J. Tomlinson, D. Collins, Y. Shinozuka, and A. Clarke, Characterization of particle cloud droplet activity and composition in the free troposphere and the boundary layer during INTEx-B. Source: *Atmospheric Chemistry And Physics*. Volume: 10. Issue: 14. Pages: 6627-6644. Doi: 10.5194/acp-10-6627-2010.
- Rousselot M., Y. Durand, G. Giraud, L. Méridol, L. Daniel, 2010: Analysis and forecast of extreme new-snow avalanches: a numerical study of the avalanche cycle of February 1999 in France. *Journal of Glaciology*, 56(199), 758-770.
- Rozenberg J., S. Hallegatte, A. Vogt-Schilb, O. Sassi, C. Guivarch, H. Waisman, J.-C. Hourcade, 2010: Climate policies as a hedge against the uncertainty on future oil supply, *CLIMATIC CHANGE*. Volume: 101. Issue: 3-4. Pages: 663- 668.
- Rüdiger C., C. Albergel, J.-F. Mahfouf, J.-C. Calvet, J.-P. Walker, 2010: Evaluation of Jacobians for Leaf Area Index data assimilation with an extended Kalman filter, *J. Geophys. Res.*, 115, D09111, doi: 10.1029/2009JD012912.
- Salgado R. and P. Le Moigne, 2010: Coupling of the FLake model to the Surface externalized surface model, *Boreal Environment Research*, 15; 231-244.
- Salmond J.-A., L. Pauscher, G. Pigeon, V. Masson, D. Legain, 2010: Vertical transport of accumulation mode particles between two street canyons and the urban boundary layer. Source: *Atmospheric Environment*. Volume: 44. Issue: 39. Pages: 5139-5147. Doi: 10.1016/j.atmosenv.2010.09.002.
- Sander R., S. Morin, 2010: Introducing the bromide/alkalinity ratio for a follow-up discussion on "Precipitation of salts in freezing seawater and ozone depletion events: a status report", by Morin et al., published in *Atmos. Chem. Phys.*, 8, 7317-7324, 2008, *Atmos. Chem. Phys.*, 10, 7655-7658, doi: 10.5194/acp-10-7655-2010, 2010.

Sannino G., M. Hermann, A. Carillo, V. Rupolo, V. Rugiero, V. Artale, P. Heimbach, 2009: An eddy-permitting model of the Mediterranean Sea with a two-way grid refinement at Gibraltar. *Ocean Modelling*, 30(1), 56-72, doi: 10.1016/j.ocemod.2009.06.002.

Shapiro M., J. Shukla, G. Brunet, C. Nobre, M. Bêland, R. Dole, K. Trenberth, R. Anthes, G. Asrar, L. Barrie, P. Bougeault, G. Brasseur, D. Burridge, A. Busalacchi, J. Caughey, D. Chen, J. Church, T. Enomoto, B. Hoskins, Ø. Hov, A. Laing, H. Le Treut, J. Marotzke, G. McBean, G. Meehl, M. Miller, B. Mills, J. Mitchell, M. Moncrieff, T. Nakazawa, Haraldur Olafsson, T. Palmer, D. Parsons, D. Rogers, A. Simmons, A. Troccoli, Z. Toth, L. Uccellini, C. Velden, and J. M. Wallace, 2010: An Earth-System Prediction Initiative for the Twenty-First Century, *Bulletin of the American Meteorological Society* October 2010. Volume: 91, N° 10: 1377-1388.

Schroeder K., S.-A. Josey, M. Herrmann, L. Grignon, G.-P. Gasparini and H.-L. Bryden, 2010: Abrupt warming and salting of the Western Mediterranean Deep Water after 2005: atmospheric forcings and lateral advection, *J. Geophys. Res.*, doi: 10.1029/2009JC005749.

Son S.-W., E.-P. Gerber, J. Perlwitz, L.-M. Polvani, N. Gillett, K.-H. Seo, V. Eyring, T.-G. Shepherd, D. Waugh, H. Akiyoshi, J. Austin, A. Baumgaertner, S. Bekki, P. Braesicke, C. Brühl, N. Butchart, M. Chipperfield, M. Dameris, S. Dhomse, S. Frith, H. Garmy, R. Garcia, A. Gettelman, S.-C. Hardiman, P. Jöckel, D.-E. Kinnison, J.-F. Lamarque, E. Mancini, M. Marchand, M. Michou, O. Morgenstern, S. Pawson, T. Peter, G. Pitari, D.-A. Plummer, J. Pyle, E. Rozanov, J.-F. Scinocca, K. Shibata, D. Smale, R. Stolarski, H. Teyssède, W. Tian, 2010: Impact of stratospheric ozone on Southern Hemisphere circulation change: A multimodel assessment. Source: *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*. Volume: 115. Article Number: D00M07. Doi: 10.1029/2010JD014271.

