Météo-France : Rapport recherche 2012

Philippe Bougeault

▶ **To cite this version:**

Philippe Bougeault. Météo-France : Rapport recherche 2012. Météo-France. 2013. ⟨hal-04659419⟩

HAL Id: hal-04659419

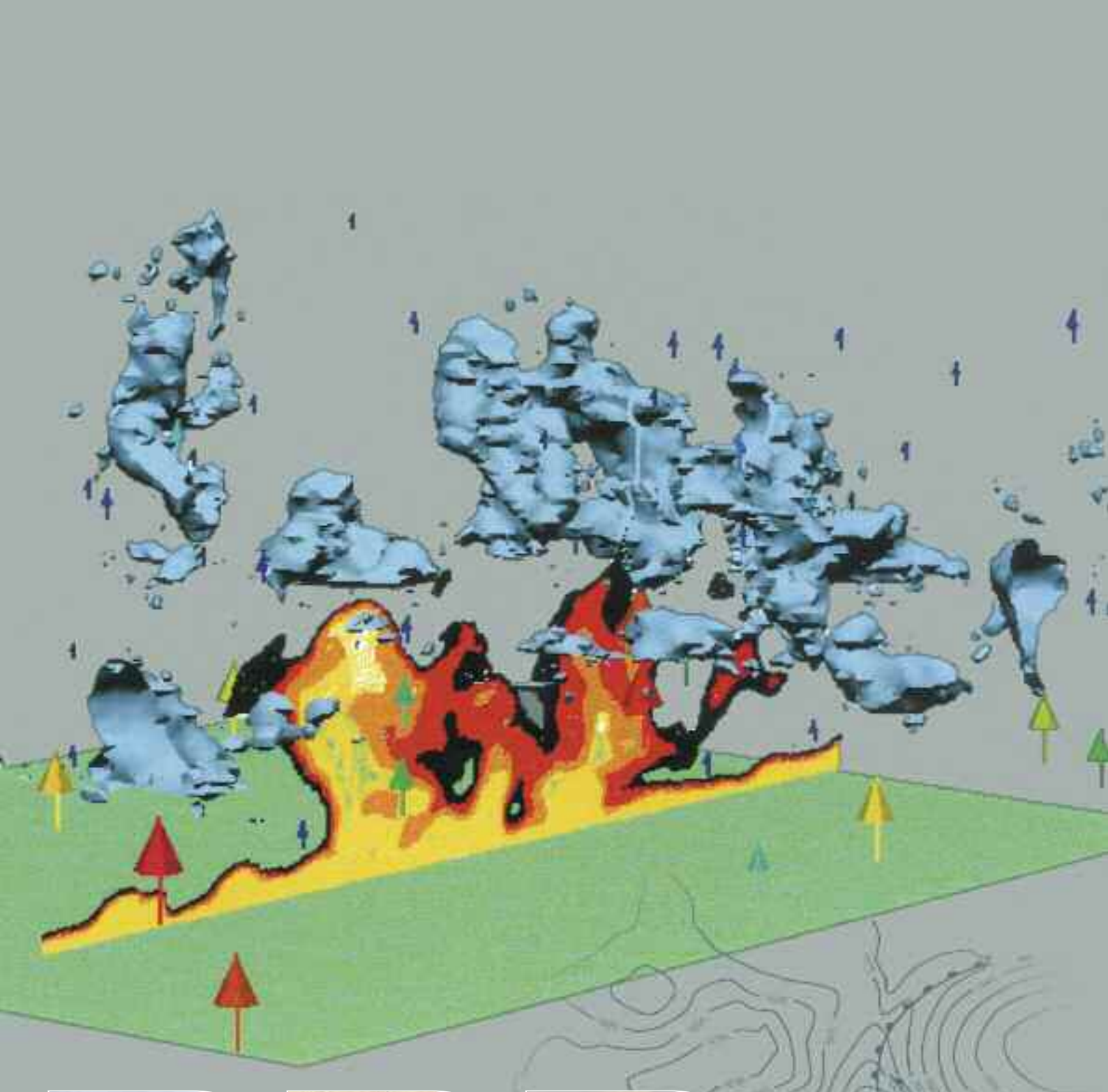
https://hal.science/hal-04659419v1

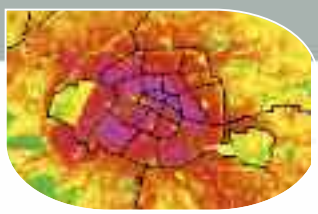
Submitted on 30 Jul 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

HAL Authorization





Rapport **Recherche**

2012

METEO FRANCE
Toujours un temps d'avance

Rapport
Recherche 2012

Sommaire

Prévision numérique du temps ● page 6
Modélisation
Assimilation
Prévision d'ensemble

Étude des processus ● page 18
Compréhension
Campagnes

Climat ● page 20
Étude du climat et du changement climatique
Prévisions saisonnière et climatique

Chimie, aérosols et qualité de l'air ● page 36

Neige ● page 40

Océanographie ● page 44

Techniques d'observation ● page 48

La recherche au service de l'aéronautique ● page 54

Annexes ● page 57

Météo-France a pour mission de surveiller l'atmosphère, l'océan superficiel et le manteau neigeux, d'en prévoir les évolutions et de diffuser les informations correspondantes. Il exerce les attributions de l'Etat en matière de sécurité météorologique des personnes et des biens. Son activité de recherche a pour finalité première l'amélioration continue des services météorologiques et climatiques demandés par la société et les pouvoirs publics. Cette activité a permis à l'établissement d'acquérir une forte visibilité internationale grâce à la qualité de ses prévisions opérationnelles du temps et de ses analyses du changement climatique. Pour autant, elle n'est pas limitée à un ensemble de développements finalisés. Bien au contraire, la démarche cognitive « amont » y occupe une large place, ce qui a permis à l'établissement d'acquérir également une reconnaissance académique de premier plan.

Sur le plan des structures, l'activité est essentiellement développée au sein d'unités mixtes de recherche ou de service, en partenariat avec le CNRS et les universités. Ces unités participent avec un succès notable aux appels à propositions de recherche de l'ANR et de la Commission Européenne. Elles contribuent largement à la formation dans les Ecoles d'ingénieurs et les masters de leur spécialité. Elles sont évaluées au meilleur niveau par l'AERES. Cette politique sera encore accentuée dans les prochaines années, en poursuivant le rapprochement avec les universités dans le cadre des Observatoires des Sciences de l'Univers sur les sites de Toulouse, Grenoble, La Réunion, Lannion et Brest.

Sur le plan des thématiques, l'importance des interactions entre les différents compartiments de l'environnement que sont l'atmosphère, l'océan, la cryosphère, les sols et la biosphère conduit l'établissement à reconnaître de manière croissante la nécessité d'une recherche systémique englobant l'ensemble de ces compartiments, notamment pour aborder les défis du changement climatique. Météo-France développe donc des programmes de recherche sur les aspects physiques et chimiques de l'atmosphère et de l'océan, sur les échanges d'énergie et de matière entre l'atmosphère, l'océan et les sols, sur le bilan global du carbone, le manteau neigeux et la banquise. Pour autant, l'établissement ne cherche pas à développer en interne la totalité des outils (systèmes d'observation, modèles numériques) nécessaires pour ces études. Il recherche activement des collaborations avec les meilleurs acteurs de chaque domaine pour mutualiser les développements et élargir ses horizons scientifiques.

© Camille Luxen

Météo-France occupe une place privilégiée à l'intersection entre la recherche finalisée et la recherche amont, avec des missions allant de l'observation à la prévision opérationnelle du temps, de la conservation de la mémoire du climat à la prévision des climats futurs. L'établissement bénéficie donc d'opportunités uniques pour transférer rapidement ses résultats de recherche originaux vers ses outils opérationnels, valoriser les résultats de ses partenaires académiques, et diffuser à l'international les innovations les plus marquantes.

Météo-France se fixe ainsi pour objectif d'inscrire pleinement son activité de recherche dans le cadre de la Stratégie Nationale de Recherche en cours d'élaboration et dans celui de la prospective « Horizon 2020 » de la Commission Européenne.

Philippe Bougeault
Directeur du Centre National de Recherches Météorologiques (CNRM)
et du Groupe d'Etude de l'Atmosphère Météorologique (GAME)

Prévision numérique du temps

Les équipes de recherches et de développements des chaînes de prévisions numériques du temps ont mis en place avec succès deux chaînes expérimentales destinées à alimenter deux campagnes de terrain.
L'une d'elles se rapporte à la première période d'observations spéciales du projet HyMeX et a été réalisée autour d'un modèle non-hydrostatique AROME à résolution de 2,5km et 60 niveaux, accompagné d'un cycle d'assimilation de 3h. Le groupe de prévision numérique a assuré de plus une aide importante aux opérations de lâcher et de suivi de ballons plafonnants dans la couche limite ; nombre de ses membres ont aussi participé aux opérations au Centre de Montpellier ou sur la base des ballons.
Une autre chaîne a fonctionné au service d'un projet de SESAR (recherches en gestion du trafic aérien découlant de la mise en place du ciel unique européen). Cette chaîne comprend, du côté de Météo-France, des analyses horaires suivies de prévisions à quelques heures à résolution de 2,5km, développées en étroite association avec l'équipe de Prévision Immédiate ainsi qu'une adaptation de ces prévisions à une résolution de 500m sur la région parisienne. Des articles décrivent et illustrent plus loin ces chaînes qui ont souvent, en plus de leur utilité immédiate, des éléments de préfiguration de l'évolution de la prévision numérique du temps.
Autres moments forts de l'année 2012 : deux grandes conférences scientifiques internationales ont été organisées là aussi avec beaucoup de succès par des membres du groupe, ainsi qu'une réunion du groupe de travail de l'OMM sur l'expérimentation numérique. La première conférence a rassemblé fin mars les chercheurs en télédétection satellitaire, en particulier en vue de son utilisation en assimilation de données. La deuxième s'est tenue en novembre et a permis de faire le tour des différentes utilisations d'ensembles en assimilation de données au service de la modélisation géophysique, depuis les filtres à particules jusqu'aux ensembles de minimisations variationnelles 4D. Le succès de ces conférences marque le bon niveau de reconnaissance internationale des travaux menés au CNRM-GAME sur ces axes de recherche, télédétection et assimilation de données, ainsi qu'il a été noté par l'AERES en début d'année.
Une mise à jour complète de la chaîne opérationnelle de prévision du temps a abouti en septembre. On ne peut détailler ici tous les changements apportés. Un quasi doublement du nombre de canaux de IASI assimilés, la prise en compte d'une forme simple d'effet des erreurs de modélisation dans l'ensemble d'assimilation ou l'utilisation de données d'orographie et de propriétés de surface dans AROME constituent quelques exemples. Plusieurs nouveaux satellites ont été lancés depuis la fin de 2011 et vont jouer un rôle important dans les prochaines chaînes d'assimilation. Les figures illustrent ainsi la mise en place d'importants flux de données attachés à deux des nouveaux instruments, ceux du satellite américain Suomi-NPP. Les intégrations de multiples modifications du code source commun ont été menées à bien, d'une part avec les pays des consortiums ALADIN et HIRLAM, d'autre part avec le CEPMMT. Ces modifications comprennent des effets de la réorganisation du code menée dans le cadre du projet OOPS (Object Oriented Prediction System). Des chercheurs du groupe ont aussi participé à la revue scientifique du projet, c'est à dire à l'adéquation du nouveau code orienté objet, écrit en C++, aux objectifs du projet qui tournent autour de l'idée d'un code d'assimilation plus générique.
D'autres membres du groupe ont pris une part active au choix du prochain calculateur de pointe de Météo-France, alors que la préparation détaillée des futures versions des chaînes de prévision pour ce calculateur commençait, avec par exemple, le choix d'un découpage vertical pour le futur AROME. Le projet Vortex de partage d'un environnement de gestion de chaînes partagé entre recherche et opérationnel a aussi connu ses premières réalisations et ses premiers essais. Les articles qui suivent illustrent pour leur part, quelques uns des résultats des recherches dans les domaines de la modélisation, de l'assimilation de données et de la prévision d'ensemble, recherches destinées à trouver des applications là aussi dans les versions des chaînes opérationnelles sur le prochain calculateur.

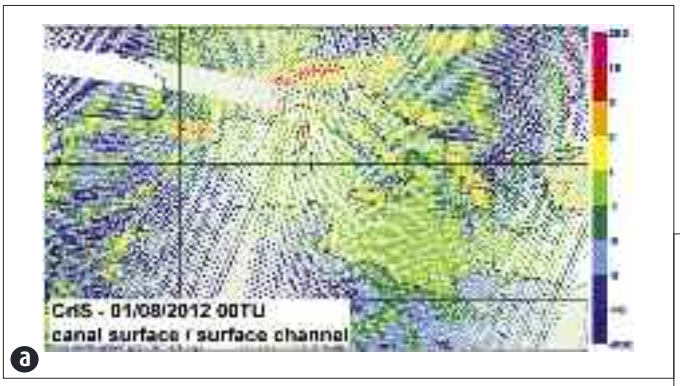
1

Modélisation

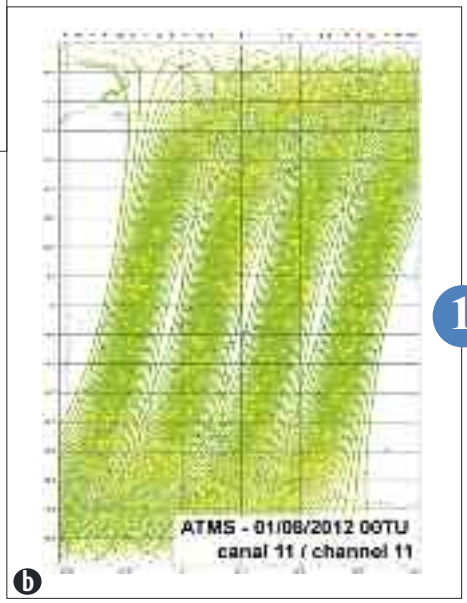
AROME : détermination de la future résolution verticale

La détermination de la résolution verticale est une étape importante dans la préparation de la future version du modèle AROME sur le prochain calculateur. Il s'agit d'optimiser le nombre et l'épaisseur des niveaux verticaux sur toute l'épaisseur de l'atmosphère pour la simulation des phénomènes météorologiques de méso-échelle en restant compatible avec l'augmentation des ressources de calcul.
Plusieurs répartitions de 90 niveaux verticaux ont été comparées, ainsi qu'un découpage de référence de 120 niveaux, à résolution horizontale de 1.3km sur un domaine couvrant presque toute la métropole. Le toit du modèle est abaissé vers 30km d'altitude pour renforcer la résolution verticale dans la troposphère. La résolution verticale près de la surface a été étudiée avec attention, compte tenu de son importance pour la modélisation des nuages bas et la stabilité numérique. Le meilleur compromis permet de situer le futur plus bas niveau à 5m, au lieu de 10m dans la version opérationnelle. La partie gauche de la figure montre la progression remarquable de la résolution dans les très basses couches visée avec un passage de 60 à 90 niveaux. La partie droite de la figure illustre un cas de brouillard, sous la forme du contenu en eau nuageuse en fonction de l'heure et de la hauteur au-dessus d'un point situé sur l'aéroport Charles De Gaulle. On observe que le brouillard se lève une heure plus tôt dans la version à 90 niveaux. C'est un pas dans la bonne direction comme l'indiquent des observations, mais un pas modeste.
La préparation de la future version du modèle AROME va se poursuivre avec l'adaptation de certains éléments (couplage, diffusion numérique, paramétrisations physiques) aux nouvelles résolutions.

2



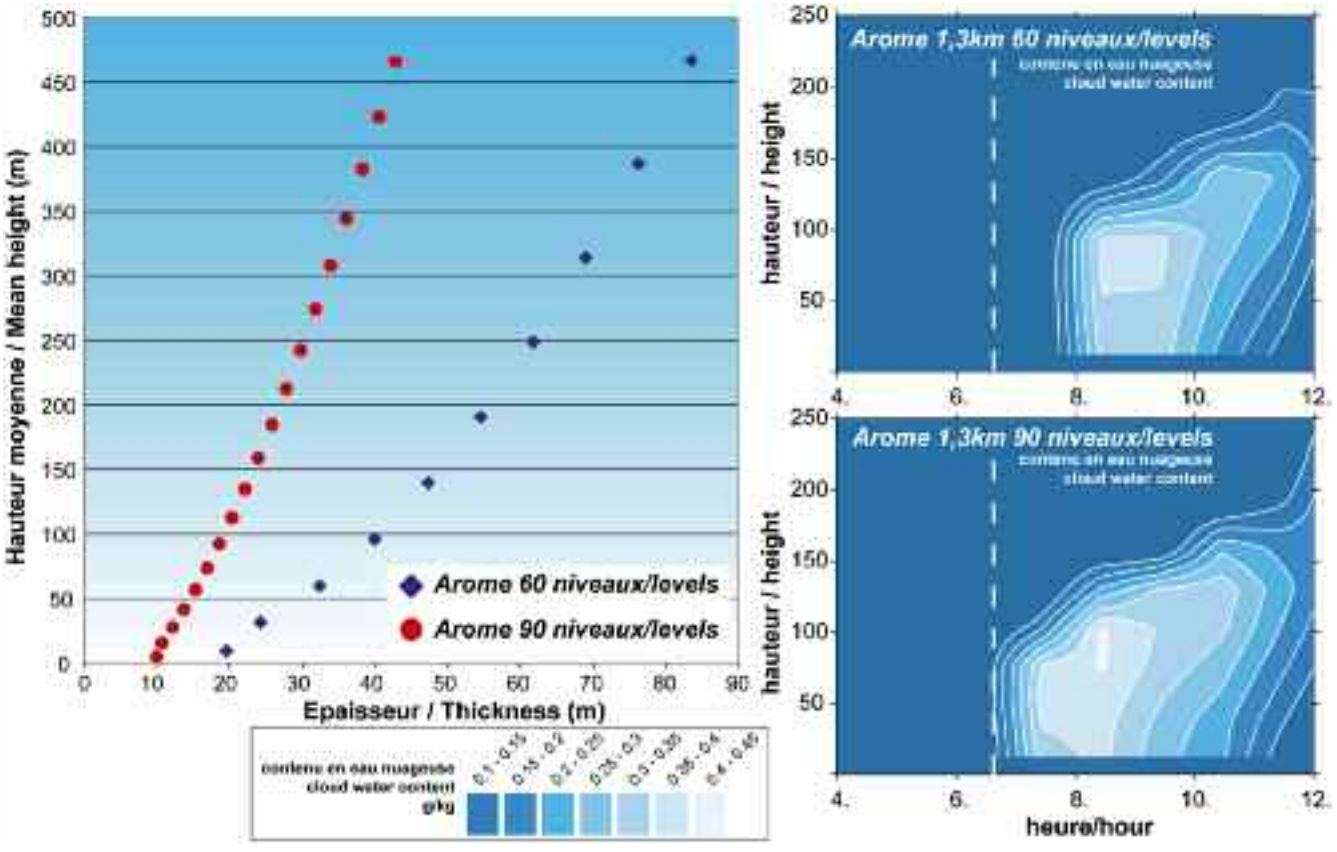
Cartes des premières comparaisons entre observations par deux nouveaux instruments de la plate-forme américaine Suomi-NPP et simulation du signal de ces mêmes instruments à partir d'un état ébauche du modèle global ARPEGE.
(a) : différence observation – ébauche brute sur un canal de l'instrument CrIS, interféromètre dans l'infra-rouge mesurant 1305 canaux.



(b) : même champ pour un canal de l'instrument ATMS, sondeur de 22 canaux dans les micro-ondes.
Aucune correction de biais n'est encore en place dans ces figures, avec en vert, des différences malgré tout déjà acceptables pour une assimilation.
Il s'agit d'une étape dans un processus de longue haleine. Cette étape matérialise toutefois l'arrivée des données depuis le satellite jusqu'au cœur du modèle de Météo-France d'une part, et d'autre part, le bon fonctionnement des modifications du code permettant de calculer le signal dans ces canaux depuis un état du modèle.

1

A gauche, caractéristiques des niveaux verticaux dans les 500 premiers mètres pour AROME opérationnel depuis 2010 (carrés bleus) et un exemple de découpage en 90 niveaux avec plus bas niveau à 5m (points rouges). A droite, deux coupes verticales en fonction du temps du contenu nuageux sur un cas de brouillard observé près de Roissy-en-France simulé par AROME avec 60 et 90 niveaux.



2

Un nouvel algorithme de bi-périodisation pour les modèles AROME et ALADIN

Un des points forts des modèles régionaux AROME et ALADIN, réside dans leur représentation spectrale en séries de Fourier des variables d'état de l'atmosphère, laquelle permet une évaluation quasi-exacte des leurs gradients horizontaux. Cependant, pour ce faire, les champs doivent être rendus périodiques au préalable sur l'ensemble du domaine d'intégration du modèle. Bien qu'ayant fait ses preuves, la procédure actuelle, par extension périodique à l'aide de splines cubiques, souffre de problèmes de discontinuités pouvant nuire à la précision effective de la représentation spectrale. Un nouvel algorithme de périodisation, plus efficace, s'appuyant sur la théorie des ondelettes et l'utilisation d'un jeu de fonctions fenêtres adéquat, a été récemment mis en place. Il permet une meilleure convergence de la série de Fourier, en garantissant non seulement la périodicité, mais également l'infinie dérivabilité des champs. Des tests académiques, ainsi que des expériences dans un contexte opérationnel avec les modèles AROME et ALADIN, ont mis en évidence les avantages de ce nouvel algorithme.

3

Analyse spectrale de deux modèles non hydrostatiques

Des spectres d'énergie cinétique (EC) sont utilisés pour évaluer deux modèles non hydrostatiques (AROME et Méso-NH) pour un cas de convection isolée dans le sud-ouest de la France.
Ces deux modèles partagent les mêmes paramétrisations physiques mais ont des cœurs dynamiques différents : AROME a un schéma temporel semi-implicite (SI) et un schéma d'advection semi-lagrangien (SL), tandis que Méso-NH a des schémas eulériens centrés. Les spectres représentent la distribution d'EC selon les différentes échelles spatiales et illustrent les différents mécanismes de dissipation :

- diffusion explicite ajoutée aux modèles pour empêcher l'accumulation d'énergie aux échelles les plus fines,
- diffusion implicite due aux schémas numériques,
- mélange sous-maille dû aux paramétrisations.

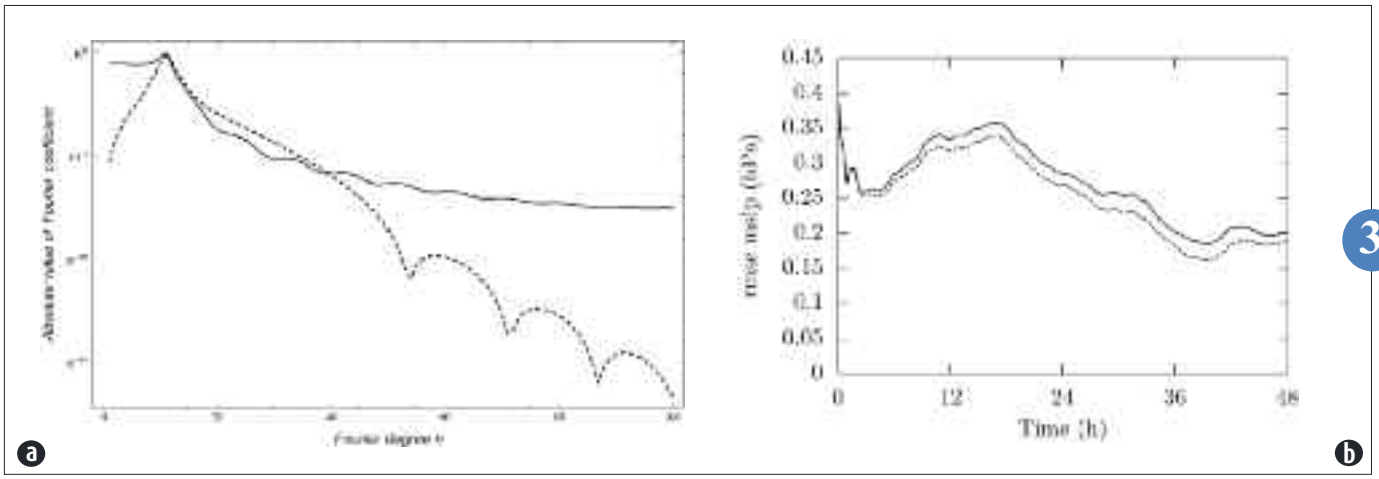
Les deux modèles reproduisent la dépendance observée en $k^{-5/3}$ (avec k le nombre d'onde) caractéristique de la méso-échelle et la transition plus raide en k^{-3} dans les grandes échelles (Fig. a). La résolution effective, définie comme l'échelle à partir de laquelle le modèle commence à sous-estimer la variance, est d'environ 4-6 Dx pour Méso-NH et 9 Dx pour AROME (avec Dx la taille de la maille horizontale). La pente de la queue du spectre est plus raide pour AROME suggérant une plus forte dissipation et se traduisant par des champs plus lisses. Cet effet est accentué avec une diffusion plus forte. Quand on supprime la diffusion explicite, un amortissement demeure dû à la diffusion implicite du schéma SISL.
Plusieurs simulations ont été réalisées avec Méso-NH pour des résolutions variant de 2.5 km à 250 m (Fig. b). Avec des mouvements verticaux mieux résolus quand la résolution augmente, le pic de variance se décale vers les petites échelles. Il converge vers 5.5 km, suggérant que la représentation explicite complète de la convection nécessite une résolution proche de 250 m.

4

Quelles turbulences à échelle sub-kilométrique ? Avancées théoriques et numériques

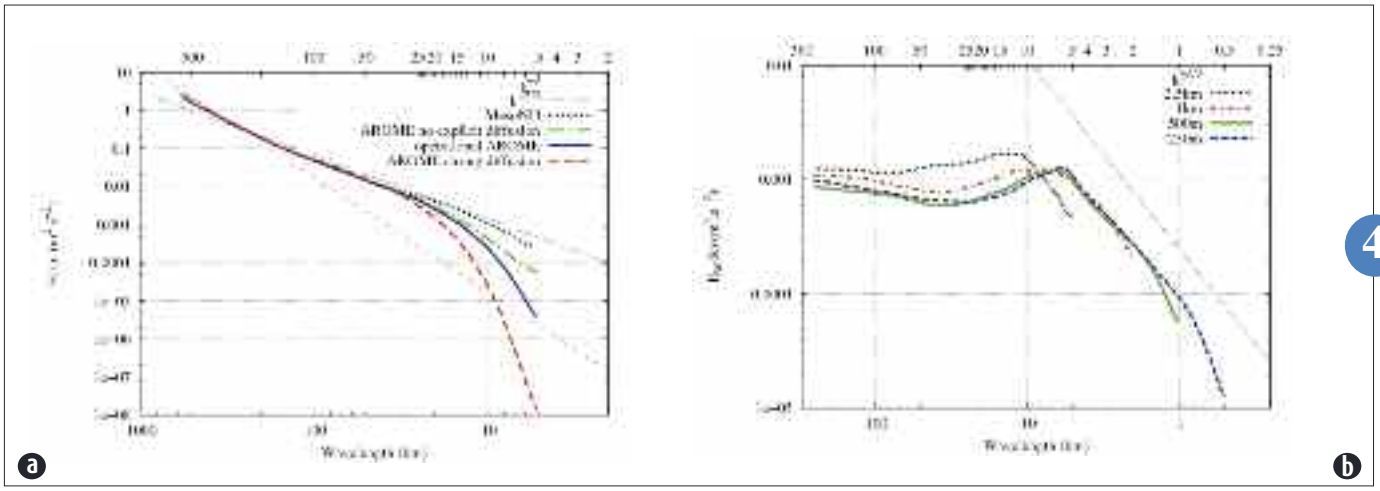
Dans les modèles actuels de prévision du temps, la résolution (supérieure ou égale à 2,5 km à Météo France) ne permet pas de résoudre explicitement la turbulence atmosphérique de couche limite, de taille caractéristique de l'ordre du kilomètre. Ce phénomène, jusqu'alors sous-maille, est donc représenté par des paramétrisations. Or, Météo France prévoit de faire tourner opérationnellement des modèles à 1 km ou même 500 m de résolution. Les plus grandes structures turbulentes, les thermiques, ne seront alors plus entièrement sous-maille, mais non plus entièrement résolues. La question qui demeure est : comment paramétrer la turbulence à ces échelles sub-kilométriques ?
Des simulations à haute résolution (décamétriques) ont été réalisées à l'aide du modèle de recherche Méso-NH. En moyennant horizontalement les champs calculés, on obtient une référence à des échelles hectométriques et kilométriques, mais aussi les lois que la partition sous-maille/résolue des flux turbulents doit suivre.
Pour quantifier les limites des paramétrisations actuelles, des simulations ont tourné à des résolutions entre 8 km et 125 m avec différentes options de la paramétrisation de la turbulence. Une comparaison à la référence permet d'affirmer que la paramétrisation des thermiques a le plus d'impact. Sans cette paramétrisation, la part résolue est trop importante. Avec cette paramétrisation, la part résolue est trop faible. En effet, certaines hypothèses des paramétrisations des thermiques ne sont plus valables à l'échelle hectométrique. Une paramétrisation des thermiques a été écrite et prend en compte les termes jusqu'alors négligés. L'étude se poursuivra par des tests et la mise en œuvre du schéma dans AROME.

5



3

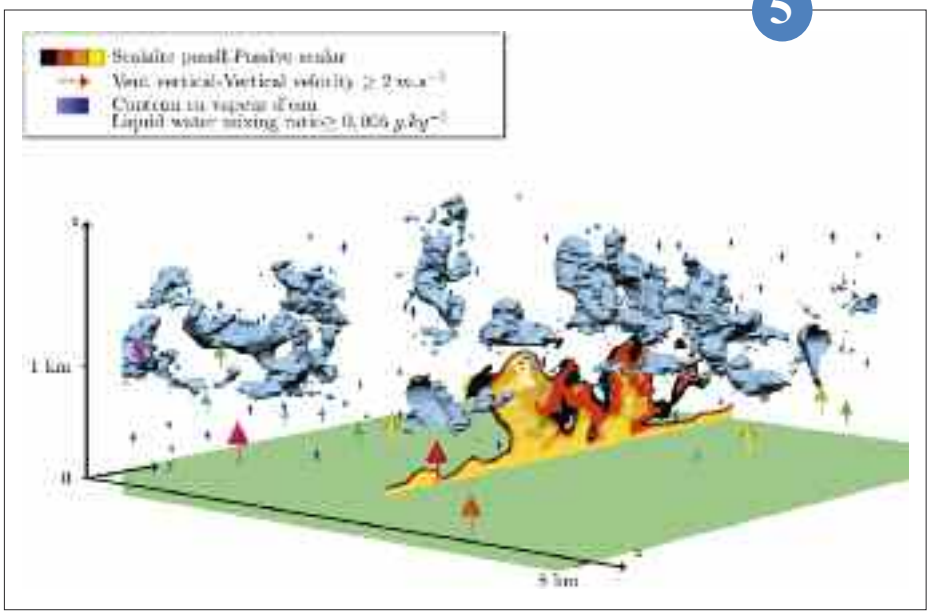
(a) : spectre de l'amplitude (en ordonnée) des coefficients du développement en série de Fourier (en abscisse) d'une fonction f de x étendue à tout l'intervalle [0,1]. La fonction f(x) est étendue et périodisée au moyen de splines cubiques (trait continu) et au moyen d'un nouvel algorithme (ligne avec des tirets), appelé méthode de Boyd par la suite. La convergence de la série, liée à la décroissance des amplitudes avec le nombre d'onde, apparaît plus rapide avec la méthode de Boyd.
(b) : influence de la méthode de bi-périodisation sur l'erreur de prévision de la pression réduite au niveau de la mer : méthode de prolongation par splines cubiques (trait continu) et méthode de Boyd (trait discontinu). Les expériences ont porté sur le cas fameux et bien documenté de la tempête Lothar du 26 décembre 1999.



4

(a) : spectres d'EC pour le vent horizontal moyennés entre 13 et 17 UTC le 11 avril 2007 et dans la troposphère libre pour Méso-NH et pour AROME avec différentes diffusions (domaine de simulation couvrant le sud-ouest de la France).
(b) : spectres d'EC pour les vitesses verticales moyennés entre 13 et 17 UTC le 11 avril 2007 et dans la troposphère libre pour Méso-NH avec différentes résolutions horizontales (domaine de simulation couvrant l'estuaire de la Gironde).

5



Visualisation 3D d'une partie du domaine de la simulation ARM à 12h à 62,5 m de résolution. En bleu, l'eau condensée (>5.10^{-6}kg.kg^{-1}) délimite des nuages. Les flèches sont le vent vertical (>2m.s^{-1}). La coupe verticale 2D de couleurs chaudes est la concentration d'un traceur passif émis en surface (seuils 0,5.10^{-3}, 0,75.10^{-3}, 0,875.10^{-3} et 10^{-3}kg.kg^{-1}) qui permet de visualiser des thermiques de couche limite.

Une paramétrisation commune des thermiques dans AROME et ARPEGE

Dans les modèles opérationnels de Météo-France (AROME-ALADIN-ARPEGE), la turbulence locale est paramétrée par une équation en diffusion alors que la turbulence non locale ou convection peu profonde est représentée par un schéma en flux de masse. La partie en diffusion turbulente est basée sur une formulation en énergie cinétique turbulente pronostique, aussi bien dans ARPEGE que dans AROME. Par contre les schémas de convection peu profonde sont, à ce jour, distincts.
Afin d'assurer un maximum de cohérence scientifique entre ses différents modèles, Météo-France essaye d'avoir les mêmes paramétrisations physique à toutes les résolutions. Dans ce cadre, un travail de test dans le modèle global ARPEGE du schéma de convection peu profonde d'AROME a été entrepris.
Pour résoudre les problèmes de stabilité numérique jusqu'à des pas de temps de 1800s, un solveur implicite conjoint aux schémas en diffusion et en flux de masse a été construit. Après cette première étape algorithmique, une validation scientifique dans le modèle global a pu commencer. Des faiblesses du schéma ont été identifiées, en particulier une trop forte activité dans la zone tropicale ; elles n'avaient pas été vues dans la configuration à domaine limité sur la France. De nouvelles formulations de l'entraînement et du « détraînement » ont été mises en œuvre et testées dans des simulations 1D de cas académiques.
L'impact de ces modifications dans le modèle global ARPEGE est positif en particulier pour le vent, mais il reste encore une légère dégradation du biais de température au sommet de la couche limite tropicale.

6

Les progrès d'ALADIN-Réunion pour la prévision d'intensité des cyclones tropicaux

La prévision des cyclones tropicaux est un enjeu opérationnel majeur puisque Météo-France a la mission de CMRS dans le Sud-Ouest de l'Océan Indien. Alors que les prévisions de trajectoire ont atteint des performances remarquables, les prévisions de la force des vents les plus forts (l'intensité du cyclone) restent très difficiles. Or, l'intensité conditionne toutes les conséquences d'un cyclone (vents, précipitations, houle et surcote).
Le modèle opérationnel ALADIN-Réunion couvre la quasi-totalité du bassin cyclonique à la résolution horizontale de 8 km depuis 2010. Des travaux récents ont permis d'améliorer sensiblement les prévisions d'intensité des cyclones avec ce modèle. La révision du schéma de convection profonde en 2011 dans les modèles ARPEGE et ALADIN a limité considérablement certains défauts d'ALADIN-Réunion. Les fausses alertes de cyclogenèse ont quasiment disparu, et les intensifications de cyclones ont maintenant des valeurs plus réalistes. Des développements ont aussi été faits pour améliorer l'analyse des cyclones à l'instant initial de la prévision. Les équations de l'assimilation ont été corrigées pour que le « bogus » de vent (pseudo-observations de vent déduites de l'analyse satellitaire) contraigne mieux l'intensité du cyclone. L'amélioration conjointe de l'état initial et du modèle devrait conduire à des prévisions d'intensité plus utiles.
Des progrès sont encore attendus en affinant la résolution horizontale des modèles. Les travaux de recherche exploitant le modèle AROME à des résolutions plus fines qu'ALADIN-Réunion sont en cours.

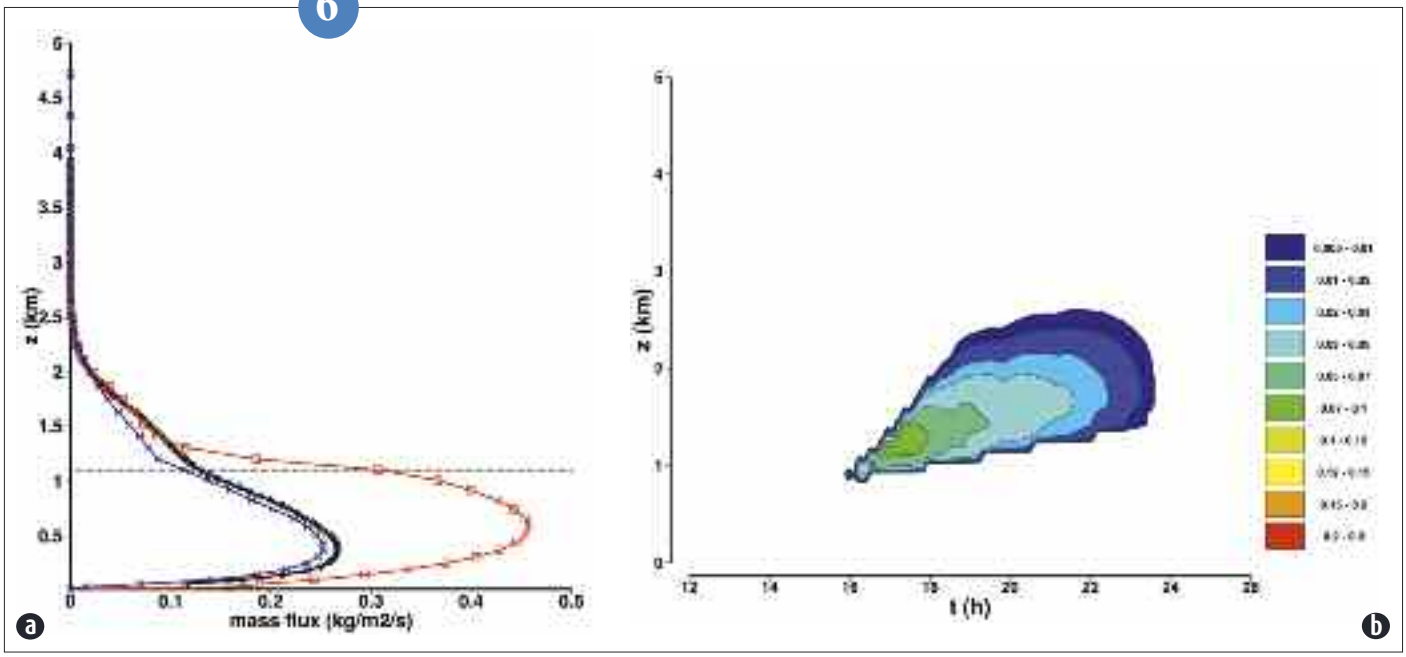
7

Préparer les codes de prévision numérique au futur calculateur : intérêt d'un serveur d'entrées/sorties

Ces dernières années, les moyens de calcul intensif ont évolué vers des architectures dites « massivement parallèles », ce qui pose de nouveaux problèmes à certaines parties de nos codes. On dit alors de ces parties de code qu'elles ne sont pas « scalables »; la « scalabilité » d'un code mesure son aptitude à accélérer lorsqu'il est distribué sur un plus grand nombre de processeurs.
Le nouveau système de calcul intensif utilisé par Météo-France en 2013 sera une machine dotée de plusieurs milliers de processeurs scalaires. Dans ces conditions, des tests ont été menés et le schéma traditionnel utilisé pour produire les fichiers historiques des modèles (AROME, ARPEGE et ALADIN) s'est montré non « scalable ».
Ce schéma comprend les étapes suivantes :
reconstitution des champs sur un certain nombre de processeurs.
compactage de ces champs par les processeurs mentionnés dans la première étape
regroupement et écriture des champs compactés sur le processeur numéro 1.
Les deux dernières étapes mentionnées précédemment, ne pouvant utiliser toute la puissance de calcul allouée, ne sont pas « scalables », et ce schéma traditionnel ne peut être accéléré ; il constitue donc un « frein » à l'accélération du modèle dans son ensemble.
Les considérations précédentes nous ont menés à extraire le code responsable des sorties des fichiers historiques et à le distribuer sur un nombre de processeurs plus réduit qui forment un « serveur d'IO » : comme montré sur la figure, le compactage et l'écriture des champs sont déportés sur le serveur d'IO.
Ce serveur d'IO a été intégré dans le benchmark soumis aux constructeurs pour le renouvellement du système de calcul intensif de Météo-France, et a été utilisé par la plupart des constructeurs pour exécuter les benchmarks de prévision.

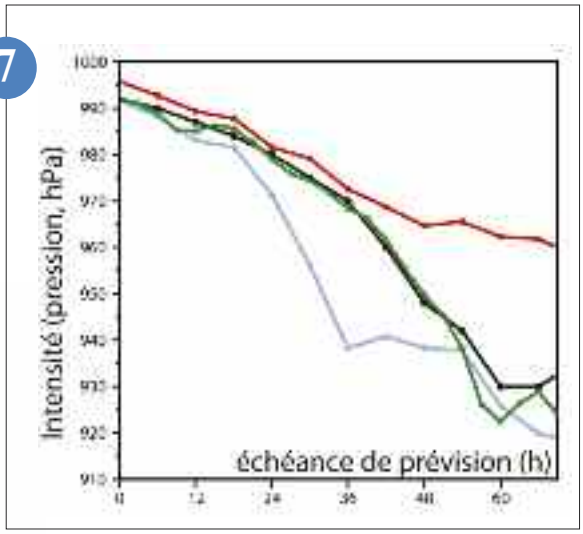
8

6



(a) : flux de masse après 8 heures de simulation du cas académique de cumulus continental. La courbe rouge représente la solution du schéma opérationnel. La courbe en noir est le flux de masse déduit de simulations à très haute résolution réalisées avec Méso-Nh et représente ce qui est le plus proche de la solution exacte. La courbe bleue est la solution du schéma après modification de la formulation de l'entraînement et du « détraînement ». La ligne pointillée visualise la base du nuage.
(b) : évolution temporelle de l'eau liquide nuageuse du cas académique de cumulus continental en g/kg.

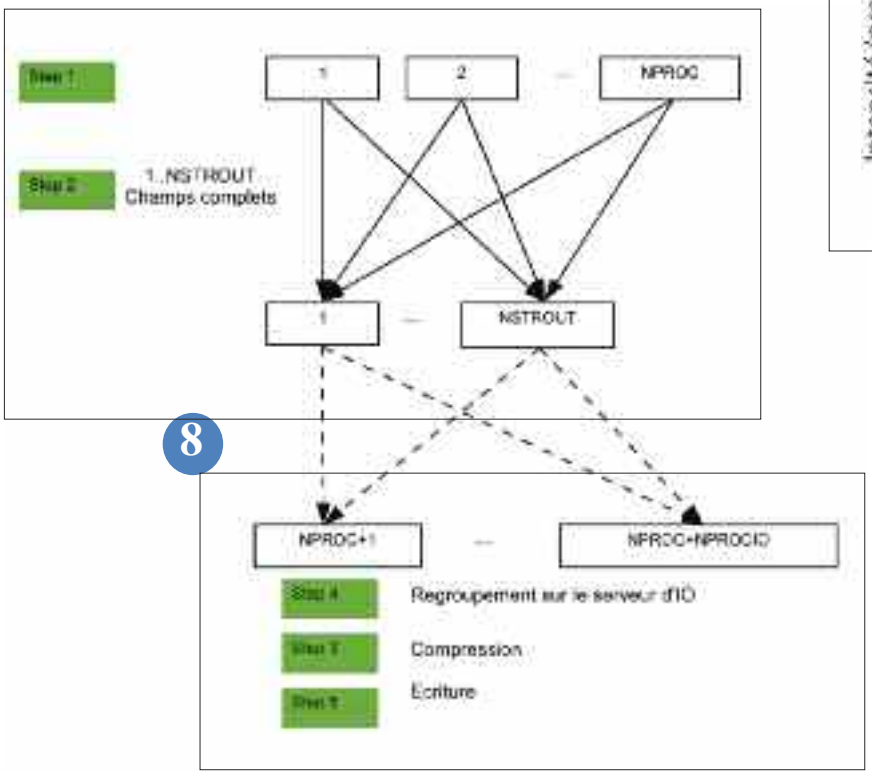
7



Evolution de l'intensité (pression au centre du cyclone) de Gaël (2009) prévue par ALADIN-Réunion pour différentes configurations du modèle : la configuration opérationnelle en 2009 (courbe bleue, qui intensifie trop le cyclone), et deux configurations expérimentales où les réglages de la convection profondes sont modifiés (courbes rouge et verte). La référence (intensité estimée par satellite) est en noir. La configuration finalement choisie en opérationnel depuis 2011 correspond à la courbe verte.

Schéma des communications utilisées dans le serveur d'IO.

8



Assimilation

Impact des observations sur la prévision d'ARPEGE calculé par la méthode de l'adjoint

Le système d'assimilation 4DVAR du modèle global ARPEGE traite un grand nombre d'observations satellites et in situ. Afin d'étudier et d'améliorer l'impact de ces observations sur la prévision, le calcul de la sensibilité de la prévision aux observations, ou FSO, a été implémenté.
Cette technique est employée dans de nombreux centres de prévision en complément des expériences de sensibilité aux observations plus classiques. Elle utilise l'adjoint du modèle et du système d'assimilation, et donne une estimation linéaire de la contribution de chaque observation à la réduction d'une mesure de l'erreur de prévision à court terme.
Une expérience a été réalisée sur la période de décembre 2010 à janvier 2011. La figure a ci-après montre les résultats d'impact par groupe d'observations. Les sondeurs micro-ondes AMSU-A et infra-rouge IASI apportent la plus grande contribution à la réduction de l'erreur de prévision en partie car ils fournissent le plus grand nombre d'observations. La figure b montre l'impact relatif de chaque observation. Les mesures in situ des bouées et des radiosondages apportent la plus grande contribution. Pour les observations satellites, les vents SATOB et les observations de GPS radio-occultation ont le plus fort impact individuel.
L'évolution continuelle des observations disponibles pour l'assimilation impose une adaptation des modèles. Ce diagnostic est un outil supplémentaire pour évaluer l'impact de telles modifications sur la qualité du système de prévision.

9

Impact des observations dans les analyses d'AROME

Les conditions initiales du modèle de prévision opérationnel de méso-échelle AROME sont fournies par un système d'assimilation de données 3D-Var qui, en plus des observations conventionnelles et satellitaires utilisées dans les systèmes d'assimilation de plus grande échelle, assimile des observations dédiées à la méso-échelle, comme par exemple les observations radar (vitesses radiales et réflectivités).
L'impact des observations sur les analyses AROME a été évalué par un diagnostic a posteriori du système d'assimilation : la réduction de variance de l'erreur d'estimation apportée par les différents types d'observations lors du processus d'assimilation, estimée par une méthode de Monte-Carlo. Cet impact peut être étudié selon le champ météorologique analysé, les niveaux verticaux du modèle, la date, l'heure d'analyse ou les échelles spatiales.
Ce diagnostic révèle l'apport majeur des observations de surface (température et humidité relative à 2 m, vent à 10 m) en basses couches, des observations avions pour l'analyse des champs de vent et de température, et radar pour celle de vent et d'humidité spécifique dans la moyenne et haute troposphère (voir figure). Ces observations sont aussi les seules à être informatives sur les échelles spatiales de longueur d'onde inférieure à 200 km, l'ensemble des observations l'étant principalement sur les échelles spatiales plus grandes. Ce diagnostic doit permettre d'améliorer les performances du système d'assimilation en aidant à la compréhension de l'utilisation des observations.

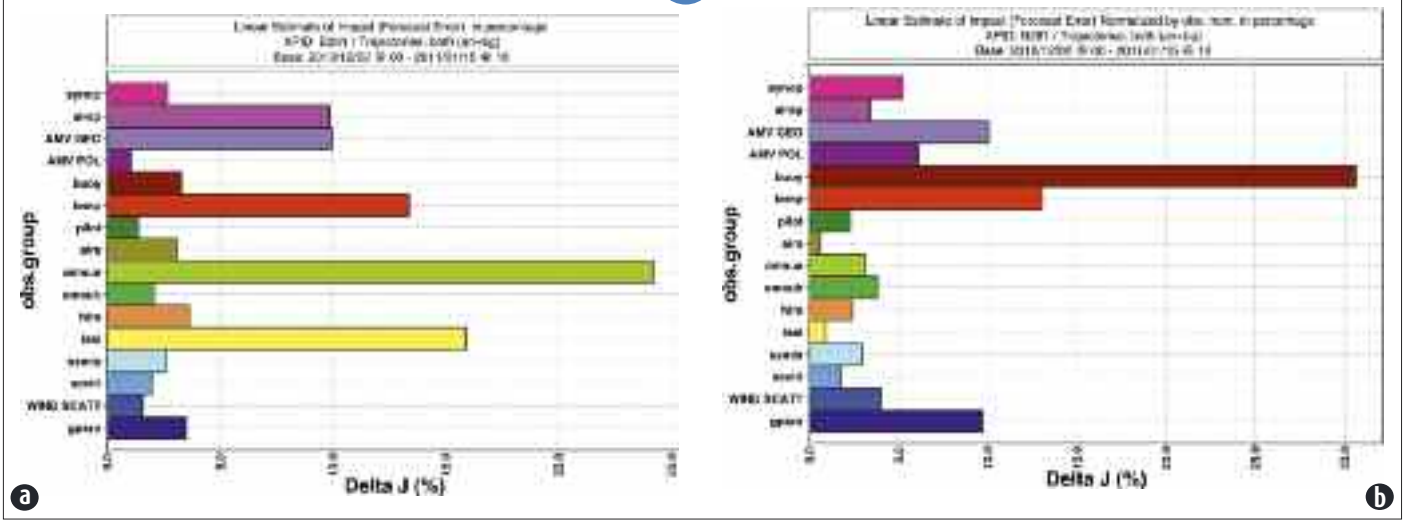
10

Comparaison des erreurs de prévision à grande échelle et à échelle convective

Dans les modèles numériques de prévision du temps, il est nécessaire d'estimer les statistiques de l'erreur de prévision pour pouvoir périodiquement ajuster l'état du modèle vers les observations. Cette incertitude, qui varie au jour le jour et selon la situation météorologique, peut être estimée en calculant la dispersion d'un ensemble de prévisions perturbées. Cette méthode est déjà opérationnelle à Météo-France dans l'ensemble AEARP, basé sur le modèle de grande échelle ARPEGE. En vue d'une prochaine implémentation d'un ensemble similaire à l'échelle convective, les structures de l'incertitude du modèle AROME ont été documentées et comparées à celles du modèle ARPEGE.
Une étude de la dispersion dans des ensembles de grande taille (pour plus de précision) permet de conclure à des différences significatives pour un cas de fortes précipitations cévenoles. Seules les plus grandes échelles de l'incertitude du modèle AROME sont présentes dans l'incertitude du modèle ARPEGE dont les prévisions donnent les conditions aux limites des prévisions AROME. Cela s'explique par des différences importantes dans la représentation et la taille caractéristique des phénomènes résolus par ces modèles, mais aussi par des différences dans le type et la couverture spatiale des observations permettant d'ajuster l'état les modèles. La dépendance au flux météorologique de l'incertitude à l'échelle convective doit donc être spécifiquement prise en compte.

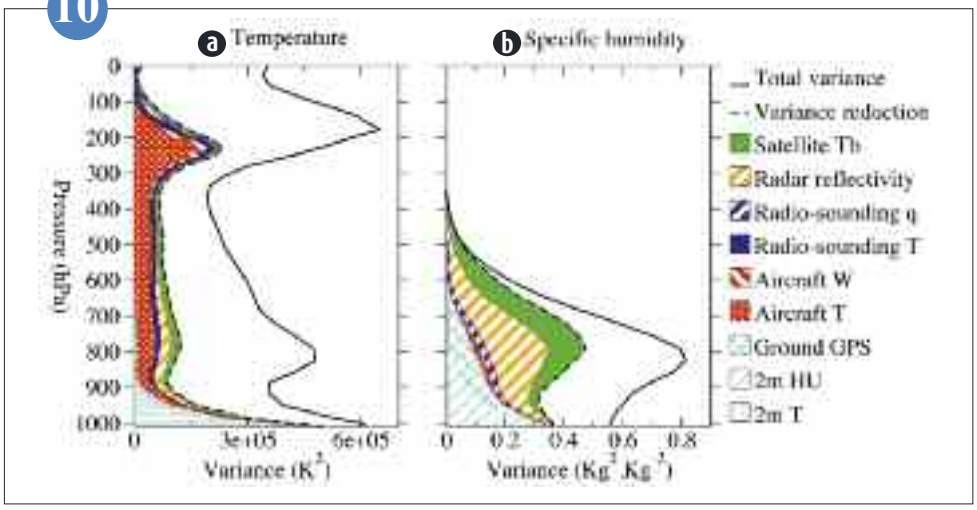
11

9



(a) : estimation linéaire de l'impact total d'une réduction d'erreur de prévision à 24 h par groupe observation (deltaJ) moyennée sur le globe sur la période décembre 2010-janvier 2011.
(b) : idem que la figure « a » mais rapporté au nombre d'observations de chaque groupe.

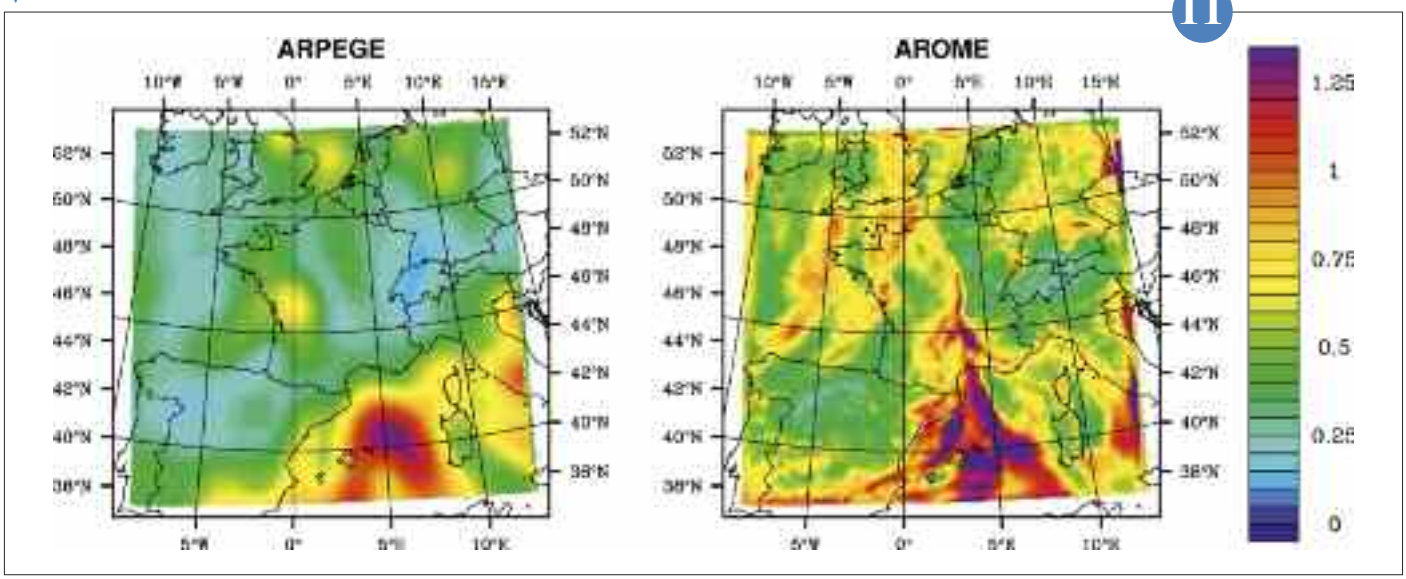
10



Profils verticaux de la variance totale d'erreur d'ébauche (trait plein noir) et de la réduction de variance apportée par l'ensemble des observations assimilées lors du processus d'assimilation (tiret noir), pour les champs de température et d'humidité spécifique.
Les différentes aires colorées représentent les contributions de chaque type d'observation à la réduction de variance totale : cyan pour les observations de surface (température et humidité relative à 2 m) et de GPS au sol, rouge pour les observations avion (température et vent), bleu pour les radio-sondages (température et humidité spécifique, orange pour les réflectivités radar et vert pour les températures de brillance par satellite.

Incertitude sur l'humidité spécifique (en g/kg) estimée le 03/11/2011 à 21h UTC avec le modèle ARPEGE (en haut) et avec le modèle AROME (en bas).

11



Vers une utilisation accrue des observations IASI

Avec le lancement en 2002 du sondeur infrarouge AIRS et en 2006 de celui de IASI, l'observation par satellite de la Terre et de l'atmosphère a connu des progrès considérables. En effet ces sondeurs hyper-spectraux fournissent de l'information sur l'atmosphère et la surface terrestre dans plusieurs milliers de canaux par point d'observation.

Les données de ces sondeurs sont utilisées dans les modèles de prévision numérique principalement au dessus des océans en conditions claires, même si certaines observations nuageuses sont également assimilées. En effet, on connaît relativement bien les propriétés de surface de la mer (émissivité et température de surface) alors que de plus grandes incertitudes existent au-dessus des continents.

Des études montrent que les incertitudes sont plus importantes sur la température de surface que sur l'émissivité de surface dans le domaine infra-rouge ; or, les sondeurs hyper-spectraux permettent de calculer cette température. Ainsi, la figure (a) montre un exemple des fortes différences existant entre la température de surface du modèle servant à simuler les observations et la température de surface déduite des observations IASI. Ces différences peuvent dépasser 10 K de jour et conduire à un rejet des observations lors de la sélection de données.

Si on restitue au préalable la température de surface à partir d'un canal IASI insensible à l'atmosphère et qu'on l'utilise ensuite pour simuler des canaux sensibles à la surface à partir du modèle (figure b), la simulation est plus proche de l'observation. L'impact de cette température de surface sur la détection nuageuse au-dessus des continents va être maintenant étudié avant d'aborder l'assimilation de canaux IASI sensibles à la surface au-dessus des terres émergées.

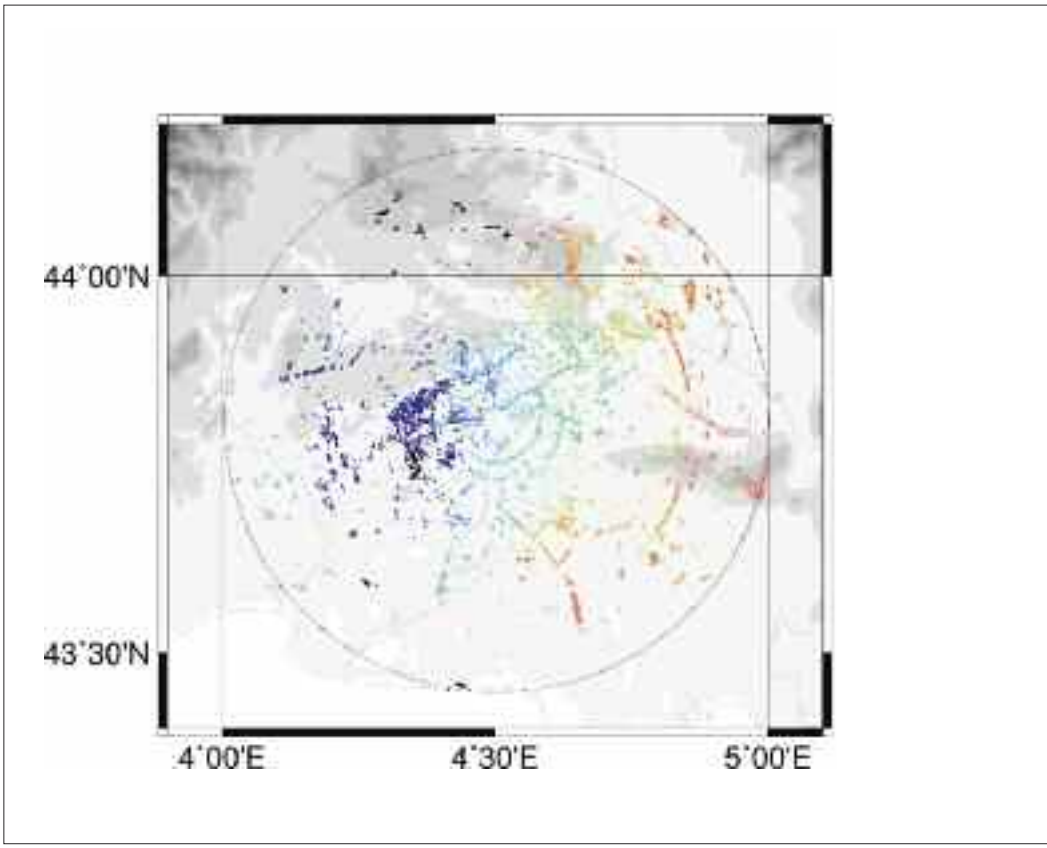
12

Mesure de réfractivité radar et modélisation à méso-échelle

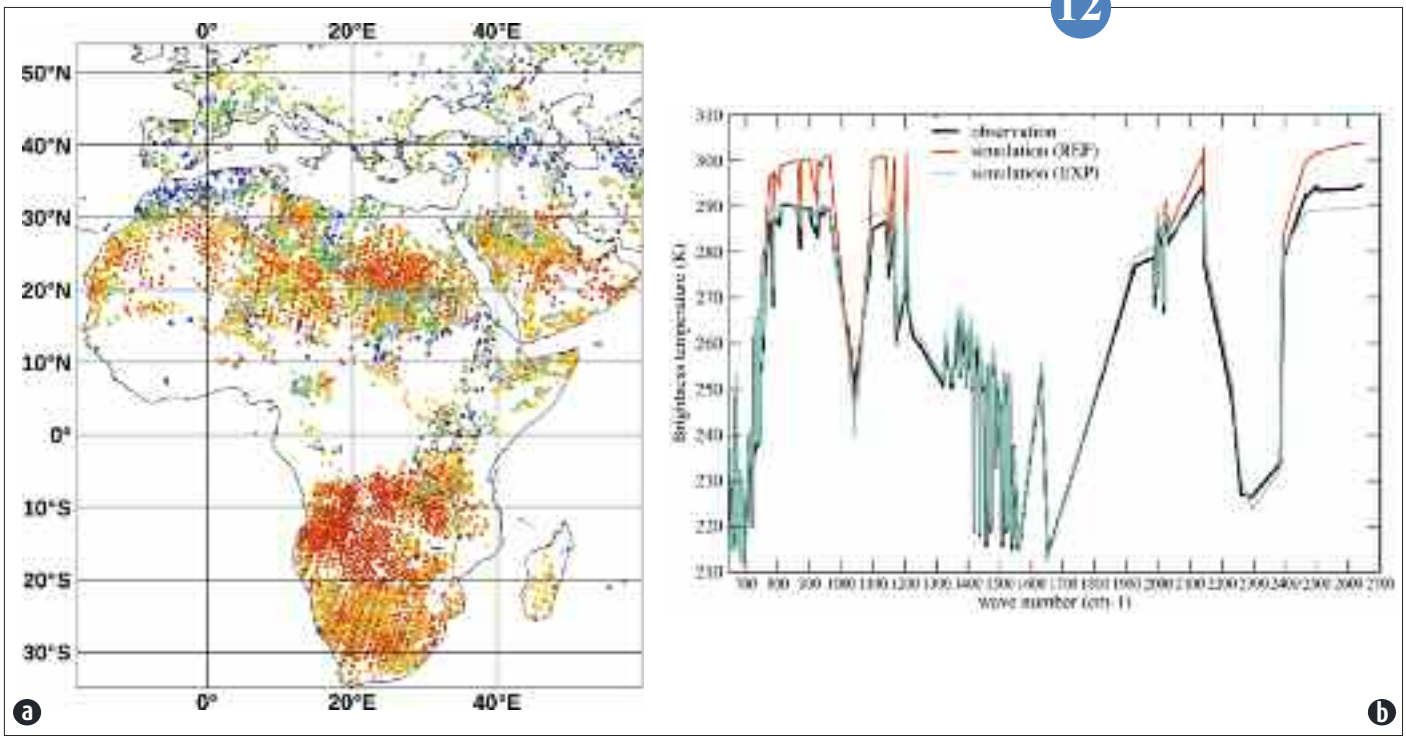
Afin d'estimer les précipitations près du sol, les radars météorologiques scannent l'atmosphère à des incidences rasantes. Les échos renvoyés par le sol gênent ces mesures de précipitations mais peuvent être utilisés pour mesurer la réfractivité de l'air traversé par les ondes radar – en présence ou non de précipitations. Cette technique, mise au point à la fin des années 1990 pour les radars nord-américains, consiste à déduire la réfractivité à partir des variations de vitesse de l'onde radar entre deux balayages. La réfractivité s'exprime à partir de la pression, de la température et de l'humidité qui sont toutes trois des variables pronostiques des modèles utilisés actuellement en PNT. La mesure de la réfractivité permet donc de fournir des informations thermodynamiques près du sol à une meilleure résolution spatiale que les réseaux de stations automatiques classiques dans un rayon d'environ 40 km autour du radar.