Stickler A., A.-N. Grant, T. Ewen, T.-F. Ross, R.-S. Vose, J. Comeaux, P. Bessemoulin, K. Jylhä, W.-K. Adam, P. Jeanne, A. Nagurny, A.-M. Sterin, R. Allan, G.-P. Compo, T. Griesner, and S. Brönnimann, 2010: The comprehensive historical upper-air network (CHUAN). *Bull. Amer. Met. Soc. (BAMS)*, 91: 741-751.

Sullivan R., M. Moore, M. Petters, S. Kreidenweis, O. Qafoku, A. Laskin, G. Roberts and K. Prather, 2010: Impact of particle generation method on the apparent hygroscopicity of insoluble mineral particles. Source: *Aerosol Science and Technology*. Volume : 44. Issue : 10. Pages: 830-846. Doi: 10.1080/02786826.2010.497514.

Swingedouw D., L. Terray, C. Cassou, A. Voldoire, D. Salas y Melia and J. Servonnat, 2010: Natural forcing of climate during the last millennium: Fingerprint of solar variability, *Climat Dynamics*, doi:10.1007/s00382-010-0803-5.

Thirel G., E. Martin, J.-F. Mahfouf, S. Massart, S. Ricci, and F. Habets, 2010: A past discharges assimilation system for ensemble streamflow forecasts over France – Part 1: Description and validation of the assimilation system, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 14, 1623-1637, doi: 10.5194/hess-14-1623-2010.

Thirel G., E. Martin, J.-F. Mahfouf, S. Massart, S. Ricci, F. Regimbeau, and F. Habets, 2010: A past discharge assimilation system for ensemble streamflow forecasts over France – Part 2: Impact on the ensemble streamflow forecasts, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 14, 1639-1653, doi: 10.5194/hess-14-1639-2010.

Tourel Y., S. Paz, Y. Kushnir and W.-B. White, 2010: Low-frequency climate variability in the Atlantic basin during the 20th century, *Atmos. Sci. Let.*, Doi: 10.1002/asl.265.

Tulet P., N. Villeneuve, 2010: Large scale modeling of the transport, the chemical transformation and the mass budget of the sulfur emitted during the eruption of April 2007 by the Piton de la Fournaise, *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, 10, 21357-21389, doi:10.5194/acpd-10-21357-2010.

Tulet P., K. Crahan-Kaku, M. Leriche, B. Aouizerats, S. Crumeyrolle, 2010: Mixing of dust aerosols into a mesoscale convective system generation, filtering and possible feedbacks on ice anvils, *Atmospheric Research* 96, 302-314, doi: 10.1016/j.atmos.res.2009.09.011.

Van Heerwaarden C., J. Vila-Guerau de Arellano, A. Gounou, F. Couvreur and F. Guichard, 2010: Understanding the daily cycle of surface evapotranspiration: a new method to quantify the influence of forcings and feedbacks. *JOURNAL OF HYDROMETEOROLOGY*. Volume: 11. Issue: 6. Pages: 1405-1422. Doi: 10.1175/2010JHM1272.1.

Vidal J.-P., E. Martin, L. Franchistéguy, F. Habets, J.-M. Soubeyrroux, M. Blanchard and M. Baillon, 2010: Multilevel and multiscale drought reanalysis over France with the Safran-Isba-Modcou hydrometeorological suite, *Hydrol. Earth Syst. Sci. Volume: 14*. Issue: 3. Pages: 459-478. Published: 2010. Doi: 10.1002/joc.2003.

Vié B., O. Nussier, V. Ducrocq, 2010: Cloud-Resolving Ensemble Simulations of Mediterranean Heavy Precipitating Events: Uncertainty on Initial Conditions and Lateral Boundary Conditions, *Monthly Weather Review*, accepted, doi: 10.1175/2010MWR3487.1.

Vincendon B., V. Ducrocq, G.-M. Saulnier, L. Bouilloud, K. Chancibault, F. Habets, J. Noilhan, 2010: Benefit of coupling the ISBA land surface model with a TOPMODEL hydrological model version dedicated to Mediterranean flash-floods Publication externe avec comité de lecture. *Journal of Hydrology*. Volume: 394. Issue: 1-2. Special Issue: Sp. Iss. SI. Pages: 256-266. Doi: 0.1016/j.jhydrol.2010.04.012.

Yano J.-I., P. Bénard, F. Couvreur, Al. Lahellec, 2010: NAM-SCA: A Nonhydrostatic Anelastic Model with Segmentally Constant Approximations, *Mon. Wea. Rev.*, 138, 1957-1974.

Williams E.-R., W.-A. Lyons, Y. Hobara, V.-C. Mushtak, N. Asencio, R. Boldi, J. Bór, S.-A. Cummer, E. Greenberg, M. Hayakawa, R.-H. Holzworth, V. Kotroni, J. Li, C. Morales, T.-E. Nelson, C. Price, B. Russell, M. Sato, G. Satori, K. Shirahata, Y. Takahashi, K. Yamashita, 2010: Ground-based detection of sprites and their parent lightning flashes over Africa during the 2006 AMMA campaign, 2010: *Quart. Jour. Roy. Meteor. Soc.*, 57-271. Doi: 10.1002/qj.489.