La technique a été récemment adaptée pour les radars européens et implantée sur des radars du réseau français. Ainsi des cartes de réfractivité ont été produites en temps réel pendant la campagne de mesures HyMeX. Un simulateur de réfractivité a été développé pour AROME et des comparaisons avec les observations (voir un exemple sur la figure) ont montré qu'AROME était capable de représenter les structures observées, que l'assimilation de ces données pouvait potentiellement améliorer l'état initial du modèle et qu'un travail spécifique sur la qualité des données devait être effectué avant d'envisager une utilisation opérationnelle. Des travaux concernant l'amélioration de la qualité des données sont en cours et se concentrent actuellement sur l'utilisation de la polarimétrie et de plusieurs élévations.

13



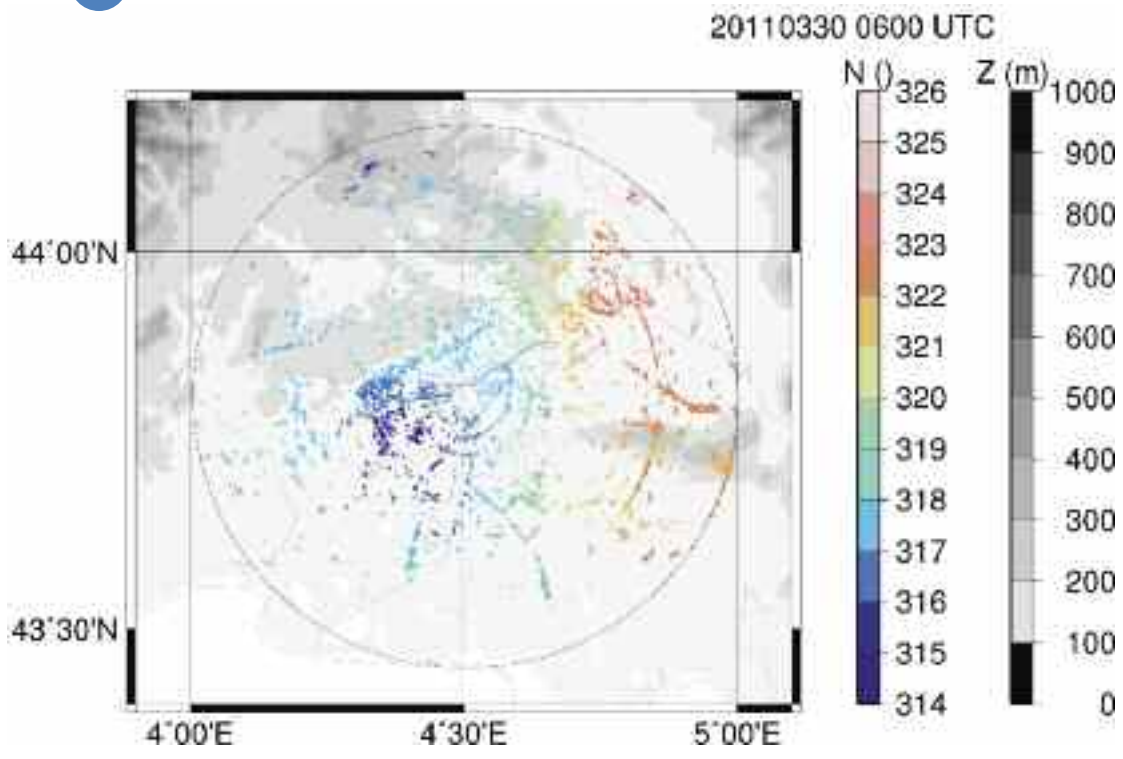
12



(a) : différence entre la température de surface de l'ébauche (K) et celle restituée à partir des observations IASI par EUMETSAT.
(b) : impact de la température de surface du modèle (en rouge) et de celle restituée à partir de IASI (en bleu) sur la simulation des températures de brillance d'une observation IASI (en noir) située sur le Sahara.

Réfractivité (N, en plages de couleurs) vue par le radar de Nîmes le 30 mars 2011 à 0600 UTC superposée sur l'altitude du relief au-dessus du niveau de la mer (Z, en plages de grisés) : observation (à gauche) et simulation AROME correspondante (à droite). Le cercle représente une portée radar de 40 km. Les valeurs plus faibles de réfractivité à l'ouest du radar sont principalement dues à une humidité plus faible à cet endroit.

13



Prévision d'ensemble

Le développement de la prévision d'ensemble AROME

Le futur système de prévision d'ensemble AROME vise à estimer les probabilités d'occurrence de phénomènes à échelle fine et à courte échéance sur la métropole. C'est un objectif de Météo-France qui exploitera les ressources calcul du futur supercalculateur, puisqu'il s'agira de produire en temps réel l'équivalent d'une dizaine de variantes du système AROME actuel. Ses applications seront multiples, l'apport de ce système est particulièrement attendu pour la prévision d'évènements dangereux tels que les précipitations intenses et les phénomènes convectifs. L'expérimentation actuelle de ce système s'est donc concentrée sur l'étude de périodes d'orages et de pluies méditerranéennes intenses, notamment en temps réel au cours de la campagne de mesures HyMeX : cela a permis de vérifier que l'ensemble AROME apportera effectivement une valeur ajoutée significative par rapport aux systèmes de prévision numérique existants, en améliorant à la fois les taux de détection et de fausses alarmes lors de la prévision de divers types d'évènements météorologiques. Les performances sont évaluées vis à vis d'évènements météorologiques courants, et sur des phénomènes à fort impact comme les précipitations intenses.

La recherche actuelle en prévision d'ensemble AROME permet d'améliorer les performances du futur système en y intégrant des représentations performantes des diverses sources d'incertitudes de prévision (sur l'initialisation des prévisions par les observations, sur les équations d'évolution du modèle, et sur le couplage entre AROME et le modèle global ARPEGE). Les travaux portent aussi sur les techniques d'élaboration de produits en aval de la prévision d'ensemble, par exemple le post-traitement des précipitations, la prévision de risques pour l'aviation liés à la convection, ou le couplage avec des modèles hydrologiques pour la prévision de risques de crues.

14

Pondération Bayésienne d'ensembles de prévisions AROME décalés

Les systèmes de prévision d'ensemble à l'échelle convective sont souvent sous-dispersifs, notamment en raison des petites tailles d'ensemble utilisées (de l'ordre de 10 membres). Pour réduire ce problème, il est possible de construire un « super-ensemble » à partir de plusieurs réseaux successifs de prévisions d'ensemble. Cette approche a été appliquée à la version pré-opérationnelle du système de prévision d'ensemble actuellement développé pour le modèle Arome France, en combinant les trois derniers réseaux (décalés de 6h). Une étude préliminaire a montré que cette combinaison d'ensembles a un impact positif sur les scores probabilistes.

Tandis qu'une combinaison appliquant un poids égal pour chaque membre fournit généralement des résultats compétitifs, le choix et l'impact d'une pondération objective restent des questions importantes. La méthode de pondération développée s'appuie sur le formalisme du filtrage particulaire, et propose de calculer les poids de chaque membre du super-ensemble en fonction de la vraisemblance des dernières observations disponibles. Les poids ainsi obtenus tendent à diminuer avec l'échéance des prévisions, tout en restant relativement proches du poids uniforme (voir Figure). L'impact de cette pondération Bayésienne sur les scores probabilistes est faible en moyenne, mais révèle quelques améliorations notables sur la vérification des épisodes sévères, notamment les fortes pluies.

15

Inter-comparaison de différents systèmes de prévision d'ensemble à l'aide de la base de données TIGGE

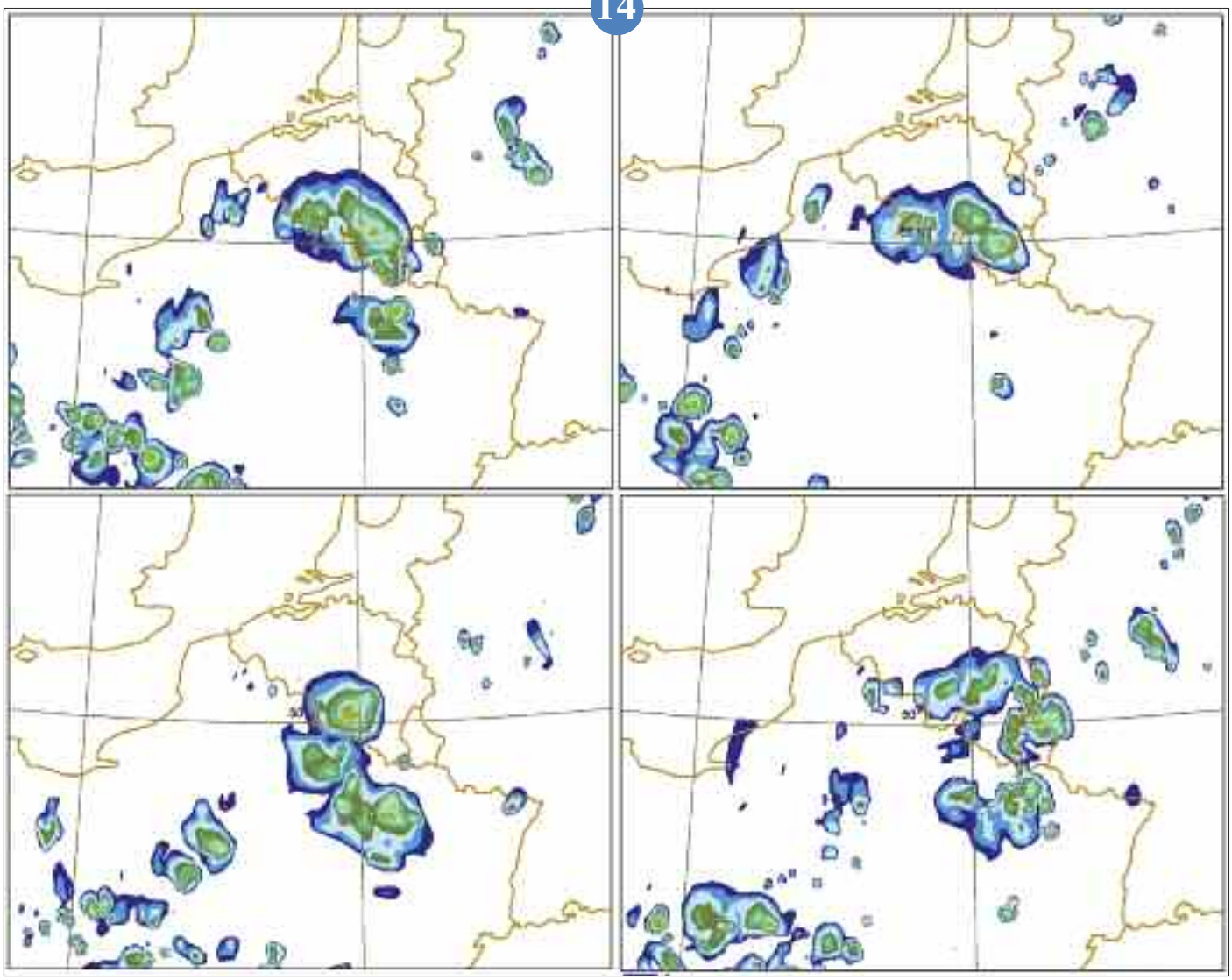
La mise en place d'une base de données donnant un libre accès aux prévisions d'ensemble pour la recherche est une des principales réalisations du programme THORPEX de l'Organisation Météorologique Mondiale. Cette base de données, appelée TIGGE (pour Thorpex Interactive Grand Global Ensemble), a été développée au CEPMMT et regroupe la dizaine de systèmes globaux de prévision d'ensemble existante dont le système de prévision à courte échéance développé à Météo-France, PEARP.

Cette base de données est encore peu utilisée. Elle facilite pourtant les exercices d'intercomparaison entre les différents systèmes. La figure montre un des premiers exemples de comparaison des performances statistiques sur le globe tourné vers la courte échéance de 5 des ensembles disponibles dans la base de données TIGGE. Le score présenté, appelé CRPS par les spécialistes, mesure la distance quadratique entre distributions de probabilités prévue et observée représentées par leurs fonctions de répartition. Il tient compte des deux principales propriétés d'un ensemble, à savoir la fiabilité statistique et la capacité à discriminer un événement, propriété essentielle et appelée résolution. Les systèmes présentent la même dégradation des scores avec l'échéance de prévision. Le système PEARP de Météo-France et celui du CEPMMT apparaissent comme les deux meilleurs systèmes de prévision d'ensemble.

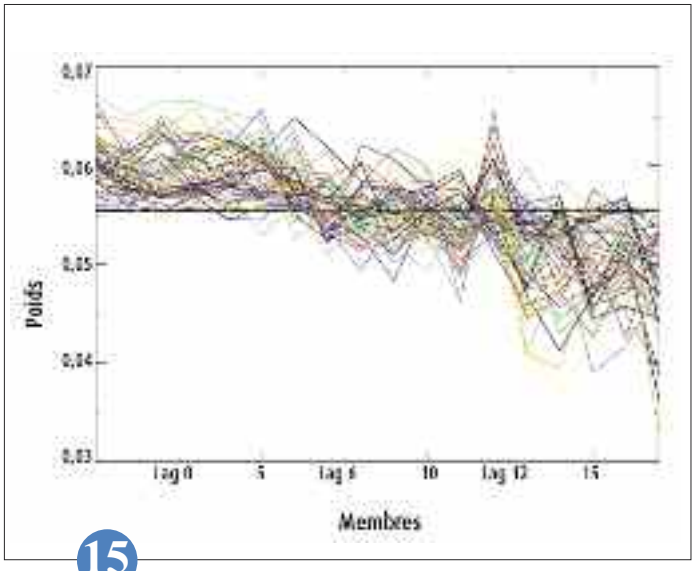
16

▶ Poids calculés pour chaque membre du super-ensemble Arome sur une période de 2 semaines au printemps 2011. Ce super-ensemble est construit à partir de la version pré-opérationnelle du système de prévision d'ensemble Arome, composé de six membres. Les membres « Lag 0 » correspondent à l'ensemble de prévision le plus récent, et les membres « Lag 6 » et « Lag 12 » correspondent aux ensembles initiés 6h et 12h plus tôt respectivement. Chaque ligne représente les poids calculés pour une date particulière.

14



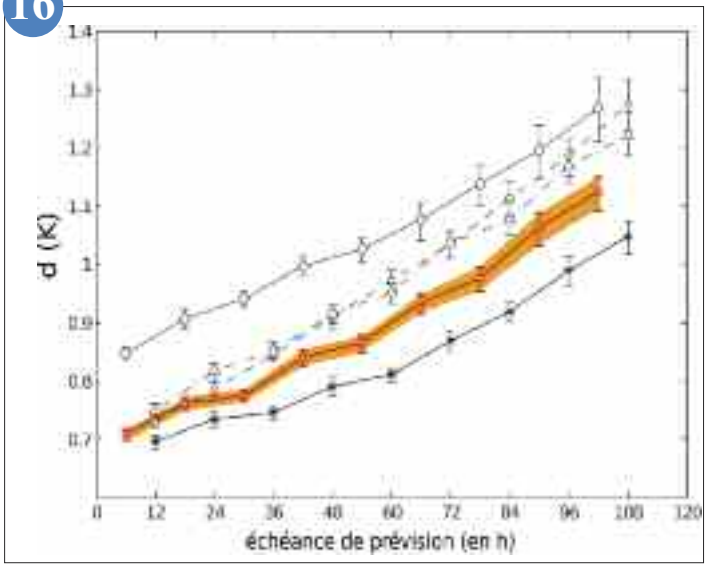
Prévision d'ensemble AROME d'une situation d'orages d'été intenses à la frontière franco-belge. Les couleurs indiquent les zones de pluie. Les cartes montrent 4 scénarios de prévision fournis par le système de prévision d'ensemble AROME expérimental, leurs différences illustrent l'incertitude sur la localisation des orages. L'ensemble opérationnel fournira une dizaine de scénarios simultanés, ce qui constituera une information sur les risques d'occurrence de précipitations dans ce type de situation peu prévisible.



15

Evolution de d, distance quadratique entre distributions de probabilités prévue et observée de la température à 850 hPa représentées par leurs fonctions de répartition, en fonction de l'échéance de prévision pour l'ensemble canadien (cercles et traits tiretés), l'ensemble anglais du UKMO (triangles et traits mixtes), l'ensemble du CEPMMT (étoiles et traits continus gras) et enfin l'ensemble de Météo-France PEARP (carrés et traits interrompus rouges). Une méthode dite de « bootstrap » donne accès à l'incertitude des scores (représentée par des barres d'erreur verticales autour du score, en orange pour PEARP).

16



Étude des processus

Le CNRM mène des recherches dont la finalité principale est l'amélioration permanente des différentes prévisions réalisées par Météo-France. Pour cela, le CNRM conduit de nombreuses études de processus dans les domaines de la météorologie, du climat, de l'océanographie superficielle, de l'hydrométéorologie, de la nivologie et de la chimie atmosphérique. Les deux composantes dominantes de cette démarche scientifique sont la modélisation numérique et les campagnes de mesures. En s'appuyant sur ses importants moyens de mesures expérimentales, le CNRM joue souvent un rôle déterminant dans l'initiation de grands programmes de recherche internationaux, dans la définition de leur stratégie, dans leur mise en œuvre et dans leur exploitation scientifique.
Ce chapitre illustre cette démarche avec des articles sur la réalisation en 2012 des campagnes HyMeX centrée sur les précipitations intenses en méditerranée, TRAQUA sur la pollution méditerranéenne et ALTIUS sur l'ozone stratosphérique. La campagne Concordiasi réalisée en 2010 permet aujourd'hui d'orienter le développement du système mondial d'observations en vue d'améliorer les prévisions en zone polaire. Des résultats de travaux plus conceptuels sont également présentés, notamment sur la tempête Xynthia, sur les mécanismes d'oscillation de l'Oscillation Nord-Atlantique (NAO), sur les tempêtes et cyclones tropicaux de l'océan indien, ainsi que sur les ondes d'Est africaine.
Observer, modéliser et comprendre sont les maitres mots de cette démarche scientifique qui permet de faire évoluer les modèles opérationnels de Météo-France et ainsi fournir des informations toujours plus pertinentes sur le devenir de notre environnement, du très court terme (quelques heures) jusqu'au très long terme (plusieurs dizaines d'années).

1

Compréhension

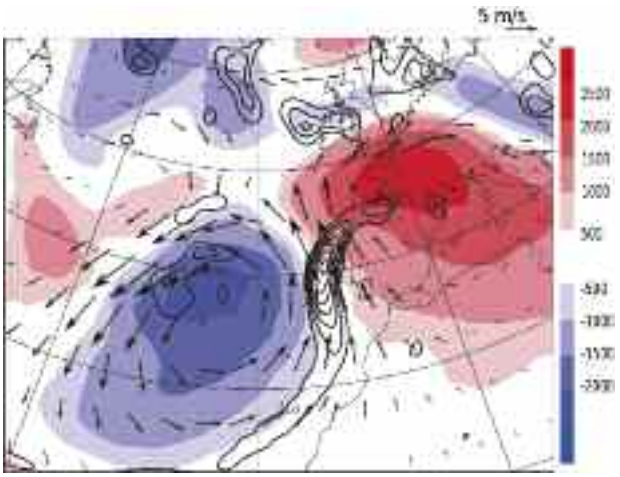
Influence de la structure horizontale du courant-jet sur le développement de la tempête Xynthia (28 février 2010)

La dynamique des dépressions des latitudes tempérées est intimement liée au courant jet d'ouest en ce sens que ce dernier détermine l'intensité et la trajectoire des dépressions. Les dépressions tirent l'essentiel de leur énergie des contrastes nord-sud de température, en équilibre avec la variation verticale du vent. Des travaux récents dans des modèles simplifiés ont montré que les variations horizontales du jet moyenné sur la verticale jouaient un rôle sur la trajectoire des dépressions. Ce mécanisme, connu dans l'atmosphère à l'échelle planétaire ou dans l'océan, n'avait pas été envisagé auparavant dans le contexte de la cyclogenèse Atlantique. Une étape a été franchie plus récemment en mettant en évidence l'influence de la moyenne verticale du jet d'ouest sur la trajectoire de la tempête Xynthia, un des facteurs à l'origine de la forte submersion le long des côtes de Vendée entre les 26 et 28 février 2010. Au moyen d'une étude de sensibilité aux conditions initiales dans un modèle global réaliste d'atmosphère, on a montré (voir figure) que la moyenne verticale du jet interagissait avec la dépression parvenue à son stade de maturité. Cette interaction est matérialisée par une perturbation du jet sous la forme d'une circulation anticyclonique en aval de la dépression et cyclonique en amont. Cette composante de l'écoulement contribue à infléchir le déplacement de la dépression vers le nord.

2

1

HyMeX SOP1 automne 2012 : préparation d'un vol de mesure, entre les directrices scientifiques et les pilotes de SAFIRE, visant à documenter les processus au sein des orages. (photo crédit MF)



2

Le système dépressionnaire est représenté le 27 février 2010 à 12 H UTC par le champ de tourbillon à 850 hPa (intervalle des isolignes noires : 5 10^{-5} s^{-1}). Les anomalies de géopotentiel à 300 hPa (en m^2/s^2) résultant de l'interaction entre le système dépressionnaire et la moyenne verticale du jet d'ouest sont représentées par des plages de couleur (bleues pour les valeurs négatives et rouges pour les valeurs positives). Les flèches représentent la part du champ de vent associée à ce dipôle et capable d'infléchir la trajectoire du système dépressionnaire vers le nord.

Interaction entre les rails des dépressions Pacifique et Atlantique Nord et ses implications sur l'oscillation nord atlantique

L'Oscillation Nord Atlantique (NAO) est le mode de variabilité dominant de la circulation atmosphérique de l'Atlantique Nord en hiver. La NAO est caractérisée par la position latitudinale du jet troposphérique dans le domaine Atlantique : lorsque le jet troposphérique est décalé vers le nord, la phase de la NAO est dite positive et lorsqu'il est décalé vers le sud, elle est dite négative.
L'étude des variations intra-saisonnières de la NAO met en évidence la présence d'une dorsale basse fréquence et de grande échelle dans le Pacifique Nord-Est lors du développement de la phase positive (voir figure). Son amplitude est maximale quatre jours avant le maximum de la positive de la NAO et décroît ensuite lentement. Un thalweg est observé dans le Pacifique Nord à l'instant maximal de la phase négative, mais il ne semble pas la précéder comme le fait la dorsale pour la phase positive (voir figure). Nous avons montré que cette dorsale, un des précurseurs potentiels de la phase positive de la NAO, interagissait avec les ondes synoptiques de l'écoulement atmosphérique du Pacifique de deux manières : elle filtre les ondes associées aux systèmes dépressionnaires qui se sont formés dans le Pacifique, mais singulièrement plus les ondes de petite échelle que les ondes de grande échelle et elle oriente les perturbations haute fréquences entrant dans le domaine Atlantique préférentiellement dans la direction NE-SW. Ces dernières restituent alors une partie de leur énergie à l'environnement au-dessus de l'Atlantique Nord. La principale conséquence est un déplacement du jet troposphérique vers le nord, déclenchant ainsi la phase positive de la NAO.

3

Modélisation de l'interaction entre un cyclone tropical et un thalweg d'altitude avec ALADIN-Réunion

La prévision d'intensité des cyclones tropicaux est un enjeu opérationnel majeur qui connaît encore de graves déficiences. Elles seront réduites via l'amélioration des modèles de prévision numérique et une meilleure compréhension des mécanismes d'intensification et de changement de structure des cyclones. Dans le sud-ouest de l'océan Indien en particulier, des cyclones s'intensifient parfois lorsqu'ils rencontrent un thalweg (tourbillon) en altitude originaire des latitudes moyennes. Quels sont les processus physiques en jeu dans une telle interaction et leur impact sur l'intensité future du cyclone ?
Des simulations numériques ont été réalisées avec ALADIN-Réunion. La structure initiale du cyclone Dora (2007) est affinée grâce à l'assimilation de pseudo-observations de vent déduites de l'observation satellitaire. Le modèle simule correctement les différentes phases d'intensification de Dora, ce qui permet d'étudier les mécanismes d'intensification en lien avec le thalweg. L'interaction est particulièrement riche. Du tourbillon potentiel provenant du thalweg alimente d'abord directement le cœur du cyclone et l'intensifie. Ensuite, le thalweg force une accélération tourbillonnaire à l'extérieur du cyclone, ce qui génère un mur de l'œil secondaire. Ce changement de structure induit une nouvelle intensification du cyclone par contraction du mur externe et dissipation du mur interne initial.
L'étude met en évidence la complexité des interactions, l'importance des conditions initiales pour obtenir de bonnes simulations, et les limites des modèles actuels pour représenter les processus en jeu. D'autres travaux seront nécessaires pour proposer un modèle conceptuel d'interaction cyclone-thalweg.

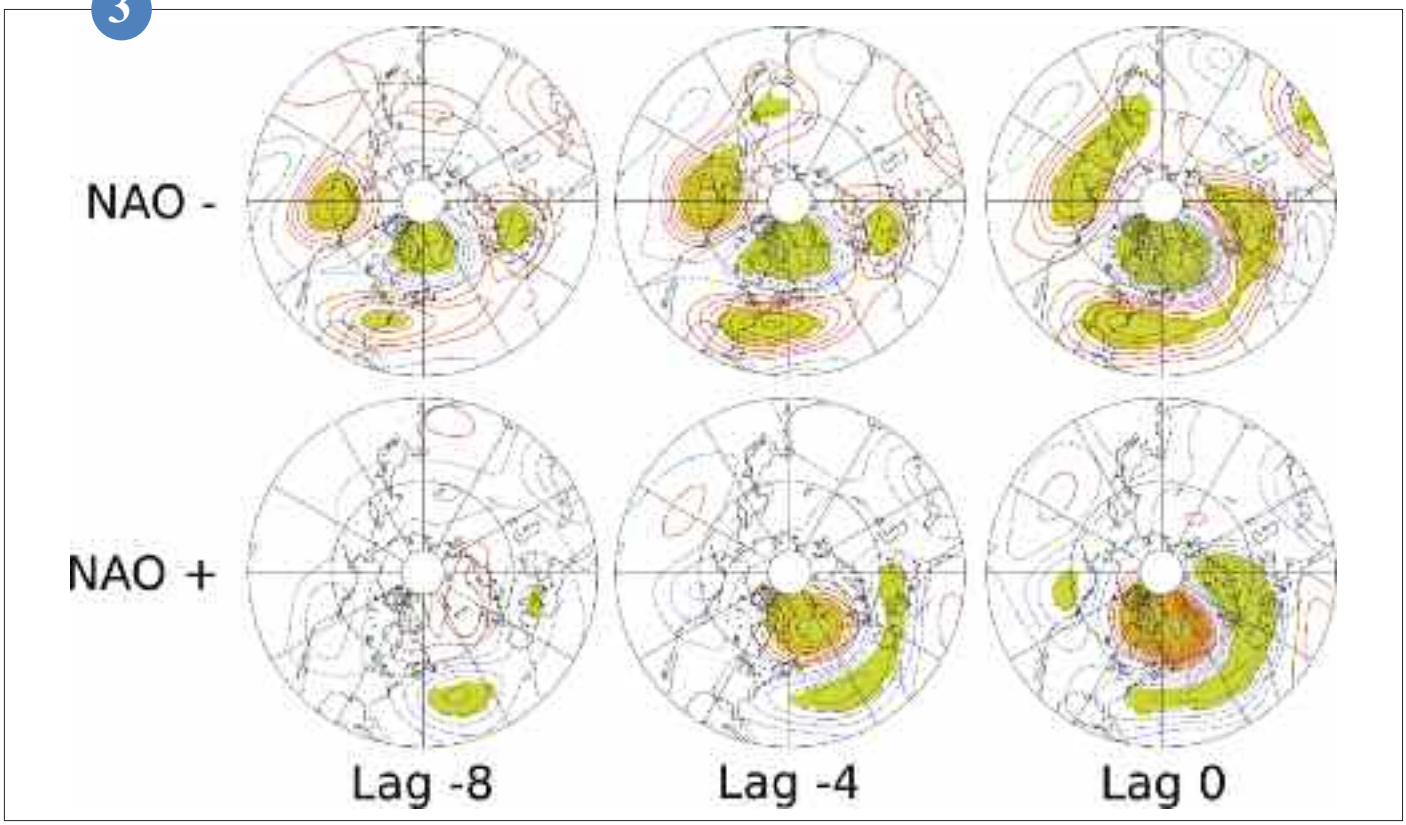
4

Activité électrique des systèmes dépressionnaires tropicaux du bassin sud-ouest Indien

Depuis une vingtaine d'années, la prévision de la trajectoire des cyclones tropicaux s'est améliorée mais la prévision de l'intensité a peu progressé. On étudie l'intérêt de détecter l'activité électrique comme précurseur de l'intensification des cyclones.
L'activité électrique des systèmes dépressionnaires tropicaux du sud-ouest de l'Océan Indien a été analysée à partir des données du réseau de détection des éclairs à grande distance WWLLN et des analyses des cyclones par le CMRS de Météo-France à La Réunion de 2005 à 2012. La zone d'étude est limitée à l'océan, à plus de 400 km de la côte est de Madagascar. La base de données est ainsi constituée de 60 systèmes, décomposés en 1882 périodes de 6 h.
Pour les systèmes les moins intenses (dépression ou tempête tropicale), l'activité électrique est répartie dans un rayon de 100 km du centre. Lorsque le système dépasse le stade de cyclone tropical, les éclairs se concentrent dans le mur de l'œil (0 - 50 km).
L'activité électrique étant liée à la dynamique et à la distribution des particules de glace dans les nuages, un pic d'activité électrique dans le mur de l'œil est lié à une augmentation rapide des vents verticaux, et à une potentielle intensification du système. Une intensification en deçà de 5 nœuds par 6 h n'est pas précédée par un pic d'éclairs. Par contre, pour les systèmes s'intensifiant rapidement (≥ 7,5 nœuds / 6 h), la densité d'éclairs culmine 6 h avant l'intensification, avec une activité électrique doublée en 12 h.
Cette étude sera étendue aux systèmes à proximité des côtes. Des simulations numériques de l'activité électrique des cyclones tropicaux seront menées pour analyser les processus physiques à l'origine de ces comportements.

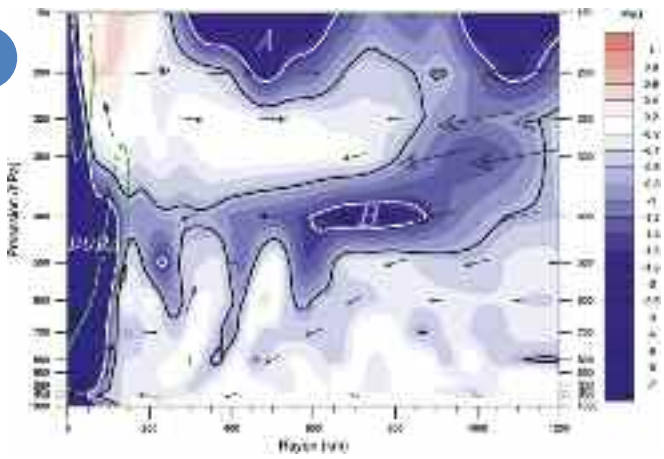
5

3



Le système dépressionnaire est représenté le 27 février 2010 à 12 H UTC par le champ de tourbillon à 850 hPa (intervalle des isolignes noires : 5 10^{-5} s^{-1}). Les anomalies de géopotentiel à 300 hPa (en m^2/s^2) résultant de l'interaction entre le système dépressionnaire et la moyenne verticale du jet d'ouest sont représentées par des plages de couleur (bleues pour les valeurs négatives et rouges pour les valeurs positives). Les flèches représentent la part du champ de vent associée à ce dipôle et capable d'infléchir la trajectoire du système dépressionnaire vers le nord.

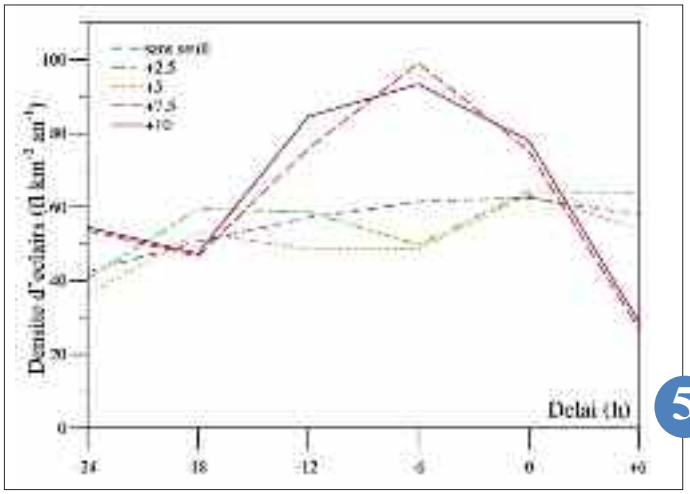
4



Composite de l'anomalie de fonction de courant journalière à 200 hPa huit jours avant le maximum de la NAO (lag -8), quatre jours avant le maximum de la NAO (lag -4) et au maximum de la NAO (lag 0).
Les trois figures du haut représentent les composites de la phase négative et les trois figures du bas ceux de la phase positive. La NAO est définie comme étant le premier vecteur propre du géopotentiel à 200 hPa sur l'Atlantique Nord (20-80N, 90W-40E). Les contours bleus correspondent aux valeurs négatives du composite et les contours rouges aux valeurs positives. L'intervalle est de 2.10⁶ m2.s⁻¹. Le contour zéro est omis. Les plages colorées vertes indiquent les zones où les composites sont différents de zéro à 95%.

Composite de l'anomalie de fonction de courant journalière à 200 hPa huit jours avant le maximum de la NAO (lag -8), quatre jours avant le maximum de la NAO (lag -4) et au maximum de la NAO (lag 0).
Les trois figures du haut représentent les composites de la phase négative et les trois figures du bas ceux de la phase positive. La NAO est définie comme étant le premier vecteur propre du géopotentiel à 200 hPa sur l'Atlantique Nord (20-80N, 90W-40E).
Les contours bleus correspondent aux valeurs négatives du composite et les contours rouges aux valeurs positives.
L'intervalle est de 2.106 $m^2.s^{-1}$. Le contour zéro est omis. Les plages colorées vertes indiquent
les zones où les composites sont différents de zéro à 95%.

5



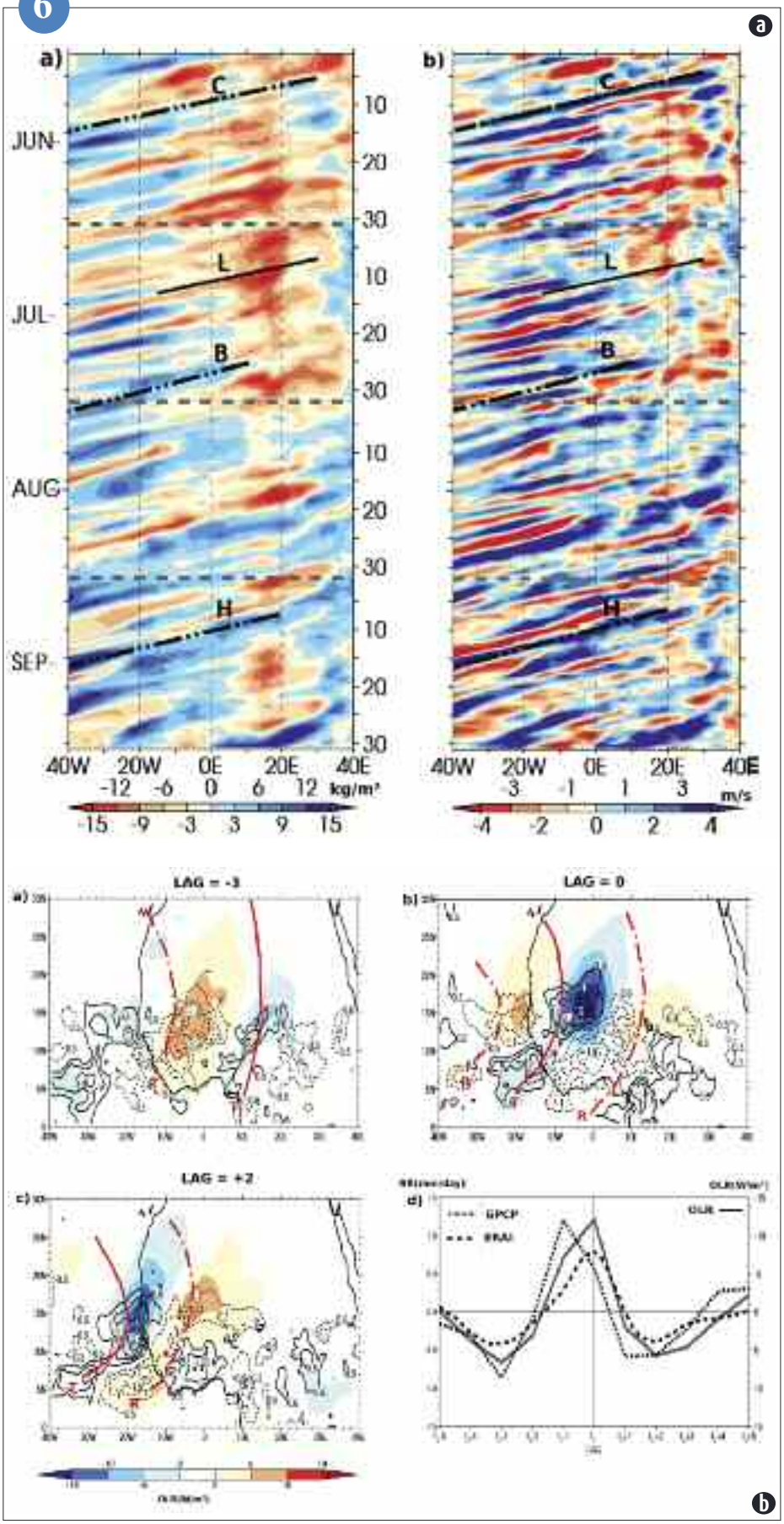
Suivi des Ondes d'Est Africaines par l'humidité : une contribution à la prévisibilité synoptique au Sahel

La grande variabilité spatio-temporelle de la convection sous les tropiques est un des facteurs responsables de la faible prévisibilité de la mousson. L'étude de cette variabilité à travers la dynamique des ondes d'est a permis d'identifier des zones favorables au développement de la convection, en particulier au voisinage du thalweg.
Toutefois, la vision très dynamique des ondes d'est développée jusqu'ici sous-estime le rôle de l'humidité qui, pour le développement de la convection, est primordiale au Sahel du fait de ses faibles valeurs combinées à de forts gradients méridiens présents tout au long de la saison. Dans cette étude, nous montrons que les modulations saisonnières de l'humidité totale atmosphérique (ou eau précipitable) permettent de suivre l'activité des ondes d'est avec des précurseurs bien marqués à l'est de l'Afrique et significatifs 5 jours à l'avance. La figure « a » montre que ces précurseurs sont à la fois très fréquents et d'amplitudes significatives par rapport aux moyennes saisonnières dans cette région. Certains paquets d'ondes sont initiés depuis les longitudes 40°E et peuvent être suivis pendant une semaine au moins sur toute la bande sahélienne. Ces modulations d'humidité sont aussi associées à une forte modulation de l'activité convective comme le montre le composite des précipitations et de l'OLR sur la figure « b ». Sur le continent et dans la bande sahélienne (10-20°N), le maximum de précipitation se retrouve à l'avant du maximum d'eau précipitable et à l'arrière du thalweg à 600 hPa qui matérialise la trace dynamique de l'onde d'est. Dans la bande soudanaise, au sud de 10°N, la modulation des précipitations est opposée à celle du Sahel avec un maximum en phase avec le thalweg, en accord avec les études antérieures.

6

(a) : anomalies saisonnières d'eau précipitable (PW) sur l'été 2006 moyennée dans la bande 12-20°N.

6



(b) : composite des anomalies de précipitation GPCP (mm/jour) en contours et d'OLR-NOAA en couleur. Les traits rouges représentent les thalwegs (T) et dorsales (R) à 600 hPa associés à l'onde d'est. L'indice de référence du composite est la moyenne de PW filtré sur 10 jours et moyenné dans la boîte 12-20°N, 2W-2E.

Campagnes

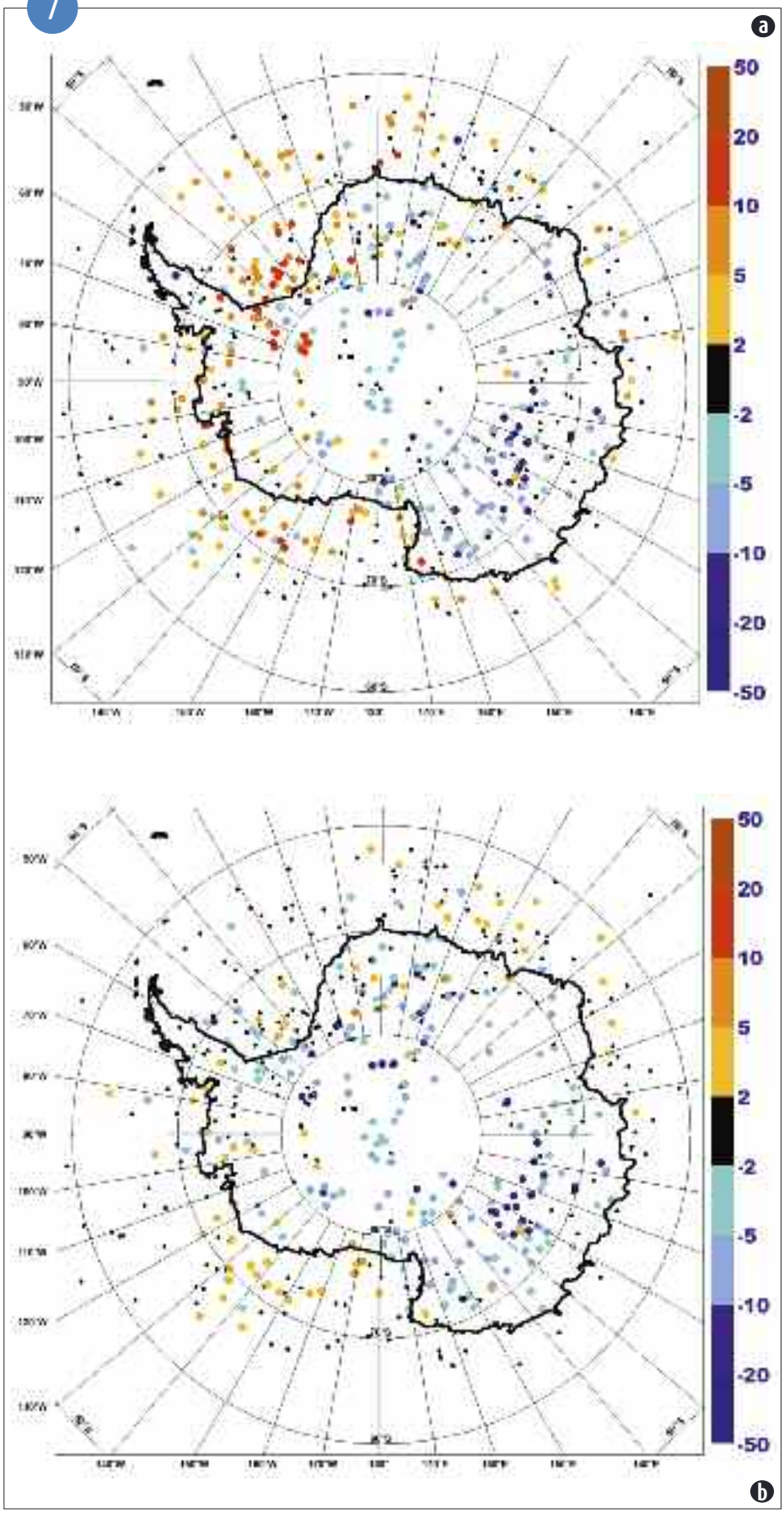
Concordiasi : résultats de la campagne ballons de 2010

Le projet Concordiasi a mené une campagne de mesures sans précédent à l'automne 2010 en Antarctique. Dix-neuf ballons plafonnants du CNES ont été lancés depuis la base américaine de McMurdo. Ces ballons ont dérivé à 17km d'altitude pendant plusieurs semaines, déployant 640 drop-sondes du NCAR, mesurant des profils atmosphériques dans une grande diversité de conditions météorologiques sur le continent Antarctique et les océans avoisinants.
A l'aide de ces données, dans des endroits d'ordinaire inaccessibles à la mesure in-situ, nous avons documenté les performances des modèles météorologiques et la qualité des inversions réalisées à partir des instruments embarqués à bord de satellites. On a montré que le sondeur IASI fournit des profils de température de qualité tout à fait satisfaisante, la principale limitation étant due à la description de la température de surface. D'autre part, une comparaison entre les drop-sondes et les prévisions de différents modèles a été menée. Les résultats mettent en évidence la difficulté des modèles à représenter la température de surface en Antarctique, à cause de la difficulté de modélisation de la couche d'inversion très marquée dans ces régions. La différence entre les températures des sondes et des modèles à la surface est illustrée sur les figures a et b pour les modèles de Météo-France et du CEPMMT respectivement. Ces figures montrent clairement que les modèles sont trop chauds sur le plateau antarctique. L'impact des drop-sondes sur la qualité des prévisions a également été documenté. Il s'avère que l'information en température est cruciale dans le bas de l'atmosphère, alors que l'information en vent est plus bénéfique en haute altitude.
Ces résultats fournissent des éléments qui permettront d'orienter le développement du système mondial d'observations en vue d'améliorer la performance des systèmes de prévision en zone polaire.

7

(a) : différences entre les températures du modèle de Météo-France et celles obtenues par drop-sondes, au niveau le plus bas près de la surface. Les couleurs bleues indiquent que la donnée est plus froide, et donc que le modèle est trop chaud. Les couleurs rouges indiquent que la donnée est plus chaude, et donc que le modèle est trop froid.

7



(b) : différences entre les températures du modèle du CEPMMT et celles obtenues par drop-sondes, au niveau le plus bas près de la surface. Les couleurs bleues indiquent que la donnée est plus froide, et donc que le modèle est trop chaud. Les couleurs rouges indiquent que la donnée est plus chaude, et donc que le modèle est trop froid.

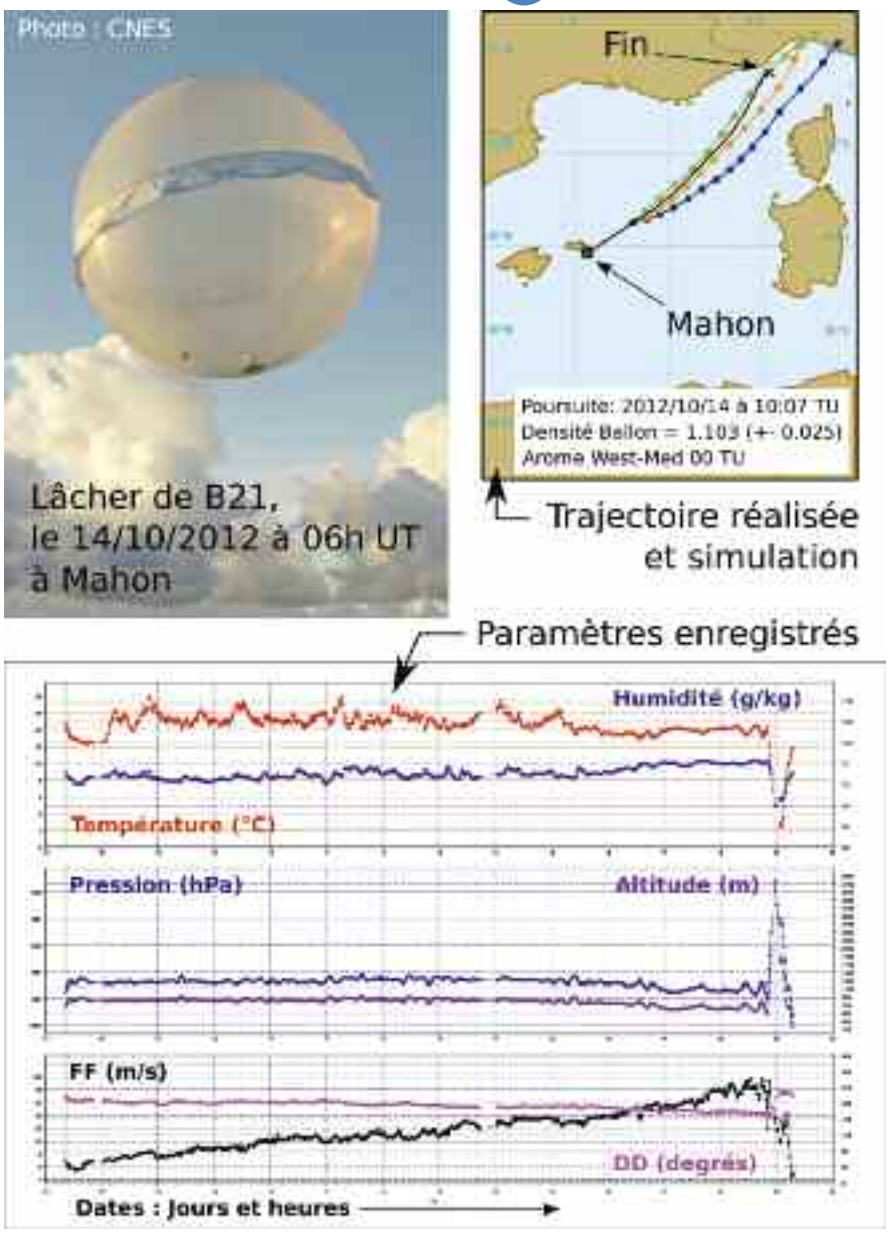
Aides à la décision et vols de ballons plafonnants instrumentés dans HyMeX

Durant la période d'observation spéciale (SOP1) de HyMeX, une quinzaine de ballons plafonnants instrumentés du CNES ont été déployés depuis le site de Mahon à Minorque. Ces ballons effectuent des mesures in situ de température, humidité, pression et leur position le long de leur dérive à densité constante. Le vent est déduit du déplacement de ces ballons. Les données sont accessibles en temps réel grâce à une liaison satellite. Les données filtrées sont mises à disposition des modèles numériques tels qu'AROME-West-Med qui peuvent les assimiler

L'objectif de ces ballons est de suivre l'évolution des masses d'air de basse couche qui amènent l'humidité de la mer Méditerranée à disposition des systèmes convectifs précipitant sur le pourtour du bassin et dont les fortes pluies génèrent crues et inondations (Thème 3 de HyMeX). Les ballons sont donc libérés sur alerte météorologique en lien avec le Centre des Opérations de HyMeX (à la Grande Motte) et sur la base de simulations de trajectoires utilisant les prévisions de divers modèles météorologiques dont ARPEGE et AROME (France et West-Med). L'horaire précis du lâcher est un compromis entre les trajectoires prévues, les contraintes météorologiques locales (peu ou pas de pluie, vent faible ou modéré) ainsi que le contrôle aérien.

10

10



Les mesures au sol pendant la SOP 1 d'HyMeX

Dans le cadre de la première période d'observation spéciale (SOP1) du programme international HyMeX, un dispositif instrumental sans précédent a été déployé dans le sud de la France afin d'étudier les conditions propices au développement des évènements de pluie intense et les propriétés des systèmes précipitants de type « cévenol ». Le Groupe de Météorologie Expérimentale et Instrumentale (GMEI) du CNRM a joué un rôle moteur dans l'organisation de la SOP1 en participant à l'élaboration de la stratégie d'observation et en mettant en œuvre de nombreux capteurs météorologiques le long de l'arc méditerranéen. Les équipes du groupe GMEI ont ainsi été impliquées dans de nombreuses activités parmi lesquelles :

- la mise en œuvre du supersite de télédétection de Candillargues qui concentrait, en un même endroit, un ensemble unique de capteurs météorologiques visant à décrire précisément les propriétés de l'atmosphère lors des évènements de pluie intense (fig. a) ;
- la mise en œuvre d'une station de radiosondage mobile permettant de choisir le site de radiosondage le plus pertinent en fonction des prévisions météorologiques (fig. b) ;
- la réalisation de radiosondages et de mesures de flux turbulents à bord du navire le Provence ;
- l'organisation des opérations radar et le soutien au déploiement des radars météorologiques de recherche mis en œuvre pendant la SOP (fig. c).

Ces observations, actuellement en phase de validation, seront prochainement mises à la disposition de la communauté scientifique qui les exploitera pendant plusieurs années.

11

◀ Lâcher du BPCL B21, le 14/10/2012 vers 6h00 depuis l'Aéroclub de Mahon sur Minorque. Les instruments sont placés dans l'abri ventilé externe situé au sommet, les systèmes de pilotage sont placés dans la nacelle (interne) du bas. La bande équatoriale sert de déflecteur pour les gouttes de pluie ruisselant sur l'enveloppe elle-même enduite d'un produit hydrophobe. Carte : trajectoire réalisée (noir) et trajectoires prévues pour le BPCL B21 à partir d'une position et densité observées (orange) et plus ou moins 150 mètres (bleu et vert) : c'est la « poursuite de trajectoire » donnant une nouvelle estimation de la route toutes les 20 minutes. Graphique : Vue d'ensemble des paramètres enregistrés par le BPCL B21. Ce ballon a atteint son objectif en entrant dans les systèmes convectifs circulant le long de la côte Franco-Italienne vers 19h15. L'ascension finale met fin au vol.

11

(a) : le dispositif expérimental mis en œuvre à Candillargues, principalement basé sur la télédétection active et passive de l'atmosphère, était composé de différents types de lidars (aérosol, vapeur d'eau) et de radars (profileur de vent, radar polarimétrique, radar pluviométrique), d'un sodar, d'un radiomètre micro-onde, d'une station GPS ainsi que de divers instruments de mesures in situ, le tout étant ponctuellement complété par des radiosondages à haute fréquence pendant les périodes d'observation intensive.

(b) : la station mobile de radiosondage.
160 radiosondages mobiles (sur un total de 192) ont été réalisés pendant la SOP1 d'HyMeX sur les sites de Vias, Marseille, Fréjus et Candillargues.

(c) : le radar polarimétrique mobile NO-XP du National Severe Storm Laboratory (USA). Ce radar, déployé au sommet du Mont Bouquet, est l'un des cinq radars de recherche mis en œuvre pendant la SOP1 d'HyMeX.

AROME WMed, un modèle conçu pour la campagne HyMeX

La première période d'observation spéciale de l'expérience HyMeX a eu lieu du 5 septembre au 5 novembre 2012. Pour fournir des prévisions en temps réel au centre opérationnel de la campagne et décider du déploiement des observations expérimentales, une version spéciale d'AROME a été développée au CNRM pour couvrir tout le bassin méditerranéen occidental. Ce modèle, appelé AROME WMED, possède un domaine légèrement plus grand (+ 11%) que le modèle opérationnel et fournit des prévisions jusqu'à 48 heures d'échéance issues du réseau de 00H disponibles à 4H30 UTC.
Malgré les contraintes du temps réel, davantage d'observations satellitaires micro-ondes ainsi que les données des stations de surface espagnoles supplémentaires ont été utilisées pour les analyses du modèle afin de renforcer la couverture en données. Quelques observations expérimentales ont également été assimilées.
La figure donne un exemple des pluies prévues à 48 et 24 heures d'échéance par le modèle AROME WMED pour la journée du 26 octobre 2012 et les pluies observées. Ce cas correspond à un épisode cévenol et à des fortes précipitations en Ligurie Toscane et Italie centrale, suivi de crues-éclairs, qui sont prévus par le modèle à 1 et 2 jours d'échéance. Un effort particulier a aussi été réalisé pour augmenter la densité des données de vérification incluant les données de surface espagnoles et italiennes, fournies par les centres météorologiques en temps quasi-réel.
AROME WMED continuera de fournir en temps quasi-réel des analyses et des prévisions aux scientifiques pour des applications hydrologiques ou océanographiques jusqu'à la fin de la deuxième période d'observation spéciale d'HyMeX. Ces champs météorologiques de méso-échelle sont disponibles dans la base de données HyMeX.

12

La campagne de mesures TRAQA : caractérisation de la pollution au-dessus de la Méditerranée

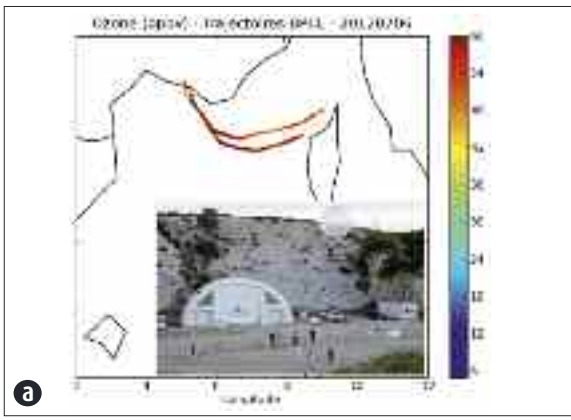
L'Expérience TRAQA (TRAnsport à longue distance et Qualité de l'Air dans le bassin méditerranéen) s'est déroulée sur le bassin Méditerranéen du 26 Juin au 11 Juillet 2012, avec pour objectif :
• la caractérisation des processus dynamiques d'export de masses d'air polluées depuis les régions sources du bassin ;
• la quantification des échanges entre la couche limite et la troposphère libre ;
• le suivi lagrangien du vieillissement et du mélange des panaches de pollution dans la basse troposphère ;
• l'analyse de la représentativité des cas d'étude sur une période de temps plus longue.
Durant cette expérience, il a été mis en œuvre l'avion de Météo-France l'ATR 42 opéré par SAFIRE et des ballons atmosphériques (plafonnants de couche limite, BPCL et sondages) opérés par le CNES. Cinq BPCLs ont été lâchés dont trois portaient des sondes classiques de mesures d'ozone. Sept périodes d'observations intensives ont été réalisées totalisant en tout 60 h de mesures avion et autant par BPCL pour des cas de Mistral modéré. Le modèle MOCAGE contraint par ARPEGE et les sorties de modèles du projet MACC ont participé à l'opération en plus du modèle de trajectoire (BAMED) basé sur AROME et le CEP pour prévoir les conditions de déclenchement des lâchers de BPCLs. Les mesures sont en cours d'exploitation sur un épisode de pollution sur le Golfe de Gênes, un événement de poussière désertique, un transport de pollution de la région de Barcelone et un événement de Mistral modéré, journées déclarées Golden Day (cf. Figure).
Remerciements :
TRAQA a reçu le support financier du programme PRIMEQUAL et MISTRAL, du CNES, de l'OMP et du LA et la participation des laboratoires suivants : CNRM, LA, LATMOS, LISA, SAFIRE et la division ballon du CNES.

13

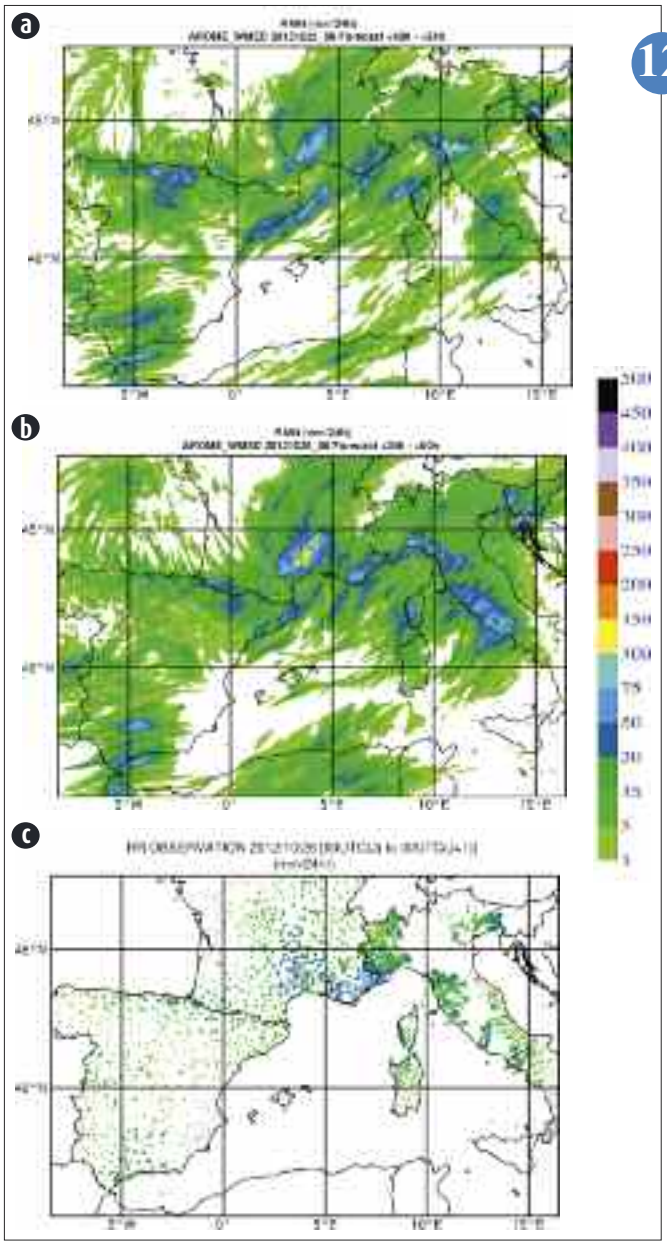
CAMPAGNE ALTIUS : mesure de l'ozone stratosphérique

ALTIUS (Atmospheric Limb Tracker for the Investigation of the Upcoming Stratosphere) est un projet de spectro-imageur capable de mesurer les profils de concentration atmosphérique de gaz résiduels dans la haute atmosphère. Développé par l'Institut d'Aéronomie Spatiale de Belgique (IASB), cet instrument atmosphérique sera embarqué sur un microsatellite destiné à l'observation de l'ozone stratosphérique et autres composants gazeux depuis une orbite héliosynchrone en vue d'obtenir les profils de distribution verticale de ces gaz. Il est composé de trois cameras spectrales faisant usage d'AOTFs (Acousto Optic Tunable Filter) dans 3 canaux, UV (250 nm à 400 nm), Visible (400 nm à 800 nm) et Infrarouge (800 nm à 1800 nm).
Un prototype du canal visible de cet instrument ayant des caractéristiques optiques similaires (FOV, ouverture,...) mais basé sur un design linéaire (lentilles à la place de miroirs) a été réalisé à partir de composants standards. Le vol d'essai de ce prototype effectué par SAFIRE (Service des Avions Français Instrumentés pour la Recherche en Environnement) en janvier 2012 à bord d'un avion ATR de Météo France avait pour but de tester les différents modes d'observations de l'atmosphère (diffusion du limbe, occultations solaire et stellaire) afin de mettre en évidence les possibilités de cet instrument et de préparer une éventuelle campagne opérationnelle.