Williams J.-E., R. Scheele, P. Van Velthoven, I. Bouarar, K. Law, B. Josse, V.-H. Peuch, X. Yang, J. Pyle, V. Thouret, B. Barret, C. Liousse, F. Hourdin, S. Szopa and A. Cozic, 2010: Global Chemistry simulations in the AMMA-Model Intercomparison project, *Bull. Am. Meteor. Soc.*, 91(5), 611-624.

Xue Y., F. De Sales, Fernando, W.K.-M. Lau, A. Boone, J. Feng, P. Dirmeyer, Z. Guo, K.-M. Kim, A. Kitoh, V. Kumar, I. Poccarr-Leclercq, N. Mahowald, W. Moufouma-Okia, P. Wilfran, P. Pegion, D. Rowell, J. Schemm, S.-D. Schubert, Siegfried, A. Sealy, W.-M. Wassila, A. Vintzileos, S.-F. Williams, M.-L. C Wu, 2010: Intercomparison and analyses of the climatology of the West African Monsoon in the West African Monsoon Modeling and Evaluation project (WAMME) first model intercomparison experiment. *CLIMATE DYNAMICS*. Volume: 35. Issue: 1. Special Issue: Sp. Iss. SI. Pages: 3-27. Doi: 10.1007/s00382-010-0778-2.

Autres publications scientifiques dans des revues à comité de lecture

Anquetin S., J.-D. Creutin, V. Ducrocq, I. Braud, 2009: Hydrometeorological modelling for flash flood areas – The case of the 2002 Gard event in France. *J. Flood Risk Management*, 2, 101-110. S. Leroyer, J. Mailhot, S. Belair, A. Lemonsu, IB Strachan, 2010.

Aouizerats B., O. Thouron, P. Tulet, M. Mallet, L. Gomes, S. Henzing, 2010: Development of an online radiative module for the computation of aerosol optical properties in 3-D atmospheric models: Validation during the EUCAARI campaign, *Geosci. Model Dev.*, 3, 553-564, doi: 10.5194/gmd-3-553-2010.

Bleuse P., 2010 : la série climatologique de Rochefort, La Météorologie, 8^{ème} série, n°68, p.41-49.

Caniaux G., H. Giordani et J.-L. Redelsperger, 2010 : La mousson Africaine sous influence de l'Atlantique. *La Recherche*, N° 440, Avril 2010, 56-58.

Chaouche K., L. Neppel, C. Dieulin, N. Pujol, B. Ladouche, E. Martin, D. Salas, Y. Caballero, 2010 : Analyse des variables précipitation, température et évapotranspiration en région méditerranéenne française dans un contexte de changement climatique. *Comptes Rendus Géoscience*, 342, 3, 234-243 (mars 2010), doi: 10.1016/j.crte.2010.02.001.

Céron J.-P., G. Tanguy, L. Franchistéguy, E. Martin, F. Regimbeau, J.-P. Vidal, 2010: Hydrological seasonal forecast over France: feasibility and prospects, *Atmospheric Science letters*, doi: 10.1002/asl.256.

Dabas, A., 2010: Observing the atmospheric winf from space. *COMPTEs RENDUS GEOSCIENCE*. Volume: 342. Issue: 4-5. Special Issue: Sp. Iss. SI. Pages: 370-379. Doi: 10.1016/j.crte.2009.09.014.

Doerenbecher A., S. Argence, C. Cassou, O. Caumont, L. Descamps, V. Ducrocq, N. Fourrié, V. Guidard, G. Jaubert, A. Joly, D. Lambert, C. Lebeaupin-Brossier, T. Pangaud, E. Sanchez-Gomez, O. Talagrand, L. Terray, B. Vincendon, 2010 : Cyclogenèses et précipitations intenses : éléments de prévisibilité, besoins en observations (projet Cyprim, partie III), *La Météorologie*, 8^{ème} série, n°68, p.23-34.

Hajar L., L. François, C. Khater, I. Jomaa, M. Déqué and R. Cheddadi, 2010: Cedrus libani (A. Rich) distribution in Lebanon: Past, present and future, *C. R. Biologies*, doi: 10.1016/j.crvi.2010.05.003.

Herrmann M., 2010 : La formation d'eau dense en Méditerranée : interactions d'échelles, changement climatique et écosystèmes, *La Météorologie*, n° 70, p. 22-31.

Knigge C., D. Etling, A. Paci, O. Eiff, 2010: Laboratory experiments on mountain-induced rotors. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 136: 442-450. Doi:10.1002/qj.564.

Legras B., O. Mestre, E. Bard and P. Yiou, 2010: On misleading solarclimate relationship, *Climate of the Past*, discuss mode, *Clim. Past Discuss.*, 6, 767-800, doi: 10.5194/cpd-6-767-2010.