14

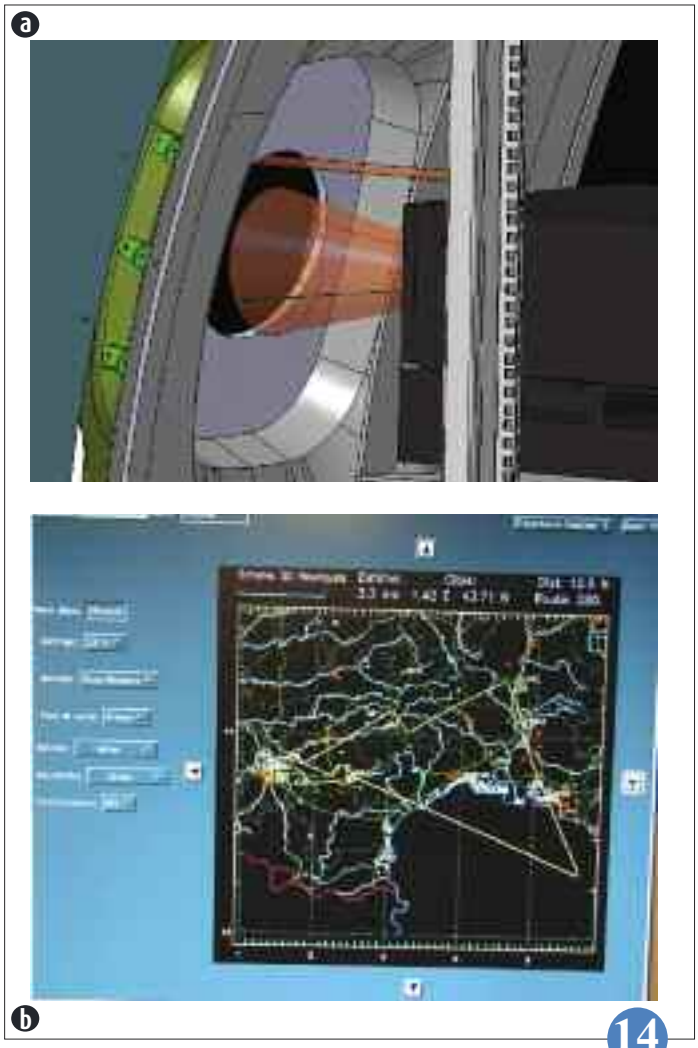


a

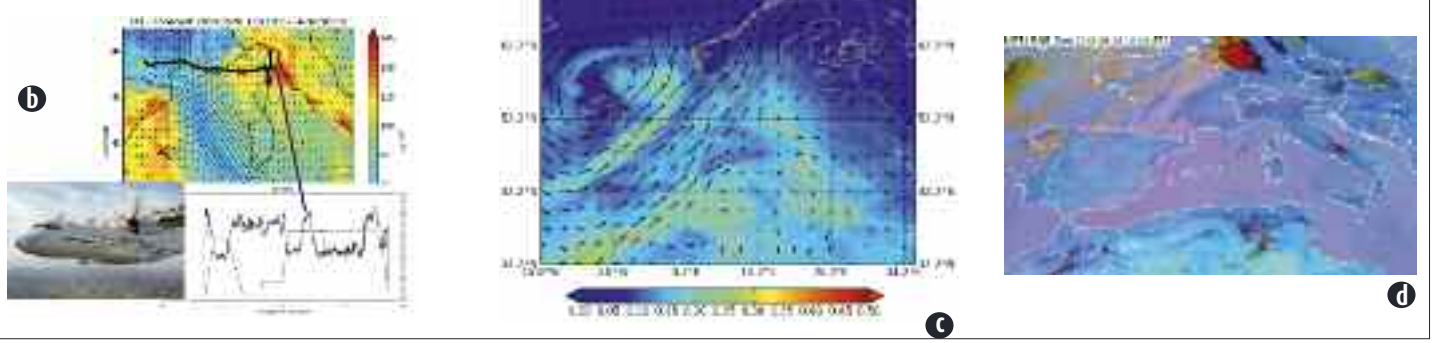


Prévision des pluies cumulées sur 24 heures (en mm) par AROME WMED à 48 heures d'échéance le 25 octobre 2012 (a), à 24 heures d'échéances le 26 octobre 2012 (b) et observations des cumuls 24 heures de pluies le 26 octobre 2012 (c).

(a) : champ de visée de la caméra spectrale à travers le hublot. Simulation sous CatiaV5 effectuée avant l'intégration dans l'avion ATR opéré par SAFIRE.
(b) : trajectoire réelle du vol test effectué en janvier 2012 :
1ère phase : vol en rond au-dessus de Toulouse pour détecter les gaz liés à la pollution.
2ème phase : vol rectiligne perpendiculaire au soleil couchant pour analyser l'atmosphère lors de l'occultation solaire.



(a) : ozone mesuré sur les trajectoires des BPCLs pour la journée du 06/07/2012. En encadré, le site des ballons (Martigues) avec 1 BPCL en vol.
(b) : champ d'ozone calculé par les modèles de MACC pour la journée du 26/06/2012. Le trait noir correspond à la trajectoire de l'ATR-42 (photo). En encadré, les mesures correspondantes où l'on voit clairement un maximum d'ozone en accord avec la modélisation sur le golfe de Gênes.
(c) : simulation des épaisseurs optiques des aérosols par MOCAGE-aérosol.
(d) : image correspondante des poussières désertiques vue par le satellite MSG pour le 29/06/2012.



Climat

Après une phase intensive de préparation et de réalisation de nouvelles simulations climatiques dans le cadre du projet international CMIP5, base du prochain rapport du GIEC, est venu le temps de l'analyse des résultats. Ces analyses ont d'ores et déjà fait l'objet en 2012 d'une quinzaine d'articles soumis, notamment à un numéro spécial de la revue Climate Dynamics préparé en collaboration avec l'IPSL. Les thématiques abordées couvrent en particulier la détection/attribution des changements climatiques, la validation et les projections de la variabilité intra-saisonnière et des vagues de froid sur l'Europe, la modélisation simplifiée du couplage global, ... D'autres études utilisant ces simulations ont aussi été initiées comme celle de l'évaluation de la capacité des modèles à reproduire les nuages sur l'Afrique de l'Ouest et celle de la contribution de la fonte du Groenland sur le niveau des mers.
Dans le domaine de la régionalisation du climat, l'élément nouveau important concerne notre participation à l'exercice de simulation international CORDEX. Nous avons réalisé pour cet exercice toutes les simulations non couplées à 50km de résolution concernant l'Afrique et la région méditerranéenne. Dans le domaine des impacts et de l'adaptation aux évolutions climatiques, à noter deux nouvelles analyses relatives aux évènements extrêmes : le suivi des sécheresses de la région méditerranéenne et une étude concernant l'agglomération parisienne traitant de la canicule de 2003. L'année 2012 a aussi été celle de la mise en place de la nouvelle configuration du système Eurosip de prévision saisonnière utilisé opérationnellement à Météo-France (système 4). Les scores de ce système s'avèrent le plus souvent meilleurs que ceux du précédent système. Une autre étude menée sur la prévisibilité saisonnière de l'étendue de la banquise Arctique donne aussi des résultats très prometteurs avec en particulier une bonne prévisibilité potentielle de l'anomalie à la fin de l'été. Le thème de la régionalisation des prévisions saisonnières a aussi été abordé au travers d'une étude de la prévisibilité des ressources en eau pour la France métropolitaine.

1

Etude du climat et du changement climatique

Projet Epicea : Pistes d'adaptation de la Ville de Paris au changement climatique

L'objectif central du projet EPICEA, Etude Pluridisciplinaire des Impacts du Changement climatique à l'Echelle de l'Agglomération parisienne, était d'évaluer l'évolution du climat de Paris dans la perspective du changement climatique, et d'établir des relations quantitatives entre l'aménagement urbain et de son climat associé.
L'emploi d'une méthodologie novatrice, intégrant une réelle représentation de la ville, a permis d'affiner les projections climatiques donnant lieu au final à une hausse de 2 à 4°C, suivant le taux d'urbanisation, de la température sur Paris à la fin du 21ème siècle et une très forte augmentation du nombre de canicules, de 10 à 25 par an à Paris au lieu d'une seule par an en moyenne aujourd'hui.
Ensuite, les simulations haute résolution (250m) de la canicule 2003 sur Paris ont permis de modéliser un îlot de chaleur urbain (ICU) en fin de nuit entre le centre dense et les zones alentours, de l'ordre de 4 à 7°C, et dans Paris intra-muros même, de 2 à 4°C. S'est également produit durant cet épisode un « panache urbain », réchauffant ainsi de 2°C les arrondissements limitrophes et les communes des alentours suivant le sens du vent.
Intégré dans le volet adaptation du Plan Climat de la Ville de Paris, EPICEA a contribué à donner des repères sur un plan théorique concernant l'ampleur des modifications de l'intensité de l'ICU induites par des actions sur les leviers urbains (propriétés radiatives des toits et murs, ajout de végétation arrosée et humidification des chaussées). Par exemple, en combinant des scénarios d'aménagements urbains de grande ampleur, l'ICU de Paris verrait son intensité diminuer de 1 à 2°C durant une canicule comme celle de 2003, avec des températures pouvant baisser de 6°C à un instant donné.

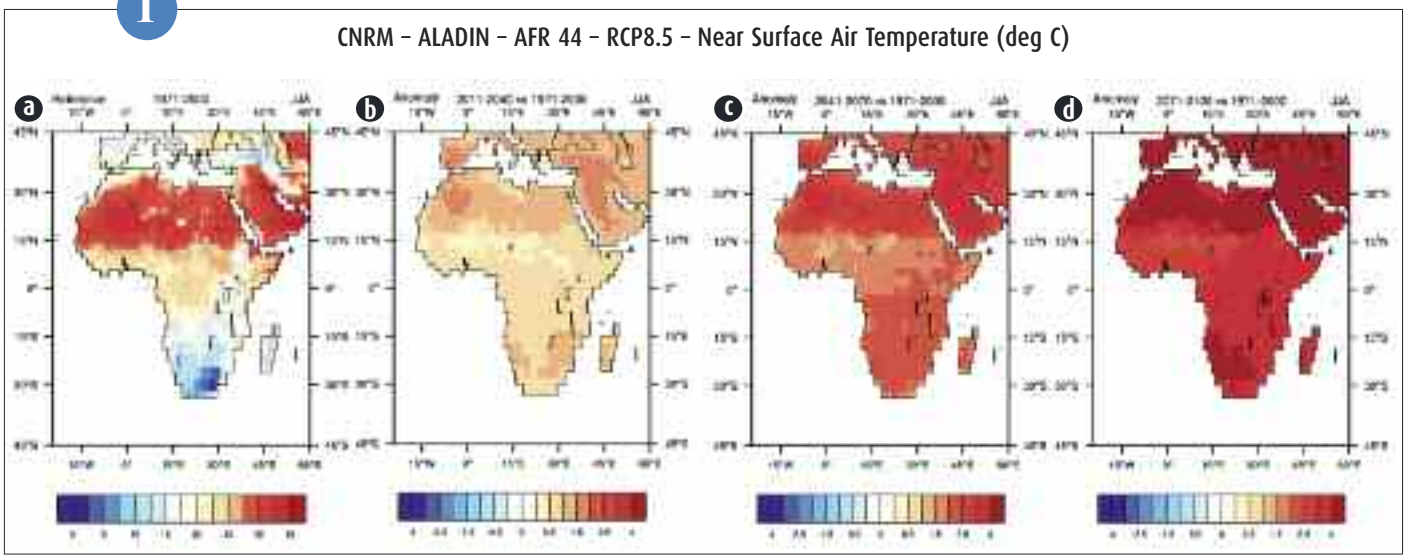
2

Influence des activités humaines sur l'évapotranspiration continentale

L'évapotranspiration joue un rôle crucial dans la disponibilité en eau du sol. Mais son évolution à long terme est encore mal comprise, notamment en raison de la rareté des observations. Une étude menée par des chercheurs du CNRM-GAME a permis de reconstituer à l'échelle du globe les variations en moyenne annuelle enregistrées au cours de la seconde moitié du 20ème siècle et d'en attribuer la cause en partie aux émissions humaines de gaz à effet de serre et d'aérosols.
Les variations spatio-temporelles de l'évapotranspiration entre 1950 et 2005 ont d'abord été estimées à l'aide d'un modèle hydrologique piloté par des ré-analyses atmosphériques corrigées de leurs biais systématiques. Des ensembles de simulations climatiques du 20ème siècle ont ensuite été réalisés en considérant tout ou partie des forçages radiatifs observés : naturels (NAT : aérosols volcaniques, variation de l'activité solaire), anthropiques (ANT : gaz à effet de serre et aérosols émis par les activités humaines), naturels et anthropiques (ALL). Ces simulations montrent que les variations de l'évapotranspiration reconstruite depuis 1950 présentent des singularités spatiales et temporelles (notamment un accroissement récent aux moyennes et hautes latitudes de l'hémisphère nord) qui ne peuvent s'expliquer sans faire intervenir les forçages anthropiques.
C'est la première fois que les effets des activités humaines sur l'évapotranspiration globale sont ainsi distingués de manière objective des autres sources de variabilité. Ces résultats indiquent par ailleurs que l'évolution à long terme de l'humidité des sols ne peut être comprise sur la seule base des variations de précipitations.

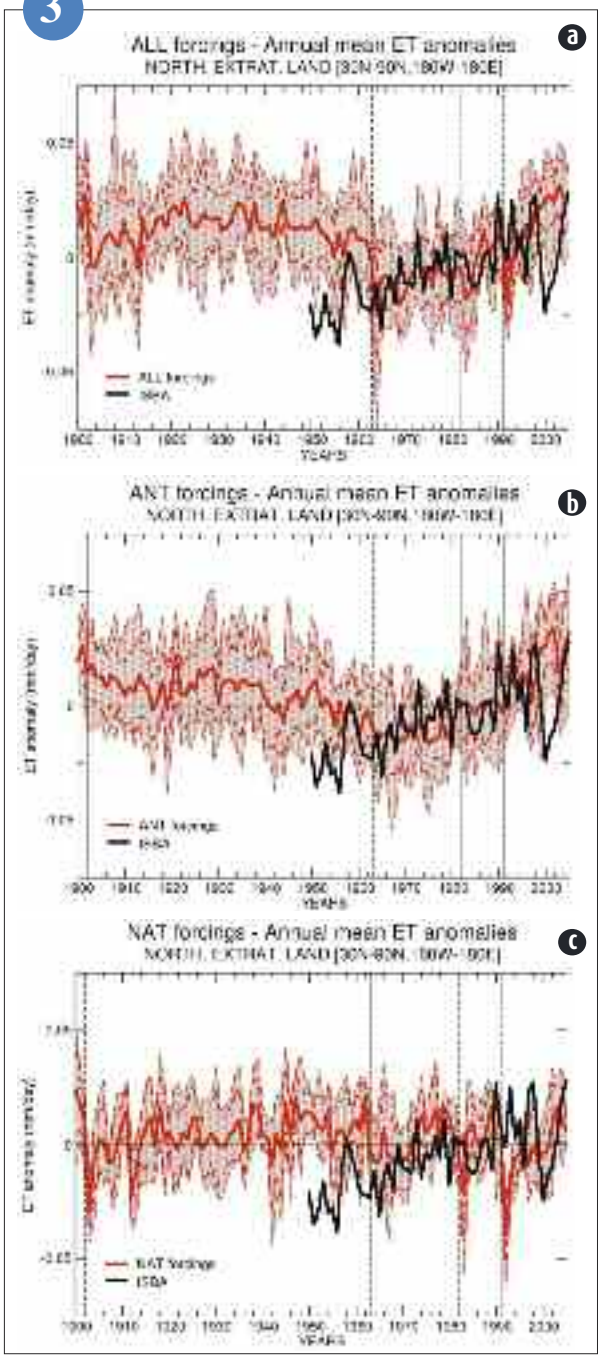
3

1



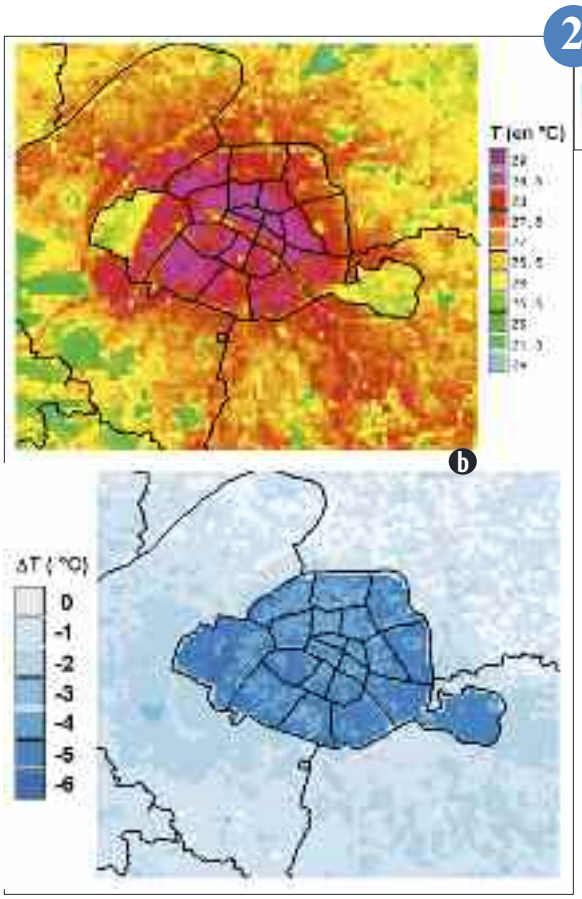
Température estivale (Juin-Juillet-Août) proche de la surface dans une simulation CORDEX-Afrique réalisée au CNRM avec le modèle ALADIN-Climat piloté par le modèle global CNRM-CM5, pour le climat récent et le scénario RCP8.5 : moyenne sur la période 1971-2000 (a) et anomalies par rapport à cette moyenne pour trois périodes différentes (2011-2040, b ; 2041-2070, c ; 2071-2100, d).

3



Evolution en moyenne annuelle sur les continents extratropicaux de l'Hémisphère Nord des anomalies (relativement à la climatologie 1971-2000) d'évapotranspiration reconstruites (en noir) par le modèle hydrologique ISBA piloté par des forçages atmosphériques observés ou simulées (en rouge) par le modèle de climat CNRM-CM5 piloté par des forçages radiatifs observés :
(a) : ALL (tous les forçages,
(b) : ANT (forçages anthropiques seuls),
(c) : NAT (forçages naturels seuls). Le trait épais indique la moyenne d'ensemble des anomalies simulées, les pointillés la moyenne d'ensemble +/- 1 écart-type, l'enveloppe est définie par les anomalies minimale et maximale entre les différents membres de l'ensemble.

2



(a) : Logo du projet.

(b) : en haut, ICU simulé par le modèle sur l'agglomération parisienne : moyenne des températures de l'air à 2 m à 02, 03 et 04 UTC les 5 nuits de la canicule. En bas, diminutions maximales de la température horaire à 2 m (en °C) obtenues à l'aide du scénario urbain combinant l'intégration des matériaux plus réfléchissants, de la végétation arrosée et l'humidification des chaussées.

Impact du changement climatique sur les vagues de froid en Europe

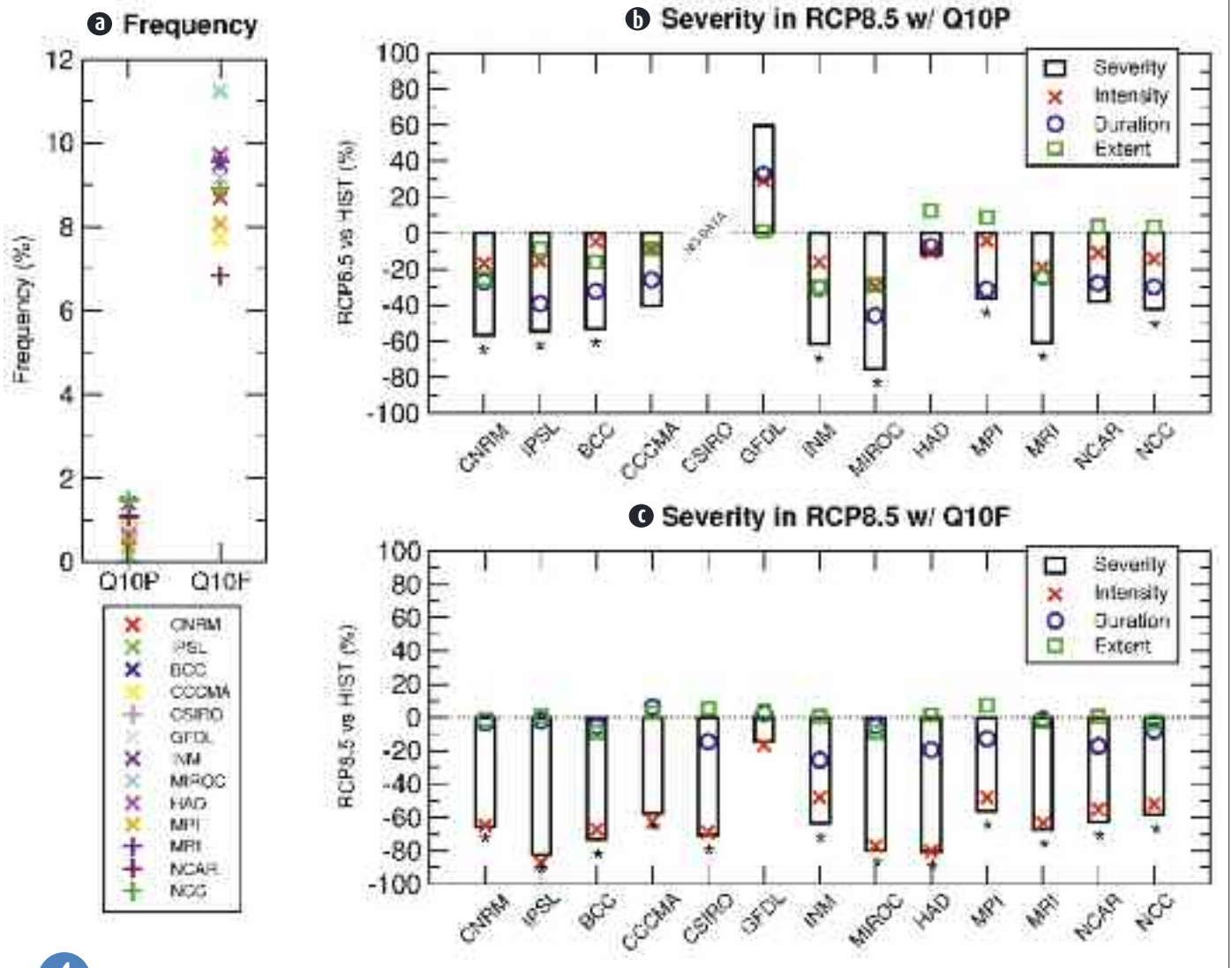
En lien avec une phase négative de l'Oscillation Nord-Atlantique, l'Europe a connu des épisodes particulièrement froids au cours des trois derniers hivers, ce qui a soulevé bon nombre d'interrogations concernant l'avenir de ces vagues de froid dans un contexte de réchauffement global.

Une étude récente menée au CNRM-GAME a analysé les températures minimales quotidiennes (Tmin) simulées par un sous-ensemble de modèles CMIP5. Les biais en climat présent et la réponse en climat futur ont été étudiés sur la base des simulations historiques et des scénarii RCP8.5. Un indice basé sur le percentile 10 (Q10) de la distribution des Tmin, combinant des critères de durée et d'extension spatiale, a été utilisé pour définir une vague de froid sur l'Europe de l'Ouest. Conformément au réchauffement moyen simulé, les vagues de froid définies sur la base du Q10 estimé sur 1979-2008 sont beaucoup moins fréquentes et, à l'exception d'un modèle, moins sévères à la fin du scénario RCP8.5. Lorsque les vagues de froid sont définies sur la base du Q10 estimé sur 2070-2099, tous les modèles simulent une diminution de leur intensité, liée de manière linéaire au réchauffement moyen. Il existe néanmoins une modulation de la réponse d'un modèle à l'autre qui tient en partie aux incertitudes sur la rétroaction radiative de la neige et sur la réponse de la circulation atmosphérique sur l'Atlantique Nord.

Ainsi, bien que certaines projections suggèrent une tendance à la phase négative de l'Oscillation Nord-Atlantique, tous les modèles prévoient une diminution de la fréquence et de la sévérité des vagues de froid sur l'Europe d'ici la fin du 21ème siècle, qui s'explique essentiellement par une translation de la distribution des températures quotidiennes plus ou moins marquée selon le scénario de concentration envisagé.

4

(a) : fréquence des jours de vague de froid en hiver (DJFM) sur l'Europe de l'Ouest en utilisant un seuil Q10 estimé respectivement sur 1979-2008 (Q10P) et 2070-2099 (Q10F) ;
(b) : réponse sur la période 2070-2099 des statistiques des vagues de froid pour le seuil Q10P dans les scenarii RCP8.5, exprimée en terme d'écart relatif (%) à la climatologie 1979-2008. Les étoiles indiquent un niveau de significativité supérieur à 90% (p-value inférieure à 10%) sur la base d'un test de Student ;
(c) identique à b mais pour le seuil Q10F. La sévérité des vagues de froid est diagnostiquée comme le produit de la durée par l'intensité pondéré par l'extension spatiale.

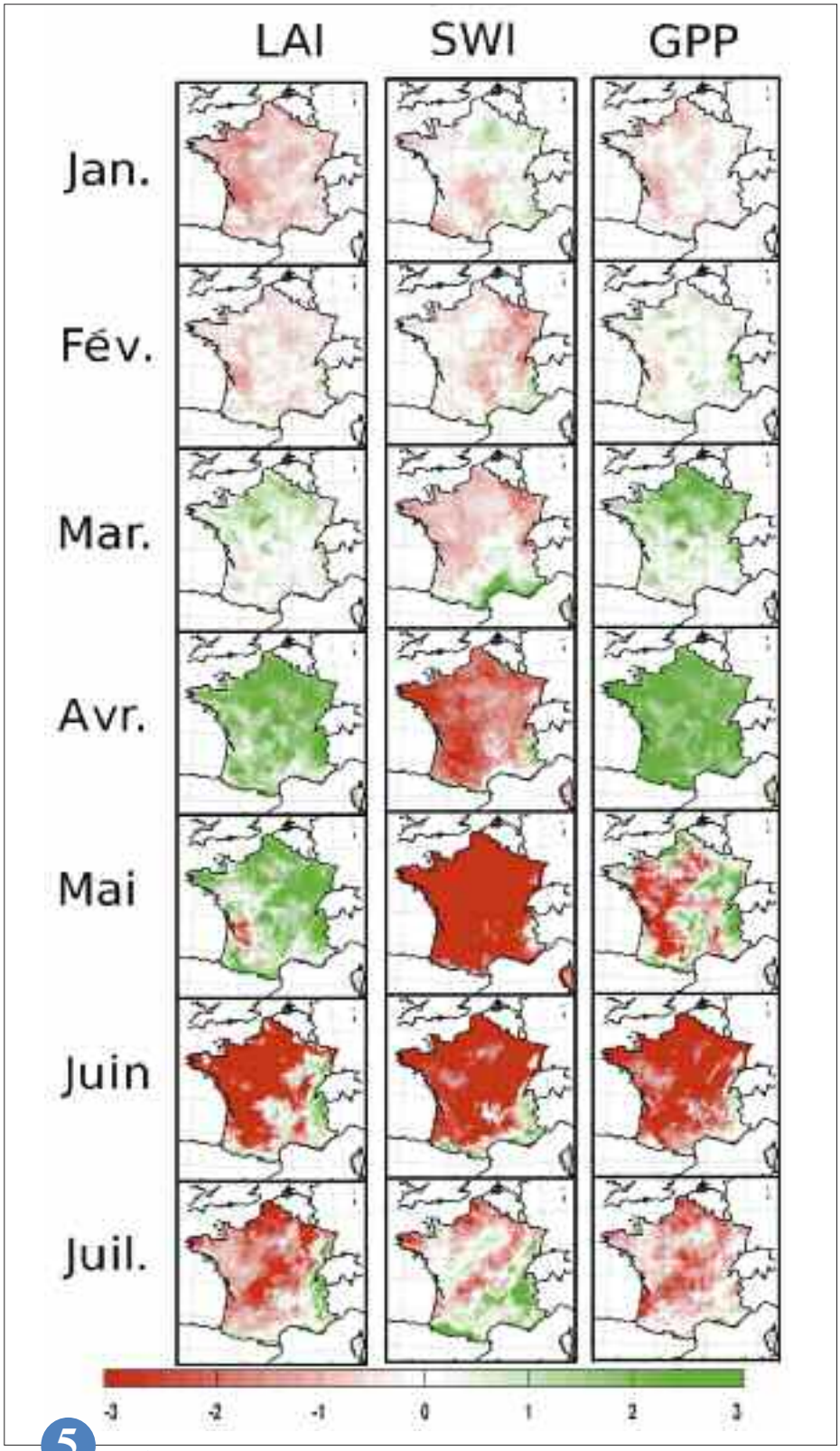


4

Suivi par modélisation et télédétection des sécheresses du domaine euro-méditerranéen

Est-il possible, à partir de simulations de variables biophysiques et de débits des cours d'eau, ainsi que de données issues d'observations satellitaires, de mieux caractériser les épisodes de sécheresses sur la zone Euro-Méditerranéenne ?
Afin de répondre à cette question, des simulations couplées du modèle de surface ISBA-A-gs et du modèle hydrologique TRIP ont été réalisées sur la période 1991-2008. ISBA-A-gs était piloté par les variables atmosphériques de surface issues de la ré-analyse ERA-Interim du CEPMMT. Une climatologie de l'humidité du sol, de l'indice foliaire (LAI) de la végétation et du débit des cours d'eau, a été produite. La qualité des forçages ERA-Interim a été évaluée sur la France grâce aux analyses atmosphériques de Météo-France. L'impact sur le débit des rivières des incertitudes sur les précipitations et sur la représentation de la végétation a été quantifié. Les simulations de l'humidité du sol et du LAI issues du modèle ISBA-A-gs ont été comparées à des données in situ et satellitaires, ainsi qu'au modèle ORCHIDEE de l'IPSL. Les simulations permettent de reproduire la variabilité interannuelle des séries satellitaires. Les variations interannuelles de l'humidité du sol et du LAI sont corrélées entre elles lors de périodes clés, mais sur des zones plus étendues avec le modèle qu'avec les observations satellitaires. L'utilisation conjointe d'ISBA-A-gs avec TRIP améliore la simulation des débits à l'étiage. L'impact sur le LAI d'évènements extrêmes comme la sécheresse de l'été 2003 est observé dans les données satellitaires. Les modèles reproduisent cette anomalie mais ont tendance à la prolonger jusqu'au mois d'octobre alors que les observations montrent au contraire une reprise de la croissance de la végétation.

5



5

Anomalies mensuelles normalisées de LAI de mai à octobre 2003 sur la zone euro-méditerranéenne, simulées par ISBA-A-gs et ORCHIDEE, et observées à partir de données satellitaires (produit GEOLAND2 utilisant SPOT-VGT). Les couleurs chaudes correspondent à une anomalie négative (LAI plus faible que la climatologie 1991-2008).