Lei M., P. Del Moral, C. Baehr, 2010: Fisher Information Matrix-based Nonlinear System conversion for State Estimation. *IEEE transaction on Control and Automation*, 837-841, doi N°: 10.1109/ICCA.2010.5524066.

Lei M., P. Del Moral, C. Baehr, 2010: Error analysis of approximated PCRLBs for nonlinear dynamics. *IEEE transaction on Control and Automation*, 1988-1993, Doi N°: 10.1109/ICCA.2010.5524070.

Morin, S., 2010 : Conductivité thermique de la neige : enjeux et mesures au sein du manteau neigeux, *Neige et Avalanches*, 129, 24-25.

Paillex J., F. Rabier, P. Bougeault, A. Doerenbecher et P. Arbogast, 2010 : Thorpex, un programme de recherche en prévision numérique du temps, *La Météorologie*, N° 70 P 32-39.

Rabier F., A. Bouchard, E. Brun, A. Doerenbecher, S. Guedj, V. Guidard, F. Karbou, V.-H. Peuch, L. El Amraoui, D. Puech, C. Genthon, G. Picard, M. Town, A. Hertzog, F. Vial, P. Cocquerez, S. A. Cohn, T. Hock, J. Fox, H. Cole, D. Parsons, J. Powers, K. Romberg, J. VanAndel, T. Deshler, J. Mercer, J. S. Haase, L. Avallone, L. Kalnajs, C.-R. Mechoso, A. Tangborn, A. Pellegrini, Y. Frenot, J.-N. Thépaut, A. McNally, G. Balsamo, P. Steinle, 2010 : Le Projet Concordiasi en Antarctique. La Météorologie, N° 69, pp 42-55.

Randrianasolo A., M. Ramos, G. Thirel, V. Andréassian and E. Martin, 2010: Comparing the scores of hydrological ensemble forecasts issued by two different hydrological models. Atmos. Sci. Let. DOI: 10.1002/asl.259.

Schaake J., J. Pailleux, J. Thielen, R. Arritt, T. Hamill, L. Luo, E. Martin, D. McCollor, F. Pappenberger, 2010: Summary of recommendations of the first workshop on Postprocessing and Downscaling Atmospheric Forecasts for Hydrologic Applications held at Météo-France, Toulouse, France, 15-18 June 2009 Atmos. Sci. Let. 11:59 - 63. Doi: 10.1002/asl.267.

Sobel A.-H., E.-D. Maloney, G. Bellon and D.-M. Frier-son, 2010: Surface fluxes and tropical intraseasonal variability: a reassessment, Journal of Advances in Modeling Earth Systems, 2, Art 2, doi: 10.3894/JAMES.2010.2.2.

Soubeyroux J.-M., J.-F. Vidal, M. Baillon, M. Blanchard, J.-P. Céron, L. Franchistéguy, F. Régimbeau, E. Martin, C. Vincendon, 2010: Characterizing and forecasting droughts and low-flows in France with the Safran-Isba-Modcou hydrometeorological, La Houille Blanche, 5, pages: 30-39. Doi: 10.1051/lhb/2010051.

Taylor C.-M., D.-J. Parker, N. Kalthoff, M. Angel Gaertner, N. Philippon, S. Bastin, P.-P. Harris, A. Boone, F. Guichard, C. Flamant, J.-Y. Grandpeix, P. Cerlini, M. Baldi, L. Des-croix, H. Douville, J. Polcher, A. Agustí-Panareda, 2010: New Perspectives on Land-Atmosphere Feedbacks from the African Monsoon Multidisciplinary Analysis (AMMA). Atmospheric Science Letters, ASL-10- 015.R2.

Thirel G., F. Régimbeau, E. Martin, J. Noilhan, F. Habets, 2010: Shortand medium-range hydrological ensemble forecasts over France, Atmos. Sci. Let. 11: 72-77. Doi: 10.1002/asl.254.

Tourre, Y., S. Paz, Y. Kushnir and W. B. White, 2010, Low-frequency climate variability in the Atlantic basin during the 20th century, Atmos. Sci. Let., DOI : 10.1002/asl.265.

Zappa M., K. -J. Beven, M. Bruen, A. S. Cofiño, K. Kok, E. Mar-tin, P. Nurmi, B. Orfila, E. Roulin, K. Schröter, A. Seed, J. Szturc, B. Vehviläinen, U. Germann, A. Rossa, 2010: Propagation of uncertainty from observing systems and NWP into hydrological models: COST-731 Working Group 2, Atmospheric Sciences Letters, DOI: 10.1002/asl.248.

Contributions à des ouvrages ou à des rapports

Berre L., G. Desroziers, L. Raynaud, 2010: Upgrade to 4D-Var of the operational ensemble variational assimilation at Météo-France. Edition: WGNE 2010.

Caniaux G., H. Giordani et J.-L. Redelsperger, 2010 : La mousson Africaine sous influence de l'Atlantique. La Recherche, N° 440, Avril 2010, 56-58.

Dabas A., 2010: Observing the atmospheric wind from space, Comptes rendus Géoscience. Volume: 342. Issue: 4-5. Special Issue: Sp. Iss. SI. Pages: 370-379.

Daloz A.S., F. Chauvin and F. Roux, 2010: Tropical cyclones Rainfall in the observations, reanalysis and ARPEGE Simulations in the North Atlantic basin. Chapter 4 , Book ID: 211142, Springer Science + business Media Holder B. V.

Déqué M., 2010: A big brother multi-pole experiment with stretched grid GCMs. Research activities in Atmospheric and Oceanic Modelling, 40, 3.5-3.6.

Déqué M., E. Cloppet, 2010: Possible future climates in France. In Forests, Carbon Cycle, and Climate Change. Denis Lousteau Ed., Editions Quae, Versailles. 133-143.

Douville H., 2010: Relative influence of the tropical troposphere and extratropical stratosphere on Northern Hemisphere winter climate variability. Research activities in Atmospheric and Oceanic Modelling, 40, 6.3-6.4.

Eyring V., T. G. Shepherd and D. W. Waugh (Eds.), 2010 : SPARC CCMVal, SPARC CCMVal Report on the Evaluation of Chemistry-Climate Models, SPARC Report, N° 5, WCRP-X, WMO/TD-No. X.

Fourrié N., V. Guidard and F. Rabier, 2010: Impact of hyperspectral infrared sounders in Numerical Weather Prediction models of Météo-France. Edition: WGNE.

Karbou F., F. Rabier, E. Gérard, J.-P. Lafore, J.-L. Redelsperger, O. Bock, 2010: The Use of Microwave Surface Sensitive Observations over Land and over Sea-Ice at Météo-France. Edition: WGNE 2010.

Planton S. et M. Déqué, 2010 : Changement climatique et événements extrêmes en France, dans Dossier n° 8 club ViTeCC, « Événements extrêmes et gestion des risques météorologiques », pp5-14, CDC Climat, Paris.

Rabier F., A. Bouchard, V. Guidard, 2010: Developments in the context of the Concordiasi project over Antarctica. Edition: WGNE.

Seguin B., J. Dercourt, G. Pelletier et S. Planton, 2010 : Changement climatique et adaptation à l'agriculture, sous-chapitre du Rapport sur la Science et la Technologie n° 29, « Événements climatiques extrêmes, Réduire les vulnérabilités des systèmes écologiques et sociaux », sous la direction de H. Décamps, pp 57-66, Académie des Sciences, Paris.

Tavemier P, 2010: Weather Variability and Changing Sea Ice Use in Qeqertaq, Northwest Greenland 1987-2008, dans l'ouvrage intitulé "Siku: Knowing Our Ice Documenting Inuit Sea Ice Knowledge and Use" sous la direction de I. Krupnik, C. Aporta, S. Gearheard, G.-J. Laidler, L. Kielsen Holm, aux Editions Springer.

Thèses soutenues en 2010

Albergel C., 2010 : Assimilation de données de télédétection dans le modèle ISBA-A-gs pour une analyse conjointe de la biomasse et de l'état hydrique du sol. Thèse de doctorat de l'Université Paul Sabatier, discipline Océan, Atmosphère et Environnement, soutenance le 16 septembre 2010.

Aouizerats B., 2010 : Impacts des aérosols sur la dynamique atmosphérique en couche limite urbaine: Applications à la campagne CAPITOUL, soutenance le 24 novembre 2010.

Claeyman M., 2010 : Étude par modélisation et assimilation de données d'un capteur infrarouge géostationnaire pour la qualité de l'air, soutenance le 26 novembre 2010.

Drïouech F., 2010 : Distribution des précipitations hivernales sur le Maroc dans le cadre d'un changement climatique : descente d'échelle et incertitudes. soutenance le 6 octobre 2010.

Duffourg F., 2010 : Sources et transports d'humidité pour les événements de pluies intenses en région méditerranéenne : caractérisation et assimilation à mésoéchelle de radiances satellitaires infrarouges, soutenance le 17 décembre 2010.

Kaptue A., 2010 : Classification des écosystèmes et paramètres biophysiques de surface à moyenne échelle satellitaire pour l'étude des flux hydriques sur le continent africain, soutenance le 10 novembre 2010.

Peings Y., 2010 : Influence de la couverture de neige de l'hémisphère Nord sur la variabilité interannuelle du climat, soutenance le 8 octobre 2010.

Perraud E., 2010 : Vers une amélioration du schéma statistique de nuages de méso-échelle dans les modèles AROME et Més-NH, soutenance le 17 septembre 2010.

Raynaud L., 2010 : Application, validation et réglage d'une assimilation d'ensemble, soutenance le 2 décembre 2010.

Roehrig R., 2010 : Variabilité intrasaisonnière de la mousson africaine : caractérisation et modélisation, soutenance le 19 novembre 2010.

Saint Martin D., 2010 : Modélisation numérique des interactions entre chimieclimat, rôle de la vapeur d'eau, soutenance le 25 novembre 2010.