Caractérisation des nuages observés et simulés dans CMIP5 et de leur impact radiatif sur l'Afrique de l'Ouest

La convection est la source principale de nuages à longue durée de vie sous les tropiques. Leur contribution au bilan énergétique via leur impact radiatif est importante mais mal connue. En analysant les mesures d'un radar (CloudSat) et d'un lidar (CALIPSO), composantes de la constellation spatiale A-Train, les distributions verticale et méridienne de l'occurrence des nuages et leur évolution saisonnière ont pu être établies.

Les observations mettent en évidence la présence attendue de nombreux nuages convectifs amenant des précipitations (cumulonimbus et lignes de grain) ainsi que des nuages de basse couche sur le continent pendant la saison de mousson. Cependant cette région est également caractérisée par ses nombreux cirrus et nuages de moyenne altitude, notamment au-dessus du Sahara. Si la présence de ce type de nuages avait été déduite dans les années 80 des mesures des satellites géostationnaires, les nouveaux capteurs spatiaux disponibles ont permis de caractériser avec une meilleure précision leurs propriétés physiques. Au-dessus de l'océan une couche de Stratocumulus est observée.

Les nuages et les rétroactions associées constituent d'importants régulateurs du climat. C'est pourquoi la représentation des nuages dans les modèles participants à l'exercice d'intercomparaison CFMIP a été évaluée. Il apparaît que la plupart des modèles reproduisent la structure observée de la couverture nuageuse. Le maximum de fraction nuageuse correspondant à la convection est bien « colocalisé » avec la position de la zone de convergence intertropicale. En revanche, aucun modèle n'est en mesure de reproduire quantitativement la couche de nuages à mi niveau observée sur le Sahara, même si certains (CanAM4, IPSL-CM5B-LR, MIROC5) reproduisent qualitativement son occurrence. Les stratocumulus du golfe de Guinée restent un challenge pour la plupart des modèles et même lorsqu'ils sont simulés, ils restent souvent trop confinés dans les basses couches.

Les flux, et en particulier les flux de surface, répondent directement et rapidement à l'occurrence nuageuse, mais également à la stratification des aérosols et des propriétés thermodynamiques de l'atmosphère. Le flux solaire sur cette région est caractérisé par un fort gradient méridien. Les modèles ne sont pas en mesure de reproduire ces fluctuations; et présentent des biais très importants, qui peuvent atteindre plusieurs centaines de W m-2. Sur le Golfe de Guinée ce flux est généralement sous-estimé en réponse à une couche nuageuse pas assez développée verticalement et trop réfléchissante. Sur le Sahara, au contraire, la plupart des modèles surestiment ce rayonnement. Ce dernier résultat est pleinement cohérent avec le déficit de nuages de mi niveau et implique aussi probablement une mauvaise prise en compte des aérosols sur cette région.

Le gradient sud-nord de flux infra-rouge est moins important et la plupart des modèles en ont une représentation raisonnable. Cependant sur le Sahara, l'écart entre modèles et observations croit pour atteindre des valeurs comparables à celles obtenues pour le rayonnement solaire, avec cette fois une sous-estimation du flux incident dans une majorité de modèles. Là encore, le manque de nuages de mi niveau apparaît responsable au moins pour partie de ce biais.

Ces travaux ont donc permis d'identifier et de quantifier des biais dans la représentation des nuages et de leurs rétroactions dans les modèles. Il s'agit maintenant de parfaire les explications avancées via une analyse simultanée :

des jeux d'observations disponibles (sol, satellite ou aéroporté) pour être en mesure de mieux documenter les processus mis en jeu dans le cycle de vie des différents types nuageux et leur impact ;

des simulations numériques de manière à comprendre l'origine des défaillances pour ensuite proposer des améliorations des paramétrisations physiques.

6

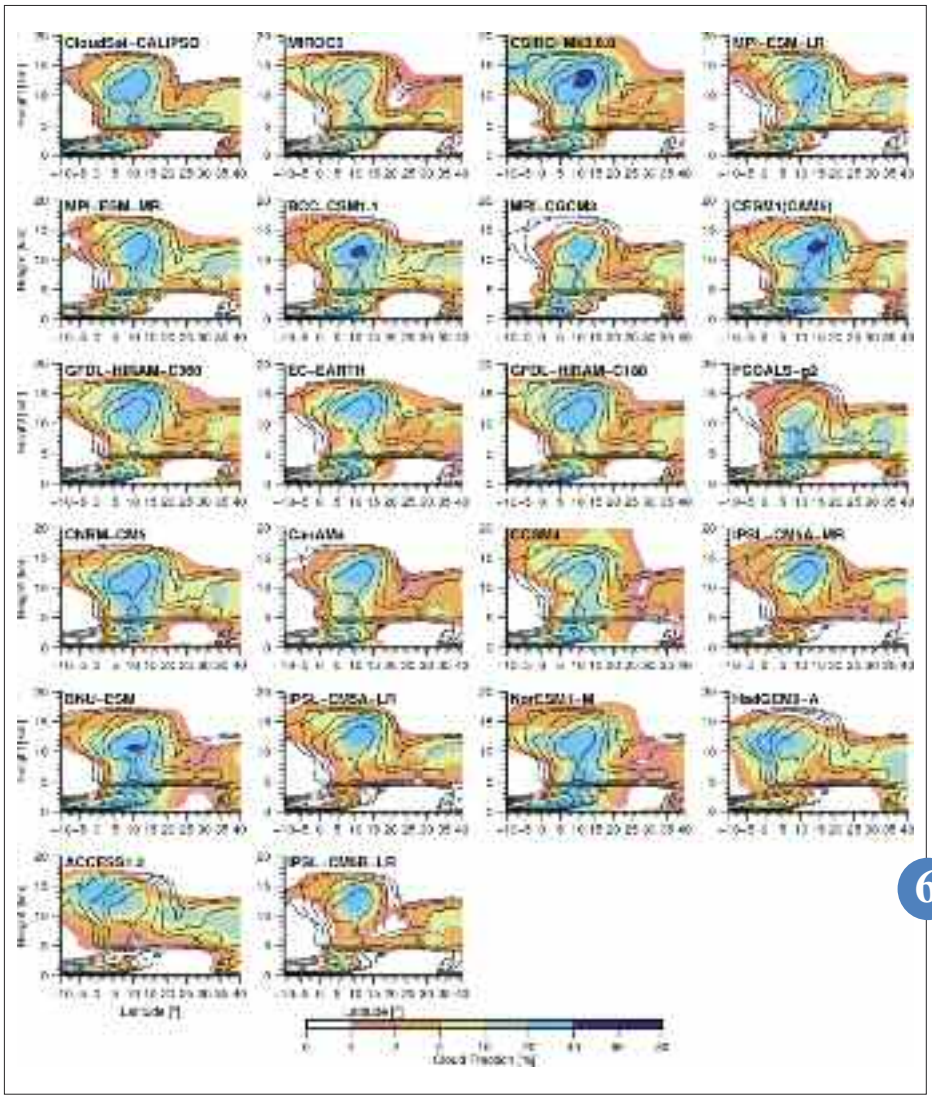
Estimation de la contribution de la calotte glaciaire groenlandaise à la hausse globale du niveau des mers

Pour obtenir une estimation réaliste de la contribution future du Groenland à la hausse globale du niveau des mers à l'horizon 2100, il est possible de négliger la dynamique et la fonte basale de la calotte, et de ne prendre en compte que les changements de bilan de masse en surface.

Afin d'estimer cette contribution, des simulations climatiques réalisées avec CNRM-CM5.1 dans le cadre de CMIP5 ont été utilisées sur la période 1850-2100. Le modèle a une résolution horizontale d'environ 150 km, et deux scénarios RCP4.5 et RCP8.5 ont été envisagés pour 2006-2100. Le bilan de masse a été évalué de deux manières différentes: en reprenant directement les résultats obtenus à partir de CNRM-CM5.1 ou en utilisant le modèle de neige CROCUS forcé par des sorties atmosphériques issues de CNRM-CM5.1. Une technique statistique a été développée pour régionaliser le bilan de masse à 15 km, ce qui est nécessaire pour correctement représenter la fonte de la calotte.

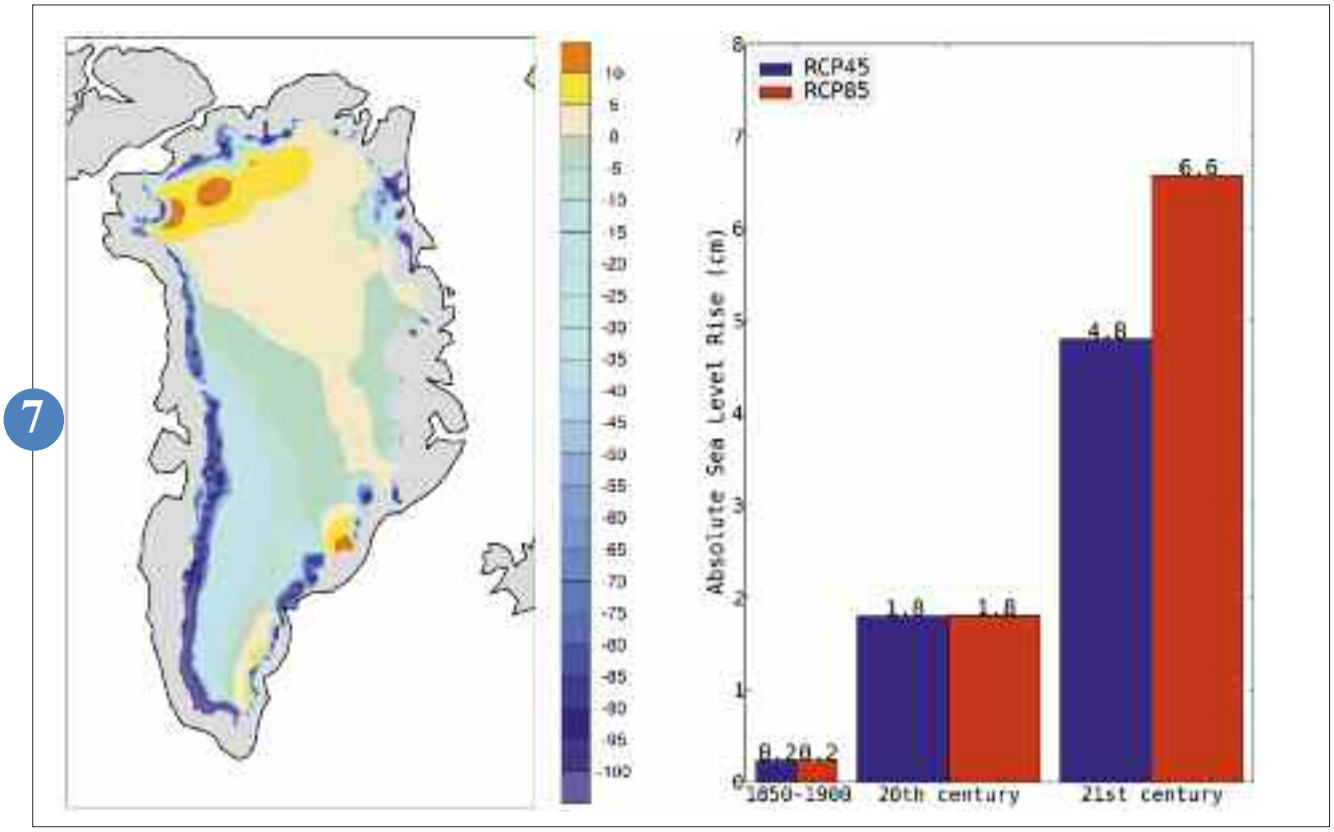
Pour le climat actuel, le taux d'élévation du niveau des mers a été estimé à 0,27 mm / an, ce qui est légèrement inférieur aux observations pour la fin du 20ème siècle. La contribution totale estimée de la fonte du Groenland à l'élévation du niveau marin au 21ème siècle est respectivement de +5 cm (RCP4.5) et +6.5 cm (RCP8.5). Dans le cas du scénario RCP8.5, la fonte devrait s'accélérer très rapidement après le 21ème siècle. Ce phénomène est dû à la fois à l'augmentation rapide de la température, et à la diminution d'altitude générale de la calotte liée à sa fonte.

7



6

Diagramme latitude/altitude de fraction nuageuse moyennée entre 10°W et 10°E pour la période Juillet-Août-Septembre des années 2006 à 2010 pour les observations CloudSat/CALIPSO et 1978 à 2008 pour les modèles dans l'expérience AMIP. Les contours noirs superposés rappellent sur chaque vignette les valeurs obtenues dans les observations.



7

Changement d'épaisseur de la calotte groenlandaise (m) pour la fin du XXIe siècle pour le scénario RCP8.5 (à gauche) ; contribution à l'élévation du niveau des mers pour 1850-1900, le XXe et le XXIe siècle (à droite).

Prévisions saisonnière et climatique

Un nouveau modèle de prévision saisonnière pour le système Eurosip

Depuis 2008, la contribution de Météo-France au consortium de prévision saisonnière Eurosip (incluant le CEPMMT, le Met-Office et le NCEP) se fait à travers le système 3. Ce système se caractérise par le couplage d'ARPEGE-climat v4 avec une résolution horizontale de 320 km au modèle OPA8 du CNRS avec une résolution de 2°.
Dès le début de 2010, le CNRM a préparé une nouvelle version, s'appuyant sur celle utilisée pour les nouveaux scénarios du GIEC : ARPEGE climat v5 à 160 km avec NEMO 1°. Des adaptations spécifiques pour le calcul au CEPMMT ont été faites, et Mercator-Océan a préparé un système d'assimilation océanique spécifique. La grande avancée est le doublement de la résolution horizontale. La contrainte sur les analyses océaniques fait que la période de rétro-prévision commence en 1991, contre 1979 pour le système 3. Mais la taille des ensembles passe de 11 à 15 membres (41 à 51 dans la phase temps réel). Avec une période d'évaluation commune courte (22 ans), il faut se contenter de scores moyens sur de grands domaines. La figure « a » montre les corrélations de température de surface sur 60S-30S (HS), 30S-30N (TR) et 30N-60N (HN). La figure « b » montre la même chose pour les précipitations. On constate partout une amélioration, sauf pour les précipitations en hiver sur les latitudes tempérées Nord.
Le système 4 a basculé en production opérationnelle en août 2012 et se substitue au système 3 dans le multi-modèle à partir de la prévision d'octobre 2012.

8

Prévisibilité saisonnière de la glace de mer de l'Océan Arctique

Le déclin récent de la banquise estivale de l'océan Arctique est un des indicateurs les plus évidents du changement climatique. En septembre 2012, l'étendue de la banquise arctique a atteint un record sur l'ensemble de la période d'observation. Pouvait-on prévoir plusieurs mois à l'avance une telle anomalie d'englacement ?
Afin de répondre à cette question, un ensemble de prévisions saisonnières de la banquise arctique estivale sur la période 1990-2009 a été rejoué avec le modèle couplé CNRM-CM5.1. Au 1er mai de chaque année, un état initial proche de l'état réel du système est fourni au modèle couplé : à cette fin, une reconstruction de l'océan et de la banquise a été réalisée à l'aide de sa composante océanique, NEMO-GELATO. Cette reconstruction permet notamment d'initialiser l'épaisseur de la banquise, grande inconnue des observations satellitaires.
Les scores des prévisions saisonnières de l'étendue englacée en septembre sont significativement élevés. Cela implique que la prévisibilité de l'anomalie de couverture de glace de septembre est liée en partie à l'état initial, notamment à l'anomalie de volume de glace au printemps.
Des prévisions similaires de la couverture de glace de mars, initialisées le 1er novembre, ont été réalisées. Les performances du modèle couplé sont comparables, et suggèrent une prévisibilité de l'extension maximale de la banquise liée à l'état de l'océan durant l'automne dans les zones marginales alors libres de glace.

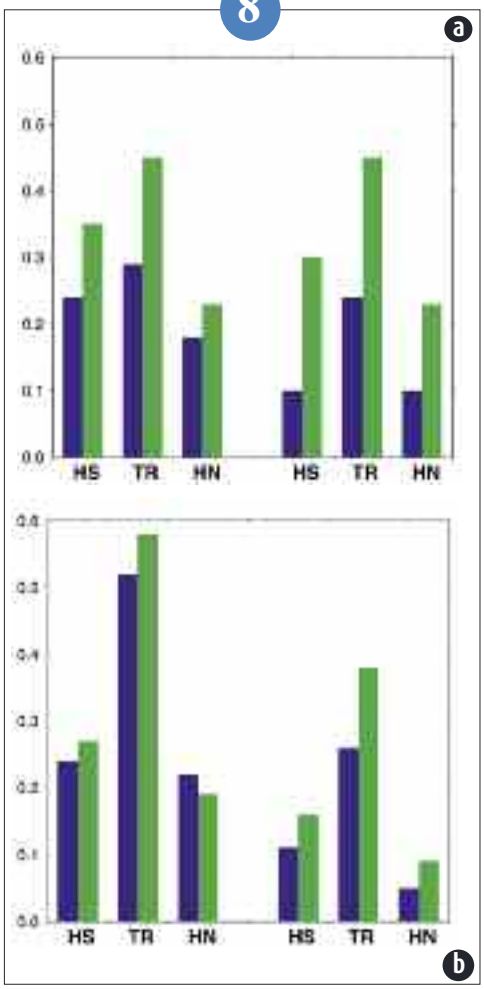
9

Etude de faisabilité d'une prévision saisonnière des ressources en eau sur la métropole

La gestion de la ressource en eau est devenue un enjeu majeur dans certaines régions françaises, particulièrement au cours de la saison estivale, au moment où les besoins de l'agriculture sont importants. Les efforts de Météo-France concernant le suivi de la ressource (en particulier pour les sols superficiels) se sont concrétisés ces dernières années par le développement et la mise en place opérationnelle de la chaîne hydrométéorologique Safran-Isba-Modcou, composée d'un système d'analyse à échelle fine, d'un module de surface, et d'un modèle hydrologique à l'échelle de la France (ce dernier étant développé en coopération avec Mines-Paris Tech).
Les différentes sources de prévisibilité du système hydrologique, ainsi que l'apport de la prévision saisonnière par rapport à une prévision climatologique, ont été évalués sur la saison du printemps. Des scores significatifs ont été observés en aval des zones de montagne ou dans le bassin parisien, l'état initial du manteau neigeux et des principales nappes constituant les principales sources de prévisibilité (l'humidité initiale du sol ne jouant un rôle significatif que dans quelques régions isolées). L'utilisation de prévisions météorologiques saisonnières, permet d'améliorer les résultats dans le nord de la France, que ce soit pour les humidités du sol ou les débits, alors que les résultats sont dégradés dans le sud de la France. L'étude de la saison estivale a montré des résultats cohérents avec la saison du printemps (la prévisibilité liée au manteau neigeux étant dans ce cas limitée aux zones en aval des plus hautes montagnes). Ces études seront poursuivies par des travaux sur les sources d'incertitudes associées aux prévisions météorologiques et leur impact sur la prévision hydrologique, ainsi que par l'étude de cas concrets avec des utilisateurs pilotes.

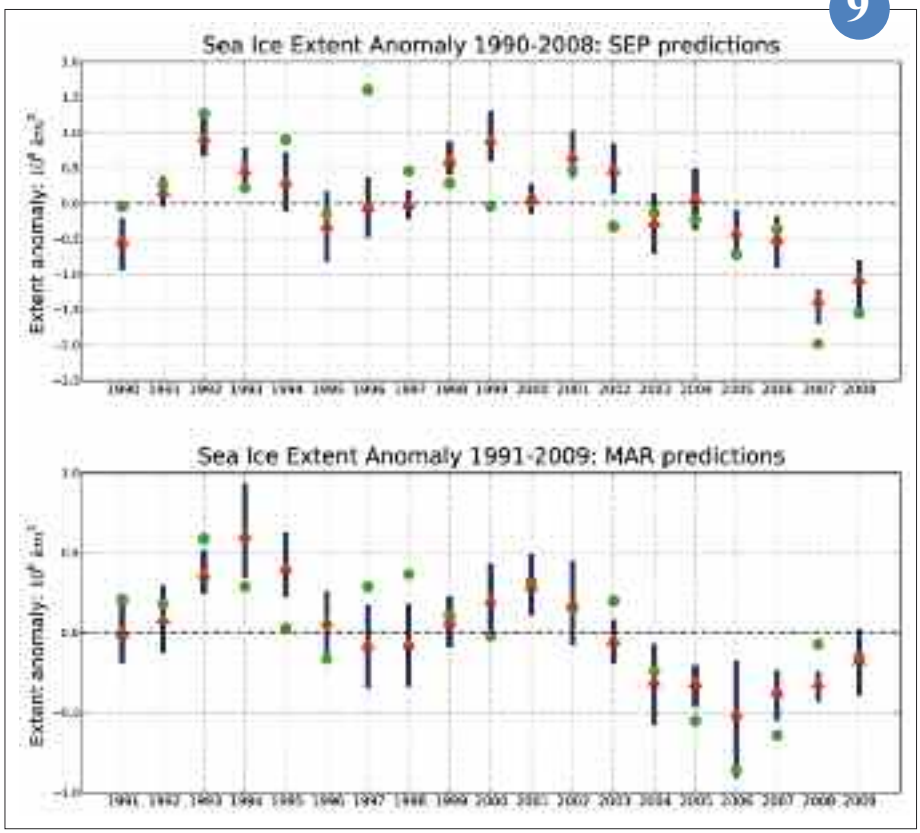
10

8

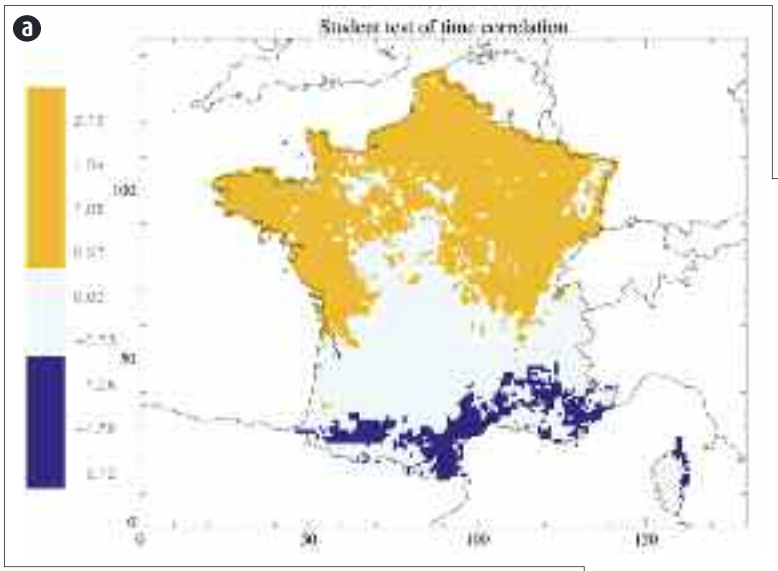


(a) : corrélations sur 3 bandes de latitude 60S-30S, 30S-30N et 30N-60N pour les prévisions de température de surface de DJF (à gauche) et JJA (à droite) ; les prévisions sont issues du 1er novembre (respectivement. mai) de 1993 à 2007 ; système 3 en bleu, système 4 en vert.
(b) : comme Fig. « a » pour les précipitations.

9

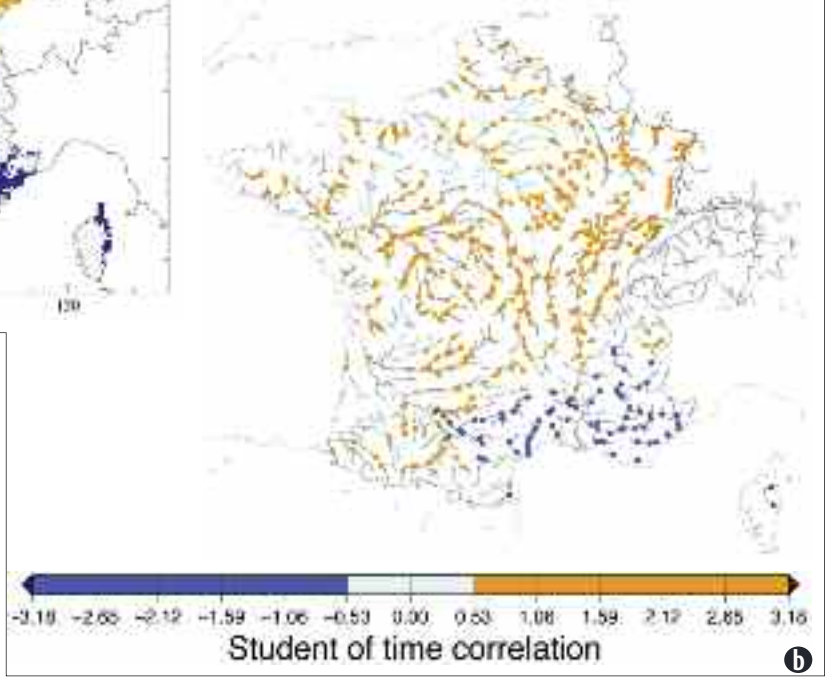


Prévision des anomalies d'étendue de banquise arctique pour septembre (haut) et mars (bas).
Triangles rouges : anomalies d'étendue prévues (barres grises : écart-type des ensembles).
Ronds verts : anomalies observées (NSIDC).



(a) : apport des prévisions météorologiques saisonnières pour la prévision de l'humidité du sol au printemps (mesurée par un test sur les différences des corrélations interannuelles).
En jaune : les scores sont significativement améliorés par l'utilisation de prévisions météorologiques saisonnières.
En bleu foncé : dégradation significative des scores.
(b) : apport des prévisions météorologiques saisonnières pour la prévision des débits au printemps (mesurée par un test sur les différences des corrélations interannuelles). En jaune : les scores sont significativement améliorés par l'utilisation de prévisions météorologiques saisonnières. En bleu foncé : dégradation significative des scores.

10



Chimie, aérosols et qualité de l'air

Dans le domaine de la chimie atmosphérique, l'élément le plus notable est notre première participation à l'exercice international d'intercomparaison ACC-MIP (Atmospheric Chemistry and Climate). Mené avec le modèle MOCAGE incluant l'ensemble de la chimie atmosphérique, cet exercice complète l'exercice CCM-Val réalisé récemment avec le tout nouveau modèle CNRM-CCM. A noter aussi les études d'impact du changement climatique sur la qualité de l'air menées dans le cadre du projet européen IMPACT2C. Aux échelles régionales, deux études ont été réalisées, la première concernant l'impact des aérosols sur le climat méditerranéen, la seconde la simulation du CO2 sur la région parisienne.
Toujours dans le domaine de la qualité de l'air, la campagne de mesures TRAQA, destinée à quantifier les processus de transport et de mélange de polluants dans la basse troposphère méditerranéenne, s'est déroulée au cours de l'été 2012. Sept périodes d'Observations Intensives avec mesures au sol, de ballons et d'avions ont été réalisées et les premières analyses ont été initiées.
L'année 2012 a aussi été marquée par des progrès importants accomplis dans le cadre du projet MACC-II. Cela concerne en particulier la publication du travail réalisé sur la caractérisation des stations représentatives pour la vérification des prévisions d'ensemble de l'ozone, une méthode utilisée quotidiennement. Par ailleurs, les résultats d'une première simulation longue avec le modèle IFS incluant la chimie de MOCAGE, réalisée dans le cadre de ce projet, montre une bonne stabilité du code et une représentation réaliste des variables chimiques.

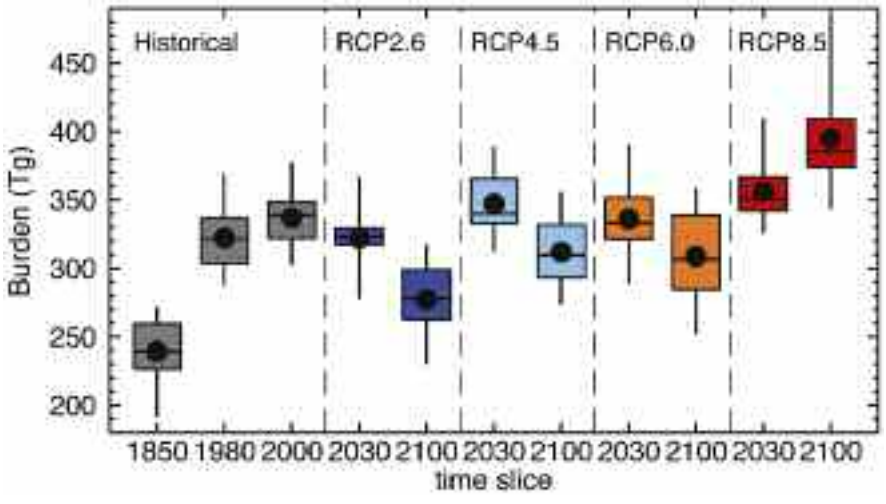
1

L'exercice ACCMIP

Le projet international ACCMIP (Atmospheric Chemistry & Climate Model Intercomparison Project) vise à documenter l'évolution des espèces réactives de l'atmosphère, en complément du projet CMIP5 d'inter-comparaison des modèles de climat, et contribuera ainsi au prochain rapport du GIEC.
ACCMIP regroupe une quinzaine de modèles, dont le modèle MOCAGE de Météo-France. Chaque modèle a fourni des simulations de l'évolution de la composition chimique de l'atmosphère sur des périodes cibles couvrant la période passée et l'avenir, jusqu'en 2100.
La période passée s'étend de l'ère préindustrielle (autour de 1850) à nos jours. L'analyse de cette période consiste à évaluer la cohérence des modèles ainsi que leur dispersion, et à comparer les résultats de l'ensemble aux observations disponibles. Elle permet ainsi d'en déduire d'une part la fiabilité des diagnostics effectués et d'autre part l'impact des activités humaines sur la composition chimique actuelle de l'atmosphère.
Pour les périodes futures, plusieurs scenarii ont été envisagés, en terme d'émissions de polluants et d'évolution climatique, basés sur les « Representative Concentration Pathways » utilisés dans CMIP5, du plus optimiste au plus pessimiste. Il s'agit donc cette fois de donner une estimation des impacts potentiels des éventuelles politiques de réduction des émissions.
Le projet ACCMIP s'étend au delà de la sphère strictement géophysicienne et s'inscrit dans une démarche interdisciplinaire. Ainsi, les travaux d'analyse commencés en 2012 couvrent une large gamme d'applications : depuis le forçage radiatif additionnel dû à une composition chimique modifiée jusqu'à l'étude de l'impact d'une dégradation de la qualité de l'air sur la santé ou la production agricole.