Vincendon B., 2010 : Apport des modèles météorologiques de résolution kilométrique pour la prévision des crues rapides méditerranéennes : vers une prévision d'ensemble des débits en région Cévennes-Vivarais, soutenance le 16 décembre 2010.

Wade M., 2010 : Caractérisation de la couche océanique pendant les campagnes EGEE/AMMA dans l'Atlantique est, soutenance le 30 novembre 2010.

Habilitations à diriger des recherches soutenues en 2010

Bouin, M.-N., 2010, "Méthodologie GPS, mesures de déformations verticales et humidité atmosphérique" soutenance le 19 janvier 2010.

Fourrie, N., 2010, "Apport des sondeurs hyperspectraux au sein du système global d'observations pour l'étude des dépressions météorologiques" habilitation à diriger des recherches de l'Université Paul Sabatier, discipline Océan, Atmosphère et Environnement, soutenance le 13 décembre 2010.

Karbou, F., 2010, "Apport de l'assimilation des observations micro-ondes au-dessus des surfaces continentales" soutenance le 30 juin 2010.

Glossaire

Organismes et Laboratoires

Organismes

ADEME Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie
AIEA Agence Internationale de l'Energie Atomique
ANR Agence Nationale de la Recherche
BEC Bureau d'Etudes et de Consultance
CDM Centre Départemental de la Météorologie
CDMA Cellule de développement Météo-Air
CEH Centre for Ecology and Hydrology
CEN Centre d'Etudes de la Neige
CEPMET Centre Européen pour les Prévisions Météorologiques à Moyen Terme
CERFACS Centre Européen de Recherche et de Formation Avancée en Calcul Scientifique
CMM Centre de Météorologie Marine
CMRS Centre Météorologique Régional Spécialisé
CMS Centre de Météorologie Spatiale
CNES Centre National d'Études Spatiales
CNP Centre National de Prévision
EEA Agence Environnementale Européenne
ESA European Space Agency
EUFAR European Facility for Airborne Research
EUMETNET European METeorological NETwork
ICARE International Conference on Airborne Research for the Environment
IFREMER Institut Français de Recherche pour l'Exploitation de la MER
INERIS Institut National de l'Environnement et des Risques
INSU Institut National des Sciences de l'Univers
IPEV Institut Paul Emile Victor
IRD Institut de Recherche pour le Développement
JMA Japan Meteorological Agency
MetOffice United Kingdom Meteorological Office
MPI Max Planck Institut
NASA National Aeronautics and Space Administration
NCAR National Center for Atmospheric Research
NEC Nippon Electric Company
NOAA National Ocean and Atmosphere Administration
OACI Organisation de l'Aviation Civile Internationale
OMM Organisation Météorologique Mondiale
RTRA-STAE Réseau Thématique de Recherche Avancée – Sciences et Technologies pour l'Aéronautique et l'Espace
SHOM Service Hydrographique et Océanographique de la Marine
UKMO United Kingdom Meteorological Office
VAAC Volcanic Ash Advisory Centre

Laboratoires ou unités de recherche/développement

CESBIO Centre d'Etudes Spatiales de la Biosphère
CNRM Centre National de Recherches Météorologiques
CNRM-GAME Groupe d'études de l'Atmosphère Météorologique
CNRS Centre National de Recherches Scientifiques
DSO Direction des Systèmes d'Observation (Météo-France)
GAME Groupe d'Etude de l'Atmosphère Météorologique
IPSL Institut Pierre Simon Laplace
LAMP Laboratoire de Météorologie Physique
LATMOS Laboratoire Atmosphères, Milieux, Observations Spatiales
LCP Laboratoire Chimie et Procédés
LGGE Laboratoire de Glaciologie et de Géophysique de l'Environnement
LMD Laboratoire de Météorologie Dynamique
LOCEAN Laboratoire d'Océanographie et du Climat : Expérimentations et Approches Numériques
LSCE Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement
SAFIRE Service des Avions Français Instrumentés pour la Recherche en Environnement

Programmes et projets nationaux et internationaux

BAMED Balloons in the MEDiterranean
CHFP Climate Historical Forecasting Project
CIDEX Calibration and Icing Detection EXperiment
CMIP Coupled Model Intercomparison Project

CYPRIM projet Cyclogénèse et précipitations intenses dans la zone méditerranéenne
ESURFMAR Eumetnet SURface MARine programme
GLOSCAL Global Ocean Surface salinity CALibration and validation
HyMeX Hydrological cYcle in the Mediterranean EXperiment
MEPRA Modèle Expert de Prévision du Risque d'Avalanche (modélisation)
MERCATOR-OCEAN Programme coopératif d'océanographie opérationnelle
METOP METeorological Operational Polar satellites
PNRA Programma Nazionale di Ricerca in Antartide
QUANTIFY Programme QUANTIFYing the climate impact of global and European transport systems
RHYTMME Risques HYdro-météorologiques en Territoires de Montagnes et Méditerranéens
SMOS Soil Moisture and Ocean Salinity
THORPEX The Observing system Research and Predictability EXperiment
USAP United States Antarctic Program
WCRP World Climate Research Programme