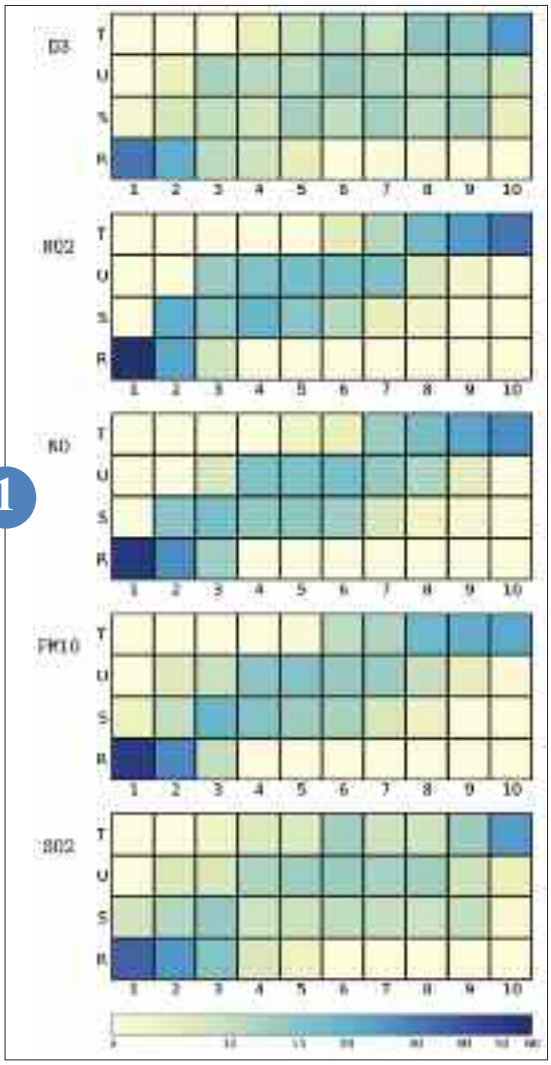
2

2



◀ Quantité d'ozone intégrée sur la troposphère modélisée pour les différents scénarios et périodes cibles (Burden : quantité globale intégrée sur la verticale). La boite, les moustaches, le trait horizontal et le point indiquent respectivement la variation interquartile, la variation totale, la médiane et la moyenne de l'ensemble des modèles. Extrait de Young et al, 2012 : P. J. Young, A. T. Archibald, K. W. Bowman, J.-F. Lamarque, V. Naik, D. S. Stevenson, S. Tilmes, A. Voulgarakis, O. Wild, D. Bergmann, P. Cameron-Smith, I. Cionni, W. J. Collins, S. B. Dalsøren, R. M. Doherty, V. Eyring, G. Faluvegi, L. W. Horowitz, B. Josse, Y. H. Lee, I. A. MacKenzie, T. Nagashima, D. A. Plummer, M. Righi, S. T. Rumbold, R. B. Skeie, D. T. Shindell, S. A. Strode, K. Sudo, S. Szopa, and G. Zeng: Pre-industrial to end 21st century projections of tropospheric ozone from the Atmospheric Chemistry and Climate Model Intercomparison Project (ACCMIP), Atmos. Chem. Phys. Discuss., 12, 21615-21677, 2012, doi:10.5194/acpd-12-21615-2012

A l'échelle de l'Europe, les réseaux de mesure des concentrations des différents polluants atmosphériques sont très hétérogènes. Afin d'évaluer la représentativité spatiale des mesures (plus importante pour un site rural distant des sources d'émissions que pour un site très pollué et perturbé par des sources d'émissions proches), une tentative de classification des sites de mesure a été menée à l'échelle de l'Europe. Pour chaque polluant (pris indépendamment), les sites de mesure ont été classifiés de façon automatique et « objective » à partir de leurs enregistrements passés (Joly et Peuch, 2012). Pour chaque polluant, les classes obtenues (en abscisses : de 1 à 10) sont ici confrontées aux métadonnées « subjectives » qui caractérisent ces sites (en ordonnées : R=rural, S=péri-urbain, U=urbain, T= trafic). L'échelle de couleur indique pour chaque type de site la répartition dans les différentes classes, en pourcentage. Cette classification objective des sites de mesure européens est utilisée dans le cadre du projet MACC pour la validation des modèles, ainsi que pour l'analyse de données in situ.



1

Impact des aérosols sur le climat régional

Les aérosols, caractérisés par une variabilité spatio-temporelle importante, modifient le bilan radiatif et le climat. Des études à l'échelle régionale peuvent permettre de mieux estimer leurs effets.

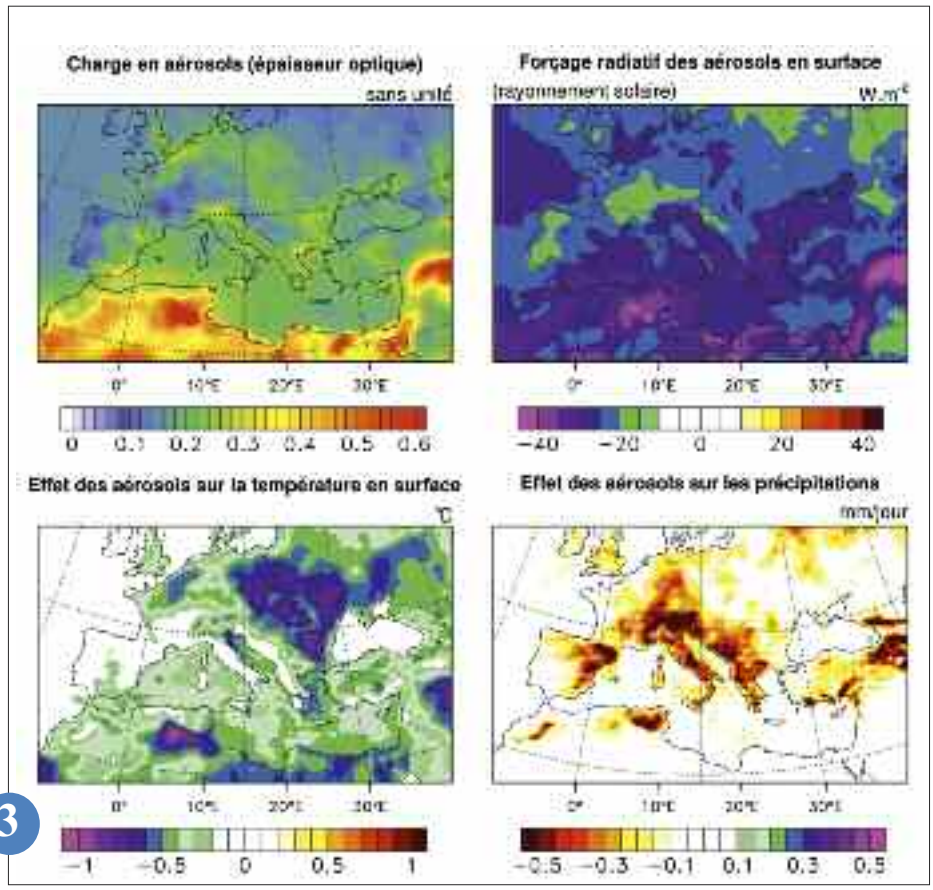
Le bassin méditerranéen est ainsi soumis à de fortes charges en aérosols, provenant de plusieurs sources (poussières désertiques du Sahara, sels marins, pollution industrielle et combustion de biomasse en Europe, feux de forêt, ...). Des simulations ont été menées à l'aide d'un système climatique de modélisation régionale (ALADIN-Climat pour l'atmosphère, NEMOMED8 pour l'océan et TRIP pour les rivières). Ces différents aérosols sont inclus au moyen de climatologies réalistes, issues de mesures satellites et de modèles de chimie. La figure présente les effets moyens obtenus en été (au moment où la charge en aérosols est maximale), en terme de forçage radiatif, de température de surface et de précipitations.

Les aérosols absorbent et diffusent le rayonnement solaire incident, ce qui entraîne non seulement une diminution du rayonnement et de la température en surface (effet direct), mais aussi des modifications de la circulation atmosphérique. Le couplage océan-atmosphère permet de voir la diminution de la température de surface de la mer due aux aérosols, et ses conséquences sur le cycle hydrologique (réduction de l'évaporation et des précipitations).

Cette étude qui rentre dans le cadre du projet ChArMEx, confirme ainsi l'importance des aérosols dans la variabilité du climat méditerranéen, et sera approfondie avec l'incorporation d'un schéma interactif d'aérosols dans ALADIN-Climat.

3

Effet moyen des aérosols en été simulés avec le système climatique régional de modélisation : charge en aérosol (épaisseur optique, en haut à gauche), forçage radiatif des aérosols en surface ($W.m^{-2}$, en haut à droite), effet des aérosols sur la température (°C, en bas à gauche) et sur les précipitations (mm/jour, en bas à droite). Les cartes du bas représentent des différences entre des simulations avec et sans aérosols.



3

Etude par modélisation numérique de la qualité de l'air en Europe dans les climats actuel et futur

Dans les études des impacts de l'évolution du climat sur la qualité de l'air, les modèles de chimie atmosphérique utilisent les conditions météorologiques issues des modèles climatiques globaux ou régionaux. Pour analyser les simulations futures de qualité de l'air, il faut évaluer au préalable et pour le climat présent, la qualité des simulations calculées avec des forçages climatiques.
Trois simulations (6 ans) de la période 2000-2010 ont été comparées ; elles diffèrent par l'utilisation d'analyses météorologiques ou de forçages de modèle de climat en entrée du modèle de Météo-France, MOCAGE. Les changements liés aux champs météorologiques (température, etc...), et ceux liés aux échanges en surface (vitesses de dépôts, émissions biogéniques) qui dépendent également de la météorologie, affectent les distributions horizontales et verticales des polluants. La fiabilité des simulations de qualité de l'air reposant sur ces forçages climatiques a été caractérisée pour le climat présent : des indicateurs (biais moyens, biais moyens normalisés, RMSE, déviations standards) et des index de qualité de l'air (comme le dépassement de seuils) se distinguent comme base fiable pour interpréter les résultats des simulations du futur.
Aux horizons 2030 et 2050, l'évolution des paramètres météorologiques modifie les quantités et la dispersion des polluants dans l'atmosphère ; l'évolution des émissions en Europe et dans le reste du monde joue aussi un rôle important. Face à l'évolution du climat et la hausse des émissions dans certains pays du monde, les effets des politiques Européennes pour réduire les émissions anthropiques sont mitigés selon les régions et les polluants, dépendant de l'influence des phénomènes locaux et du transport de polluant à longue distance.

4

Modélisation simplifiée de la réponse transitoire du climat à une augmentation du dioxyde de carbone

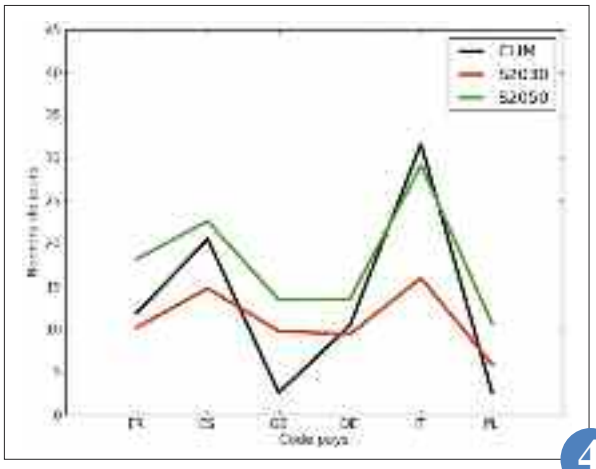
La détermination de la réponse du système climatique à une perturbation externe est un défi majeur dans la science du climat. L'amplitude de cette réponse est le plus souvent évaluée par l'intermédiaire de la réponse de la température moyenne globale. Les modèles de circulation générale couplés océan-atmosphère sont les outils les plus adaptés pour déterminer cette réponse mais ils restent coûteux d'un point de vue numérique. De manière alternative, des modèles simples de climat peuvent être utilisés pour émuler le comportement d'un modèle couplé.
Nous avons montré récemment que la réponse de la température globale présente deux temps caractéristiques, et que cette réponse peut être vue comme le résultat d'un modèle simple à deux couches, l'une représentant l'atmosphère et l'océan superficiel, tandis que l'autre représente l'océan profond. Dans cette étude, nous montrons qu'il est possible de calibrer astucieusement les quelques paramètres (forçage radiatif, rétroaction globale, capacités calorifiques des couches, coefficient d'échange entre les couches) de ce modèle d'équilibre énergétique pour reproduire les réponses de tous les modèles couplés participant à CMIP-5. Le formalisme décrit dans ce travail constitue ainsi une nouvelle méthode d'estimation des paramètres globaux de sensibilité climatique des modèles couplés.
Parmi les avancées attendues, l'usage de ce formalisme peut permettre de répondre à une question fondamentale : estimer la part relative de chacun des paramètres (et des processus qui leur sont associés) dans la dispersion des réponses des modèles climatiques globaux et contribuer ainsi à la mesure de l'incertitude associé aux projections climatiques.

5

Simulation de CO_2 sur la région parisienne

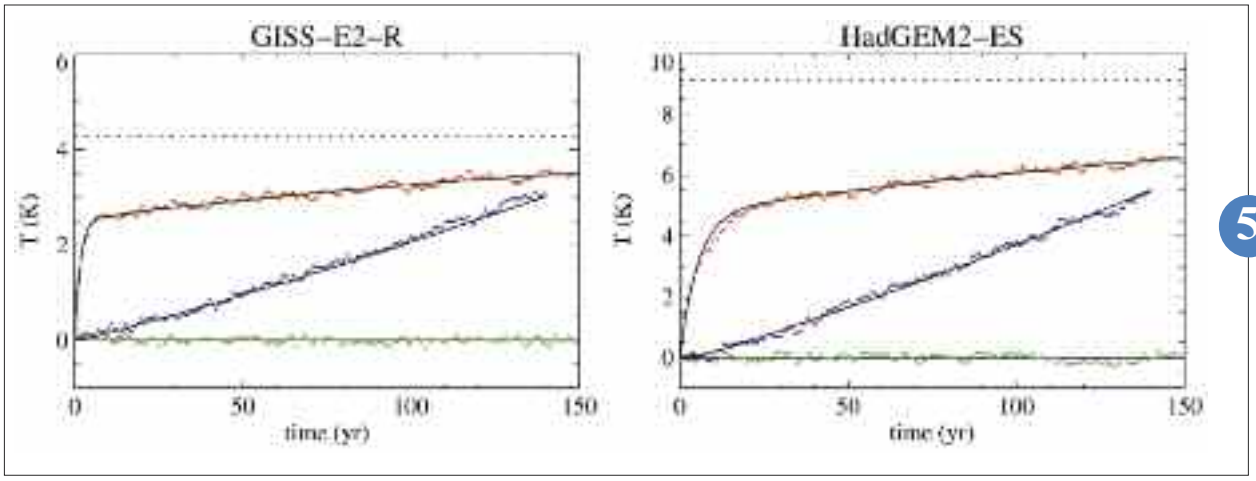
La simulation précise de la variabilité spatio-temporelle de traceurs dans des zones urbaines est essentielle pour pouvoir utiliser des mesures de CO_2 dans un système de modélisation inverse afin d'estimer les flux de CO_2 régionaux.
Le modèle atmosphérique Méso-NH a tourné sur une période de un an sur un domaine englobant l'Ile-de-France à la résolution de 2km, couplé au schéma de canopée urbaine TEB et au schéma de surface ISBA-A-gs. Il a été évalué durant la campagne de mars du projet CO_2-MEGAPARIS, afin d'analyser les impacts des îlots de chaleur urbains et des contrastes ville-campagne sur la dispersion du CO_2. Les hauteurs de mélange sur les sites urbains, péri-urbains et ruraux sont bien reproduites par le modèle, en particulier le début du mélange et la croissance de la couche limite matinale, qui sont essentiels pour les observatoires de CO_2 situés sur des tours (Fig. a).
Ainsi, au sommet de la tour Eiffel, les pics observés de maximum de CO_2 (Fig. b, en noir) se produisent chaque matin exactement à l'instant où la couche limite atteint la hauteur de mesure (310m). Ces pics sont très brefs car la hauteur de mélange augmente rapidement, favorisant le mélange rapide du polluant sur une couche plus épaisse. Les concentrations modélisées (en bleu) montrent un bon accord avec les observations en terme de timing et d'évolution temporelle, signifiant que les hauteurs de mélange atteignent 310m à l'instant observé. En terme d'intensité, les concentrations de CO_2 montrent des biais assez faibles, qui peuvent être liés à la représentation trop grossière des émissions anthropiques, la tour Eiffel se situant au cœur des émissions de trafic. La suppression du schéma urbain (Fig. a, en rouge) induit une sous-estimation des hauteurs de mélange nocturnes.

6



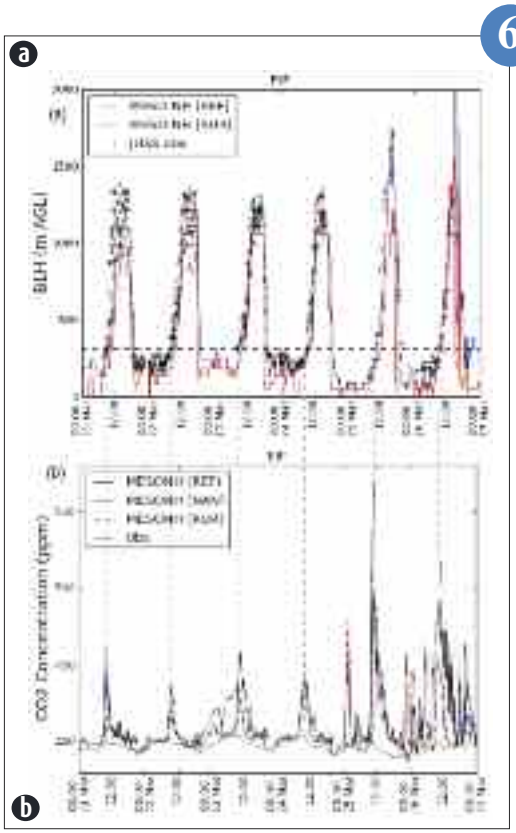
4

Un des indicateurs qui permet d'interpréter les résultats des simulations de qualité de l'air dans le futur est le nombre de jours moyen dépassant le seuil de 120 $g.m^{-3}$ pour le maximum journalier d'ozone de la moyenne glissante sur 8h (Mx8h). Les nombres de jours de dépassement de seuil ont été calculés pour la France (FR), l'Espagne (ES), l'Allemagne (DE), l'Angleterre (GB), l'Italie (IT) et la Pologne (PL), pour la période estivale (Juin, Juillet, Août et Septembre) et pour les simulations CLIM (trait noir), S2030 (trait rouge) et S2050 (trait vert). La simulation CLIM représente le climat actuel (période 2000-2010). Les simulations S2030 et S2050 correspondent aux horizons 2030 et 2050 respectivement.



5

Séries temporelles de la température moyenne globale dans les expériences CMIP-5 de quadruplement instantanée du CO_2 (rouge), d'accroissement de 1% par an du CO_2 (bleu) et de contrôle (vert) pour les modèles du GISS et HadGEM, et de la solution analytique correspondante du modèle simple à deux couches (noir). Pour chaque modèle, les pointillés noirs désignent la sensibilité climatique à l'équilibre en réponse à un quadruplement de dioxyde de carbone.



6

(a) Evolution temporelle des hauteurs de mélange observées à Jussieu (en noir) et prévues à Eiffel (en mètres au dessus du sol) pour les simulations de référence (en bleu) et les simulations sans TEB (en rouge).
(b) Evolution temporelle des concentrations de CO_2 observées (en noir) et prévues (en ppm) au sommet de la Tour Eiffel pour les simulations de référence (en bleu), les simulations sans TEB (en rouge) et les simulations sans émissions anthropiques (en vert). La ligne verticale en pointillé indique l'heure matinale où la hauteur de mélange observée atteint 310m.

Neige

La recherche sur le manteau neigeux et les avalanches s'articule autour de trois axes principaux : interactions neige-atmosphère, télédétection appliquée au manteau neigeux et étude des propriétés physiques du manteau neigeux.
Le premier axe se focalise sur la météorologie de montagne et les interactions neige atmosphère. Les travaux menés cette année ont permis de progresser sur la modélisation à fine échelle du transport de neige par le vent en zone de relief. Plusieurs études ont montré par ailleurs les potentialités du modèle Arome pour alimenter les modèles de prévision du risque d'avalanche.
Concernant la télédétection du manteau neigeux, les travaux menés en 2012 se sont focalisés sur l'exploitation d'images satellite dans le domaine visible et micro-ondes pour accéder à certaines propriétés du manteau neigeux et la comparaison avec des simulations issues de SURFEX/Crocus. On a aussi caractérisé la sensibilité aux précipitations des produits satellite dans le domaine micro-ondes, ce qui ouvre la voie à leur assimilation dans Arome en vue d'améliorer la simulation des précipitations sur les reliefs.
Dans le domaine des propriétés physiques du manteau neigeux, plusieurs avancées significatives ont été réalisées dans l'étude de la neige à micro-échelle, notamment dans l'observation et la détermination de propriétés physiques d'échantillons de neige en trois dimensions comme par exemple la perméabilité. Complétés par les observations à plus grande échelle menées sur différents sites (en particulier au Col de Porte comme illustré par la figure a), ces travaux se traduisent par l'évolution en cours du modèle de neige SURFEX/Crocus via l'introduction de nouvelles variables caractéristiques de la neige et la refonte du schéma optique.

1

Estimation de la perméabilité de la neige à partir de sa microstructure

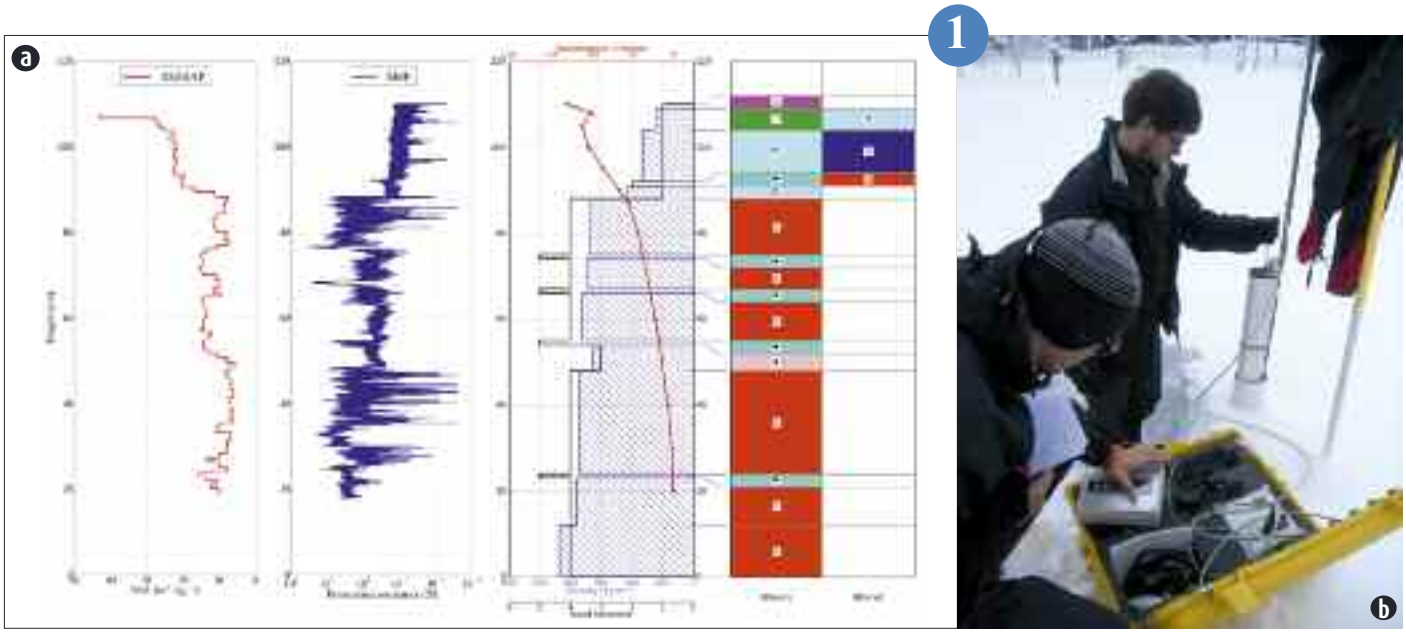
La capacité de l'air à s'écouler dans la neige est représentée par sa perméabilité intrinsèque. Cette variable, qui gouverne les phénomènes de transport au sein du manteau neigeux (mécanisme de « pompage » par le vent, convection de l'air dans les pores...), est particulièrement importante pour l'étude des échanges neige-atmosphère ou des métamorphoses de la neige, par exemple.
Dans ce contexte, le tenseur de perméabilité a été calculé à partir d'images 3D de microstructures de neige obtenues par tomographie aux rayons X (figure a). Les 35 images utilisées couvrent une large gamme de types de neige allant de la neige fraîche aux grains ronds.
Les résultats des calculs montrent que, pour certains échantillons de neige, la perméabilité est anisotrope, c'est à dire que l'intensité de l'écoulement varie significativement en fonction de la direction considérée dans l'échantillon. La figure b illustre ce phénomène en présentant un échantillon de givre de profondeur où la perméabilité est plus élevée selon la direction verticale que la direction horizontale. D'autre part, cette étude indique que la perméabilité est fortement corrélée à la masse volumique et à la surface spécifique (SSA) de la neige, ce qui a permis de proposer une régression reliant ces trois variables. Le fit obtenu, testé avec des données de la littérature et comparé à d'autres paramétrisations déjà existantes, constitue probablement la meilleure relation accessible actuellement pour estimer la perméabilité de la neige à partir de sa SSA et de sa masse volumique, deux variables mesurables sur le terrain.
La régression pourra être utilisée directement, ou intégrée dans des modèles de manteau neigeux de type Crocus afin d'estimer l'évolution du profil de perméabilité au cours du temps.

2

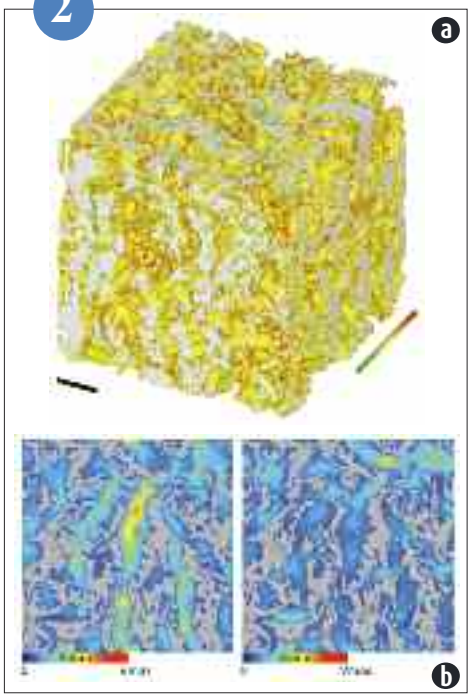
Evaluation des performances de SURFEX/ISBA-Crocus au col de Porte : propriétés globales (hauteur de neige, équivalent en eau) et profils stratigraphiques de masse volumique et surface spécifique

De nombreuses applications scientifiques, incluant la prévision opérationnelle du risque d'avalanche (PRA) assurée par Météo-France, requièrent une description la plus détaillée possible du profil vertical des propriétés physiques de la neige.
Le modèle Crocus décrit les propriétés simulées de la neige en utilisant jusqu'à 50 couches numériques et intègre une représentation des transformations morphologiques des grains (métamorphisme). Il a récemment été intégré comme schéma de neige du modèle de surface continentale ISBA dans l'interface SURFEX.
Le remplacement prévu pour 2013 de la version originelle de Crocus dans le chaîne de simulation numérique de l'enneigement en montagne (SAFRAN – Crocus – MEPRA, SCM) utilisée pour la PRA requiert une évaluation des performances de SURFEX/ISBA-Crocus. Les données acquises lors de la saison 2009-2010 au col de Porte (1325 m altitude, massif de la Chartreuse) ont été utilisées à cet effet.
Le modèle a été évalué favorablement en terme de hauteur de neige (biais et écarts quadratiques moyens de -5.1 cm et 7.6 cm). Les profils de surface spécifique (indicateur des transformations microstructurales de la neige) et de masse volumique simulés sont en bon accord avec les observations, comme le montrent les figures a et b. Des travaux en cours visent à caractériser les performances du système complet SAFRAN – SURFEX/ISBA-Crocus – MEPRA (S2M) en utilisant les données de plus de cent points d'observations dans les Alpes et les Pyrénées.

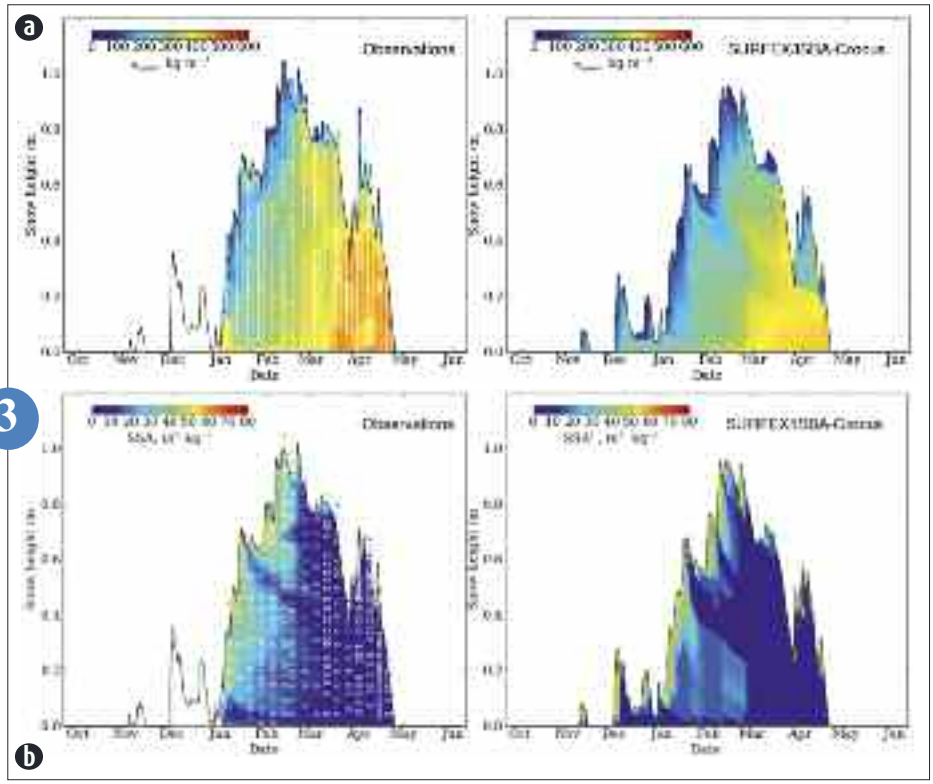
3



(a) : exemple de mesures réalisées au Col de Porte pour la journée du 6 février 2012. A droite figurent les grandeurs observées lors d'un sondage vertical manuel classique du manteau neigeux : température, densité, dureté de la neige, type de grains (ce dernier paramètre est déterminé visuellement par l'observateur). Les deux profils de gauche sont des observations automatiques de surface spécifique (proportionnelle à l'inverse du rayon optique) de la neige (en rouge) et de résistance à l'enfoncement (en bleu) pratiquées au même endroit à l'aide de capteurs dédiés. Ces nouvelles observations, réalisées régulièrement au Col de Porte depuis deux ans, permettent de quantifier des propriétés du manteau neigeux jusqu'alors inaccessibles en routine sur le terrain. Elles ouvrent la voie à une modélisation plus fine des propriétés physiques de la neige.
(b) : mesure du profil vertical de surface spécifique à l'aide du capteur ASSSAP (collaboration GAME-LGGE).



(a) : visualisation tridimensionnelle d'un échantillon de givre de profondeur. L'échelle est indiquée par la barre noire, de longueur 1 mm. Le code couleur représente le degré de courbure de l'interface air-glace : rouge pour les convexités, vert pour les concavités et jaune pour les zones planes. Les tomographies permettant l'obtention des 35 images utilisées pour l'étude ont été réalisées à l'ESRF ou au laboratoire 3S-R.
(b) : coupes verticales de l'image 3D représentée en figure a. La glace est en gris. L'échelle de couleur correspond à la vitesse du fluide dans les pores calculée pour un gradient de pression de $2x10^{-2}$ Pa selon la direction verticale (à gauche) et horizontale (à droite) et pour une viscosité dynamique de l'air de $1,8x10^{-5}$ Pa s^{-1}. La barre de couleur représente 3 mm. On voit que l'écoulement, contraint par la microstructure allongée verticalement, caractéristique de ce type de neige, est plus important selon la verticale que l'horizontale.



(a) : comparaison de l'évolution temporelle des profils verticaux de masse volumique observés (à gauche) et simulés par SURFEX/ISBA-Crocus (à droite) au site du col de Porte pendant la saison 2009 – 2010.
(b) : comparaison de l'évolution temporelle des profils verticaux de surface spécifique observés (à gauche) et simulés par SURFEX/ISBA-Crocus (à droite) au site du col de Porte pendant la saison 2009 – 2010.