Campagnes expérimentales

AMMA Analyse Multidisciplinaire de la Mousson Africaine
CORDEX COordinated Regional climate Downscaling EXperiment
MEGAPOLI Megacities : Emissions, urban, regional and Global Atmospheric POLLution and climate effects, and Integrated tools for assessment and mitigation
SMOSREX Surface MONitoring of the Soil Reservoir EXperiment

Autres sigles, abréviations ou acronymes

ALADIN Aire Limitée Adaptation Dynamique et développement InterNational
AMSR Advanced Microwave Scanning Radiometer
AMSU Advanced Microwave Sounding Unit
ANTILOPE Analyse par spaTialisation hOaire des PrÉcipitations
ARAMIS Application Radar A la Météorologie Infra-Synoptique
ARGO Array for Real time Geostrophic Oceanography
AROME Application de la Recherche à l'Opérationnel à MésO-Échelle
AROME-COMB AROME - COMBinaison
AROME-PERTOBS AROME (OBServations PERTurbées aléatoirement)
ARPEGE Action de Recherche Petite Échelle Grande Échelle
AS Adaptations Statistiques
ASAR Advanced Synthetic Aperture Radar
ASCAT Advanced SCATterometer
AVHRR Advanced Very High Resolution Radiometer
BAS British Antarctic Survey
BPCL Ballon Pressurisé de Couche Limite
CALIPSO Cloud-Aerosol Lidar and Infrared Pathfinder Satellite Observations
CAPE Convective Available Potential Energy
CAROLS Combined Airborne Radio-instruments for Ocean and Land Studies
CFOSAT Chinese-French SATellite
CISMF Centre Inter-armées de Soutien Météorologique aux Forces
CLAS Couches Limites Atmosphériques Stables
CMC Cellule Météorologique de Crise
CNRM-CM5 Version 5 du Modèle de Climat du CNRM
COPAL Community heavy-PAYload Long endurance instrumented aircraft for tropospheric research in environmental and geo-sciences
CROCUS Modèle de simulation numérique du manteau neigeux développé par Météo-France
DP Direction de la Production
DPrévi Direction de la Prévision
DSI Direction des Systèmes d'Information (Météo-France)
DSNA Direction des Services de la Navigation Aérienne
ECMWF European Centre for Medium-range Weather Forecasts
ECOCLIMAP Base de données de paramètres de surface
EGEE Etude du golfe de Guinée
ENVISAT ENVironmental SATellite
ERA Re-Analysis
FAB Fonctionnel Aerospace Block
FAR Fausse Alerte

GELATO	Global Experimental Leads and ice for Atmosphere and Ocean	OTICE	Organisation du Traité d'Interdiction Complète des Essais nucléaires
GIEC	Groupe Intergouvernemental d'experts sur l'Evolution du Climat	PALM	Projet d'Assimilation par Logiciel Multi-méthodes
GMAP	Groupe de Modélisation et d'Assimilation pour la Prévision	PEARP	Prévision d'Ensemble ARPège
GMEI	Groupe de Météorologie Expérimentale et Instrumentale	PNT	Prévision Numérique du Temps
GMES	Global Monitoring for Environment and Security	POD	PrObabilité de Détection
GPS	Global Positionning System	POI	Période d'Observation Intensive
HIRLAM	High Resolution Limited Area Model	Prev'Air	Plateforme nationale de la qualité de l'air
HSS	Measurement of improvement of the forecast	Prévi-Prob	Projet sur les Prévisions Probabilistes
IAGOS	In-service Aircraft for Global Observing System	PSI	Pollutant Standard Index
IASI	Interféromètre Atmosphérique de Sondage Infrarouge	RADOME	Réseau d'Acquisition de Données d'Observations Météorologiques Etendu
IFS	Integrated Forecasting System	ROC	Relative Operating Characteristic curve
ISBA	Interaction between Soil, Biosphere and Atmosphere	SAFRAN	Système d'Analyse Fournissant des Renseignements Atmosphériques à la Neige
ISFC	Indice de Segmentation de la Composante de Fourier	SESAR	Single European Sky ATM Research
ISIS	Algorithme de suivi automatique des systèmes identifiés à partir de l'imagerie infra-rouge de Météosat	SEVIRI	Spinning Enhanced Visible and Infra-Red Imager
Land-SAF	LAND Satellite Application Facilities	SFRI	Système Français de Recherche et d'Innovation
LCSS	Land Cover Classification System	SIM	SAFRAN ISBA MODCOU
LES	Large Eddy Simulation model	SIRTA	Site Instrumental de Recherche par Télédétection Atmosphérique
LISA	Lidar Satellite	SMOSMANIA	Soil Moisture Observing System – Meteorological Automatic Network Integrated Application
MEDUP	MEDiterranean intense events : Uncertainties and Propagation on environment	SMT	Système Mondial de Télécommunications
Megha-Tropiques	Satellite franco-indien dédié à l'étude du cycle de l'eau et des échanges d'énergie dans la zone tropicale	SOERE/GLACIOCLIM	Système d'Observation et d'Expérimentation sur le long terme pour la Recherche en Environnement : "Les GLACIers, un Observatoire du CLIMat".
MERSEA	Marine EnviRonment and Security for the European Area	SOP	Special Observing Period
MESO-NH	Modèle à MESO-échelle Non Hydrostatique	SSMIS	Special Sensor Microwave Imager/Sounder
MFWAM	Météo-France WAVE Model	SURFEX	SURFace EXternalisée
MHS	Microwave Humidity Sounder	SVP	Surface Velocity Program
MNPCE	Microphysique des Nuages et de Physico-Chimie de l'Atmosphère	SWIM	Surface Wave Investigation and Monitoring
MOCAGE	MODélisation de la Chimie Atmosphérique de Grande Echelle (modélisation)	TEB	Town Energy Budget
MODCOU	MODèle hydrologique COUplé surface-souterrain.	TRIP	Total Runoff Integrating Pathways
MODIS	MODerate-resolution Imaging Spectro-radiometer (instrument)	TSM	Températures de Surface de la Mer
MRR	Micro Rain Radars	UHF	Ultra-Haute Fréquence
NAO	North Atlantic Oscillation	UNIBAS	Modèle de précipitations
NEMO	Nucleus for European Modelling of Ocean	VARPACK	Current tool for diagnostic analysis in Meteo-France
NSF	Norges StandardiseringsForbund	VHF	Very High Frequency
OPIC	Objets pour la Prévision Immédiate de la Convection		
OSTIA	Operational Sea surface Temperature and sea Ice Analysis		

Organigramme du Centre National de Recherches Météorologiques

A la date du : 31.12.2010

Directeur : **Philippe Bougeault**

Directeur adjoint - Toulouse : **Joël Poitevin**

Directeur adjoint scientifique - Toulouse : **Marc Pontaud**

Directeur adjoint - Paris : **Pascale Delécluse**

SAFIRE : Service des Avions Français Instrumentés pour la Recherche en Environnement

CENTRE D'AVIATION MÉTÉOROLOGIQUE

CAM - Toulouse

Chef de division : **Lior Perez**

CENTRE D'ÉTUDES DE LA NEIGE

CEN - Grenoble

Chef de division : **Pierre Etchevers**

CENTRE DE MÉTÉOROLOGIE MARINE

CMM - Brest

Chef de division : **Jean Rolland**

GROUPE DE MODÉLISATION POUR L'ASSIMILATION ET LA PRÉVISION

GMAP - Toulouse

Chef de division : **Alain Joly**

GROUPE DE MÉTÉOROLOGIE EXPERIMENTALE ET INSTRUMENTALE

GMEI - Toulouse

Chef de division : **Jean-Louis Brenguier**

GROUPE DE MÉTÉOROLOGIE DE GRANDE ÉCHELLE ET CLIMAT

GMGEC - Toulouse

Chef de division : **Serge Planton**

GROUPE DE MÉTÉOROLOGIE DE MOYENNE ÉCHELLE

GMME - Toulouse

Chef de division : **Véronique Ducrocq**

RÉSEAU D'ÉTUDES ET DE TRANSFERT INTERNE DES CONNAISSANCES

RETIC - Toulouse

Chef de division : **Christine Dreveton**

SERVICES COMMUNS

Paris & Toulouse

Responsable : **Joël Poitevin**

Nota :

Le GAME est l'unité de Recherche Associée entre Météo-France et le CNRS. Les unités sur fond bleu foncé sont entièrement incluses dans le GAME, celles sur fond bleu clair sont partiellement incluses dans le GAME.

SAFIRE est une unité mixte de service entre Météo-France, le CNRS et le CNES

**Centre National
de Recherches Météorologiques
Groupe d'études
de l'Atmosphère Météorologique**

42, avenue Gaspard Coriolis
31057 Toulouse Cedex 1 France
Tél. : +33 (0) 5 61 07 93 70
Fax. : +33 (0) 5 61 07 96 00
<http://www.cnrm-game.fr>
Mail : contact@cnrm.meteo.fr

Météo-France

1, quai Branly
75340 Paris Cedex 07
Tél. : +33 (0) 1 45 5601 11
À compter de novembre 2011 :

73, avenue de Paris
94160 Saint-Mandé
Tél. : +33 (0) 1 77 94 77 94
Fax. : +33 (0) 1 77 94 71 11

www.meteofrance.com

Météo-France est certifié ISO 9001
par Bureau Veritas Certification

© Météo-France 2011
Dépôt légal avril 2011
ISSN en cours

Conception, réalisation et impression D2c/IMP Trappes

**Rapport
Recherche
2010**



Imprimé sur du papier écologique,
sur les presses de l'imprimerie
de Météo-France D2c/IMP,
labellisé Imprim'vert



METEO FRANCE
Toujours un temps d'avance