Suivi des propriétés du manteau neigeux par télédétection spatiale micro-onde

Faiblement sensible aux nuages, le rayonnement électromagnétique micro-onde, a la capacité de pénétrer à l'intérieur du manteau neigeux dans la quasi-totalité des conditions météorologiques. Les observations spatiales micro-ondes (avec une résolution au sol de quelques dizaines de km) sont ainsi représentatives de différentes propriétés internes du manteau neigeux, globalement comme pour l'équivalent en eau (Snow Water Equivalent ou SWE) ou à échelle plus fine, comme pour sa structure granulaire qui va induire atténuation et diffusion selon la taille et la distribution des grains.
Restituer les propriétés du manteau neigeux par radiométrie micro-ondes constitue donc un défi scientifique au regard de la complexité de ce milieu. Nous étudions la signature de la neige sur une large gamme d'observations de télédétection spatiale (AMSU-A, AMSU-B, SSM/I et SSMI/S). Ces observations sont étudiées sur des étendues homogènes conjointement avec des simulations du modèle de neige CROCUS couplé au modèle de sol ISBA-DF, forcées par ERA-interim (avec une résolution horizontale ~80 km) et précédemment évaluées. Nous montrons qu'une information pertinente sur le SWE de la neige peut être extraite à partir de combinaisons d'observations micro-ondes. La figure jointe montre pour le 1er décembre 2009 (a) les différences en émissivités de surface de l'instrument AMSU-A, ce qui permet d'enlever la contribution de l'atmosphère au signal radiométrique, (b) le gradient en Température de brillance entre 19 et 31 GHz de SSM/I ainsi que les séries temporelles de ces mêmes grandeurs versus le SWE simulé par CROCUS à proximité d'une station synoptique pour de la neige sèche. L'examen de ces restitutions montre une très bonne corrélation entre les simulations de SWE, en sortie de CROCUS, et les restitutions micro-ondes. Il est à noter que le modèle CROCUS n'assimile aucune donnée de hauteur de neige disponible à ces stations. D'autres comparaisons ont eu lieu avec des observations VIS/IR et des analyses de SWE de GlobSnow mettant en évidence l'apport des micro-ondes. Ces travaux constituent un pas vers l'assimilation de ces observations dans le modèle de neige.

4

Utilisation des données de l'imageur MODIS pour l'étude des propriétés de surface du manteau neigeux

L'imageur MODIS est embarqué sur les satellites Terra et Aqua depuis 2000. Ces satellites permettent, sous nos latitudes, une couverture journalière avec un décalage de quelques heures entre le passage de chacun des satellites. Parmi les bandes spectrales de MODIS, les deux bandes visibles (250 m de résolution) et cinq bandes visibles et proche-infrarouge (500 m) sont particulièrement utiles à l'étude du manteau neigeux.
En effet, ces bandes sont sensibles à différentes propriétés du manteau neigeux. Dans le visible, ces mesures de réflectance permettent d'accéder au contenu en impuretés de la neige tandis que dans le proche infrarouge, ces données sont principalement sensibles à la taille des grains ou au rayon optique de surface.
A l'aide d'un traitement adapté aux zones de montagne (e.g. corrections atmosphériques prenant en compte le relief), les données MODIS nous permettent donc d'accéder à l'albédo du manteau neigeux, c'est-à-dire à la quantité de rayonnement solaire réfléchi par la neige, à la taille de grains en surface (cf. figure) et au contenu en impuretés. Ces données sont d'une part un outil essentiel pour la validation de la modélisation distribuée du manteau neigeux. D'autre part, les simulations du manteau neigeux en mode recherche comme opérationnel n'intègrent actuellement aucune observation nivologique. L'erreur sur le manteau neigeux simulé s'accumule donc au cours de la saison hivernale. Les observations MODIS sont à même d'être assimilées dans le manteau neigeux pour modifier, de manière adéquate, les variables du manteau neigeux comme la taille des grains et le contenu en impuretés afin de se rapprocher des observations.

5

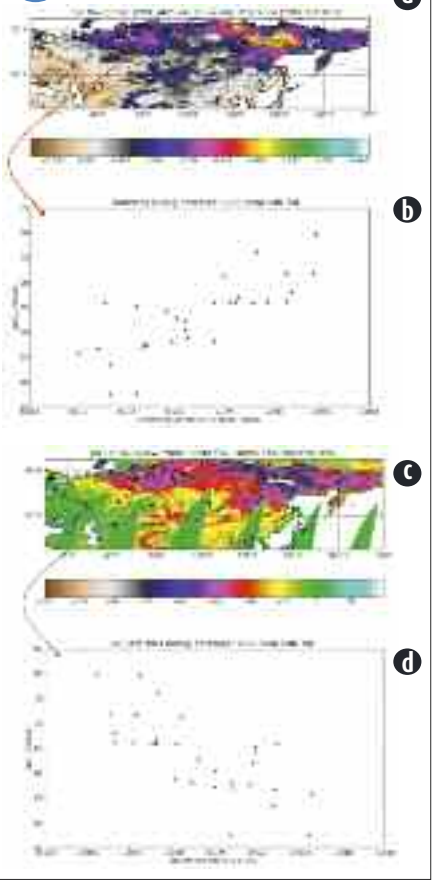
Impact de la végétation sur l'albédo de la neige des écosystèmes subarctiques pendant SNORTEX

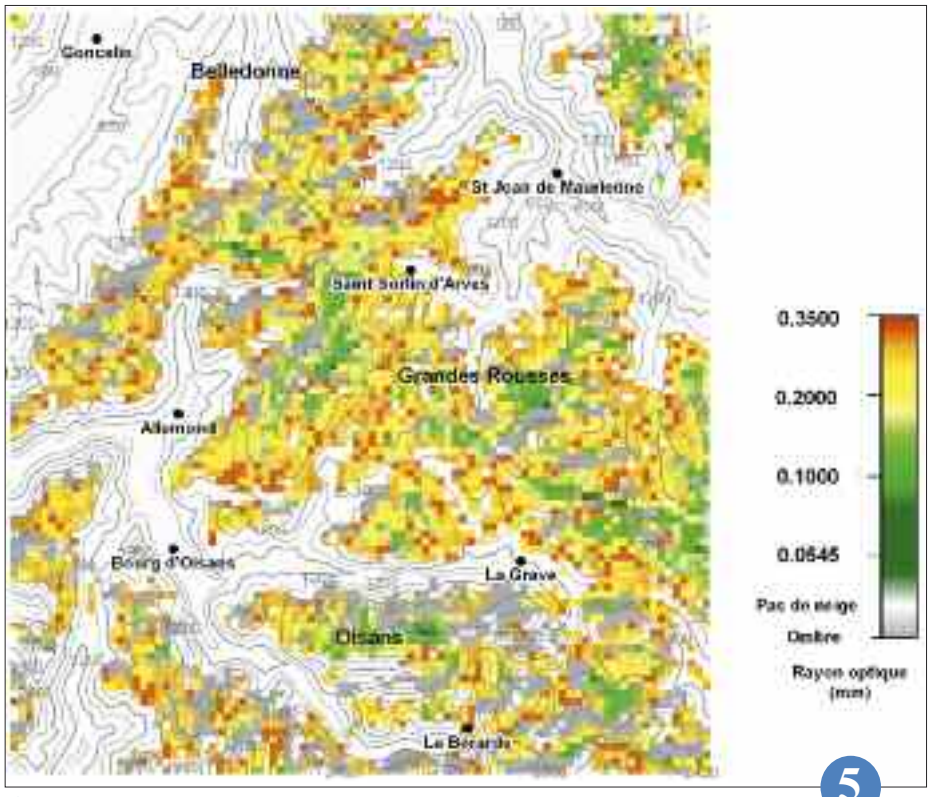
SNORTEX (Snow Reflectance Transition Experiment) vise à caractériser la fonte de la neige à l'échelle du paysage à partir d'une stratégie multi-échelle de la télédétection multi-angulaire et multi-spectrale. L'expérience s'est déroulée dans une région plane de 100 km^2 de la Laponie finlandaise faite de taïga Européenne pendant 3 ans (2008, 2009, 2010). Mesurer la Fonction de Distribution de la Réflectance Bi-directionnelle (FDRB) et l'albédo ainsi que les propriétés-clé (taille des grains, rugosité, et impureté) est au cœur de l'investigation.
L'étude de la fonte en écosystème boréal depuis le sol jusqu'à la validation de données de télédétection a mobilisé divers moyens d'observation (sol, aéroporté, satellite) et des efforts de modélisation. Le CNRM a géré le projet en partenariat avec le Finnish Meteorological Institute, et a aussi fait voler le capteur OSIRIS (air-POLDER) pour obtenir des mesures métriques depuis un hélicoptère de la réflectance directionnelle et polarisée visible et solaire.
Les conifères occupent un tiers de la zone et créent des ombres importantes. La FDRB OSIRIS a mis en évidence la diffusion avant de la lumière due à la neige sous forêt. L'alternance entre bandes fines herbacées et fossés de neige caractérise la tourbière. Pour cette unité majeure du paysage, la FDRB OSIRIS montre par contraste avec la forêt une rétro-diffusion de lumière. La fonte est précoce pour la tourbière, tel fut le cas en 2009 avec de l'eau liquide persistante sous la neige hivernale. L'albédo de neige de la FDRB infrarouge est proche de 0.4 en forêt et de 0.6 pour la tourbière à mi-mars, avec un déclin ensuite rapide pour celle-ci. L'occupation des sols est donc cruciale pour mesurer l'albédo saisonnier et la métamorphose régionale de la neige.

6

(a) : différence en émissivité (AMSU-A, 23GHz -31 GHz) ;
(b) : gradient de températures de brillance SSM/I pour le 1er décembre 2009 ;
(c, d) : séries journalières de ces mêmes grandeurs près d'une station synoptique pendant le mois de décembre 2009 en fonction de l'équivalent en eau de la neige simulé par CROCUS.

4



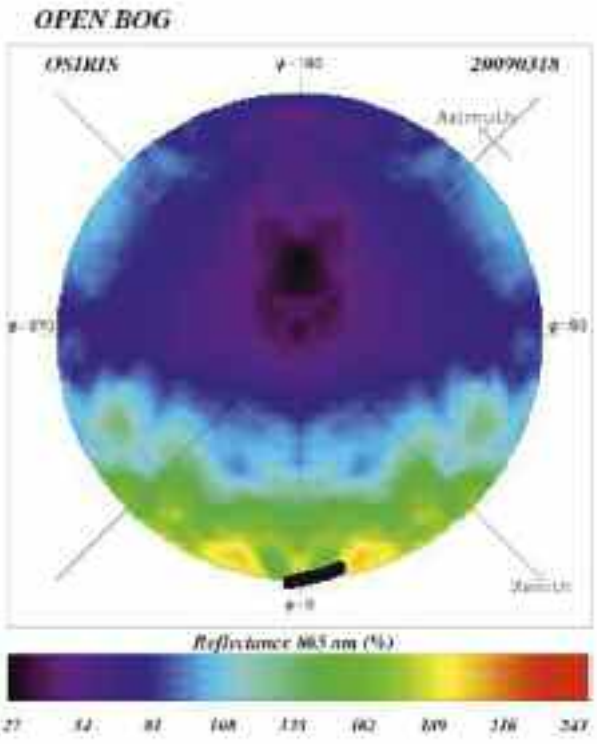


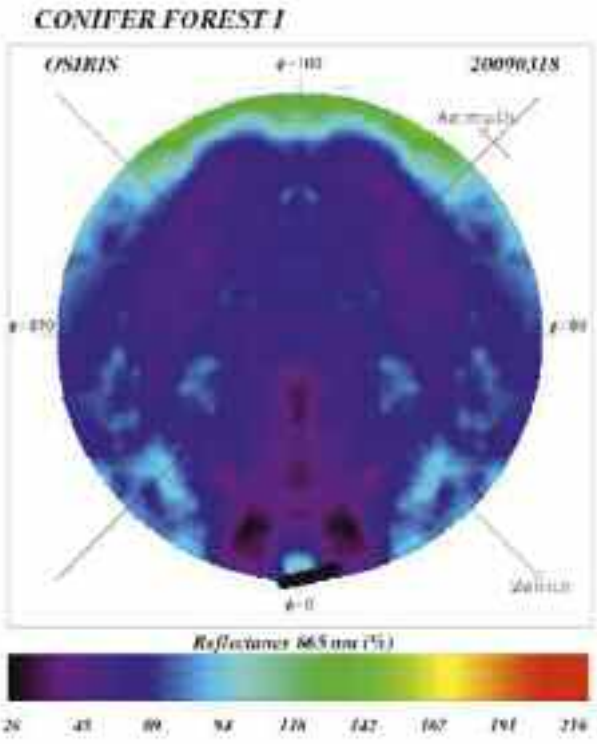
5

Rayon optique des grains de neige de surface estimé sur une partie des Alpes à partir des données MODIS le 21 mars 2009 à 10:40 UTC.

Facteur d'anisotropie de la réflectance infrarouge pour la tourbière (à gauche) et les conifères (à droite) à partir d'environ 1 million d'échantillons OSIRIS à la mi-mars 2009. Les points noirs représentent la position angulaire solaire durant les vols, ce qui indique les zones de diffusion avant et arrière.

6





Océanographie

Les activités de recherche sur les interactions océan-atmosphère et les activités d'observation en mer pour les besoins de Météo France et de la communauté scientifique ont été poursuivies en 2012 au CMM.
Les activités de recherche concernent l'influence de l'océan sur la couche limite atmosphérique (en particulier l'influence des états de mer sur les flux turbulents) et l'amélioration de la paramétrisation de ces flux turbulents dans les modèles de prévision numérique du temps (PNT). Une partie des activités de recherche est dédiée à l'amélioration de l'observation en mer pour la météorologie, via le développement instrumental ou logiciel, et la participation à des programmes scientifiques nationaux ou internationaux. Les observations en mer (bouées dérivantes ou ancrées, navires) sont menées soit pour les besoins opérationnels de Météo France ou EUMETNET (service opérationnel E-SURFMAR), soit comme contribution à l'océanographie côtière opérationnelle, soit pour des objectifs scientifiques (soutien à la recherche). Dans ce cadre, aussi, Météo-France apporte son soutien au maintien du réseau de bouées ancrées PIRATA dans l'Océan Atlantique tropical.
Cette année 2012 a été marquée par la préparation, puis la participation au projet HyMeX avec le renforcement des observations sur les bouées ancrées de Méditerranée et le déploiement de bouées dérivantes instrumentées. Cela fait également dix ans que le CMM dirige le programme E-SURFMAR qui a vu notamment l'intégration des bouées dérivantes européennes. Le réseau de bouées dérivantes ESURFMAR est actuellement de plus de 100 bouées en fonctionnement sur l'Atlantique Nord.

1

Apport des systèmes opérationnels de prévisions océanographiques à la prévision de la dérive océanique

Depuis 2007, le modèle de dérive d'objets et d'hydrocarbures en mer MOTHY opéré par Météo France utilise en donnée d'entrée supplémentaire les courants prévus par les systèmes d'océanographie opérationnelle tels que Mercator-Océan. Cela permet d'intégrer à la prévision les courants de grande échelle et les tourbillons océaniques qui ne sont pas modélisés par MOTHY.
Le but de cette nouvelle étude vise à mieux comprendre et à déterminer les processus océaniques les plus importants pour contraindre une dérive à partir d'observations de trajectoires de bouées dérivantes et de modèles numériques qui tentent de les reproduire (le modèle océanique de circulation générale NEMO combiné à un outil de transport Lagrangien et le modèle MOTHY). Les échelles de prévisions ciblées sont de l'ordre de trois jours car les plus utiles pour l'opérationnel. Les données d'études sont issues d'exercices de lâcher de bouées flottantes, localisées par satellite, qui ont été réalisés en Côte d'Azur (Méditerranée Occidentale) et près de l'embouchure du fleuve Congo (Angola). Elles fournissent des cas-tests précis et relatifs à différents régimes de dérive particuliers.
Certaines trajectoires de l'expérience Méditerranée ont par exemple été influencées lors de leur passage au niveau du Golfe du Lion par le Mistral et entraînées vers le large. Dans cette situation, les prévisions à partir des courants surface prévus par NEMO seuls sont insatisfaisantes et il a été montré que les processus clés pour ce cas proviennent de terme de transport additionnels induits par les vagues et l'entraînement direct par le vent. L'ajout de ces contributions au courant de surface de NEMO permet d'améliorer les scores de prévisions moyens de 41 % (cf. figure). Ces processus sont paramétrés dans le calcul du courant de MOTHY qui fournit des résultats similaires lorsque les courants de NEMO y sont rajoutés.
Il est également mis l'accent sur l'importance de processus très côtiers qui ne sont pas pris en compte dans MOTHY, comme par exemple le rôle des panaches fluviaux sur les vitesses de surface. Des modifications du champ de vitesse sont induites au large par la diffusion de l'eau douce rejetée, mais aussi directement par l'écoulement des rivières près de l'embouchure. Ne pas alimenter le panache dans les prévisions en Angola conduit à augmenter l'erreur d'une partie des simulations de dérive de 44 %. Enfin pour les trajectoires piégées par les courants côtiers, la résolution horizontale des modèles joue un rôle clé dans le positionnement des structures dynamiques composant le courant d'Angola et le courant Liguro-Provençal, bien que des recirculations additionnelles et irréalistes puissent aussi être introduites à très petite échelle par l'augmentation de la résolution.
Cette étude suggère que la prise en compte des interactions à haute fréquence du continuum atmosphère-océan-vague est importante pour calculer la dérive océanique, ce qui pousse à orienter les travaux futurs vers des systèmes couplés proposant des solutions complètes pour les applications de dérive. La prise en compte de processus locaux tels que le panache du Congo est également cruciale pour l'expertise des dérives.

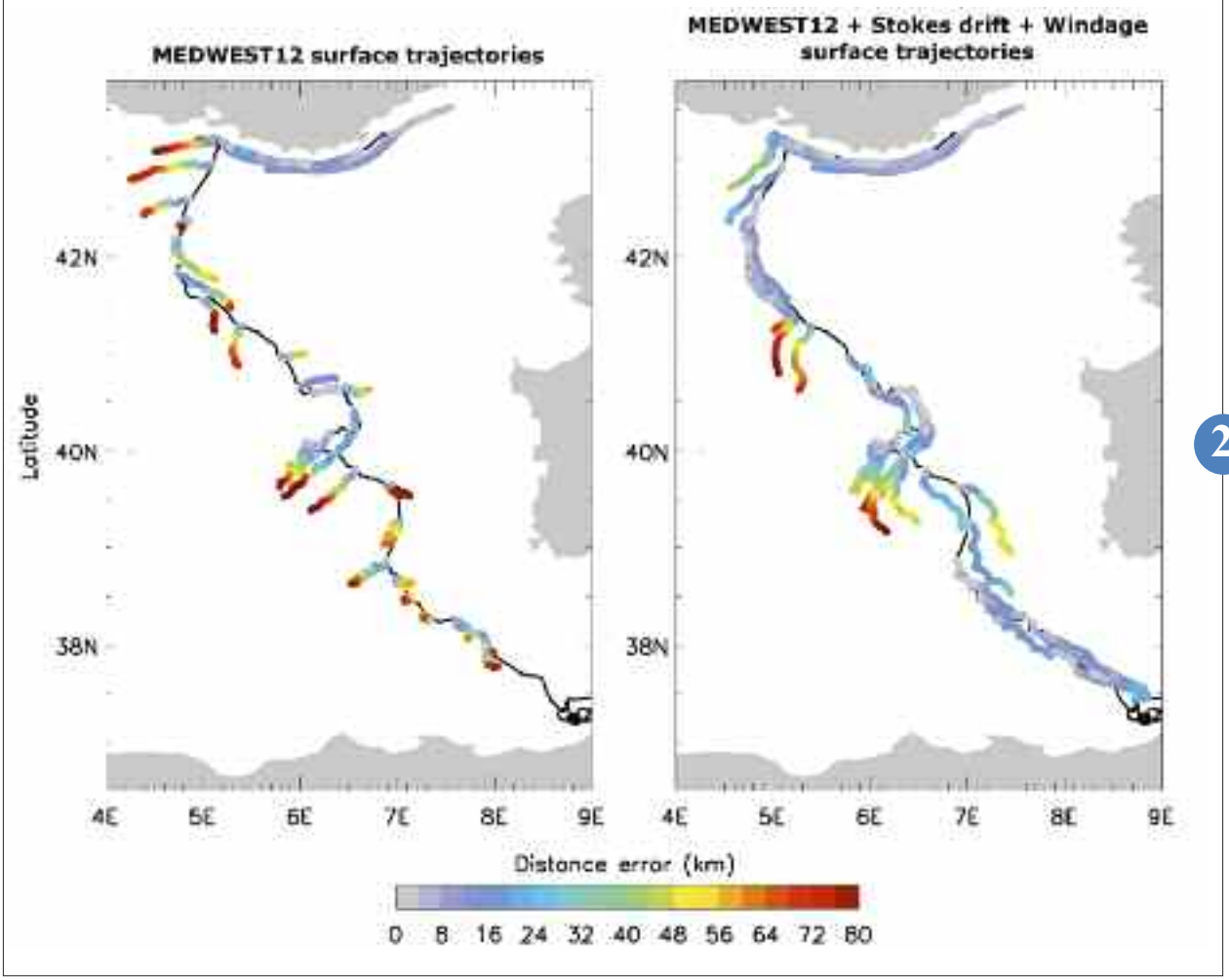
2

1

(a) : mise à l'eau d'une bouée dérivante mesurant la salinité pour HyMeX.
(b) : déploiement d'une bouée dérivante Marisonde pour HyMeX.

Trajectoires moyennes calculées tous les jours et sur trois jours à partir des courants de surface de la configuration régionale Méditerranée 1/12° pour une bouée observée (trajectoire noire). Les simulations de dérive calculées sont coloriées pour indiquer l'erreur de distance à l'observation, de 0 km (gris) à 80 km (rouge). Prise en compte de la dérive de Stokes (modélisation du modèle de vague Wave Watch 3) et d'un entrainement par le vent (1% du vent à 10 m) sur la figure de droite, absence de prise en compte à gauche.

2

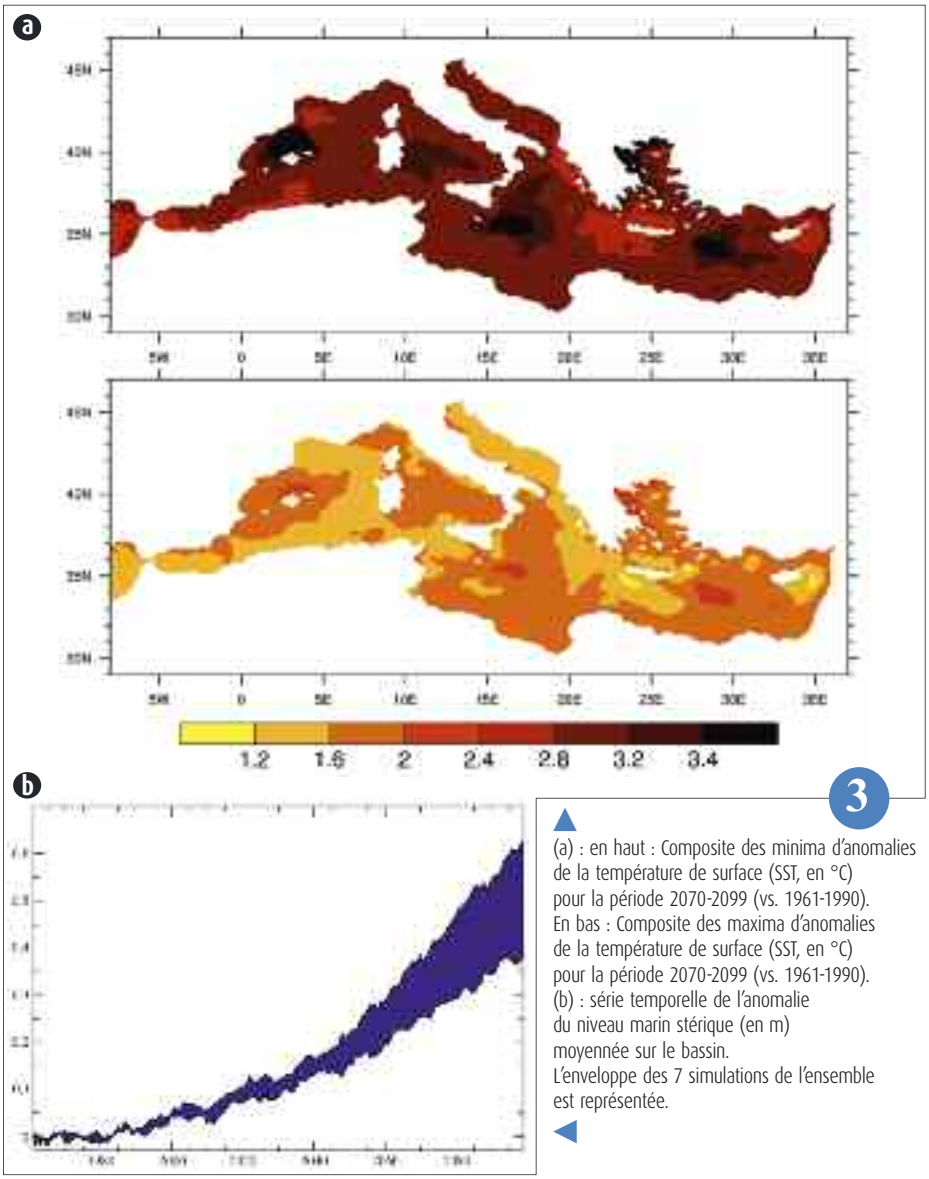


Modélisation haute résolution de la mer Méditerranée

Tel un océan miniature, la Méditerranée est une zone appropriée pour étudier l'impact du changement climatique sur l'océan. Le temps de résidence de ses eaux étant plus faible que celui de l'océan global, une réponse rapide du système face aux changements est attendue dans cette région particulièrement vulnérable au changement climatique.

Les modèles climatiques globaux n'ayant pas la résolution requise pour bien représenter la circulation complexe et les masses d'eau de la Méditerranée, un modèle régional haute résolution est nécessaire. Dans cette optique, une configuration régionale Méditerranée du modèle océanique NEMO au 1/8° (NEMO-MED8, développé au CNRM) est utilisée pour évaluer le changement climatique local. Un ensemble de 7 simulations couvrant la période 2001-2099 permet d'estimer la sensibilité de la réponse océanique aux choix du scénario et des forçages aux bords (Atlantique, rivière et atmosphère). Ces simulations s'accordent sur un réchauffement de la température de surface pour la fin du 21ème siècle, avec une incertitude pouvant atteindre 2°C (fig. a), liée au choix du scénario. Les conditions aux bords influent plus particulièrement sur la circulation des masses d'eau, changeant la redistribution verticale du réchauffement de surface dans la colonne d'eau. Cette distribution verticale de l'anomalie de chaleur modifie la composante stérique du niveau marin moyennée sur le bassin, qui présente une forte dispersion selon les simulations (fig. b). De nouvelles simulations couplées avec le modèle atmosphérique régional ALADIN, et incluant une représentation plus réaliste des conditions atlantiques entrantes devraient permettre une estimation plus précise de l'impact du changement climatique sur le bassin.

3



3

(a) : en haut : Composite des minima d'anomalies de la température de surface (SST, en °C) pour la période 2070-2099 (vs. 1961-1990). En bas : Composite des maxima d'anomalies de la température de surface (SST, en °C) pour la période 2070-2099 (vs. 1961-1990). (b) : série temporelle de l'anomalie du niveau marin stérique (en m) moyennée sur le bassin. L'enveloppe des 7 simulations de l'ensemble est représentée.

Le programme européen E-SURFMAR

Le programme E-SURFMAR d'EUMETNET, qui vise à coordonner, optimiser et intégrer progressivement les activités européennes d'observation météo-océanographique à la surface de la mer fêtera ses dix ans d'existence début 2013. Piloté par le CMM, ce programme a permis :

- le financement et la gestion centralisée d'un réseau de bouées dérivantes (100 bouées en opération, en permanence),
- la réduction spectaculaire du coût des télécommunications de bouées et navires, grâce à l'utilisation de moyens plus adaptés,
- l'accompagnement de l'automatisation des mesures sur navires qui a notamment débouché sur le lancement d'un appel d'offre pour la fourniture de stations automatiques,
- le développement d'outils de contrôle de qualité des données, ainsi que d'une base de métadonnées pour les navires, mis à disposition de la communauté internationale sur le Web.

Suite à ces succès, l'Assemblée du GIE EUMETNET a renouvelé sa confiance à Météo-France pour gérer le programme durant les cinq prochaines années. Celui-ci devient Service Opérationnel d'EUMETNET à compter du 1er janvier 2013.

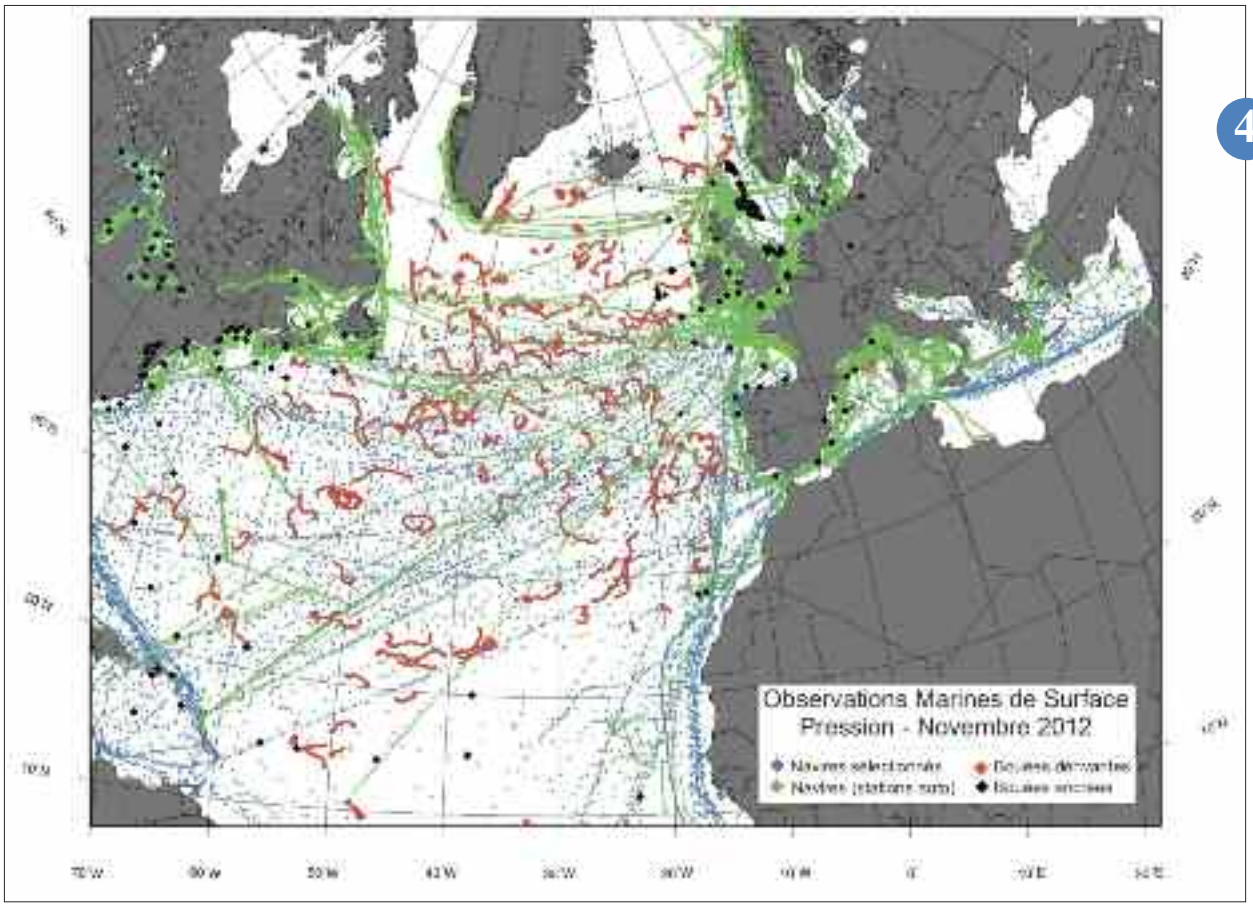
4

Observations océaniques de surface dans HyMeX

Le CMM a participé très activement aux observations hydrologiques de surface et atmosphériques en mer lors de la SOP1 d'HyMeX, afin de documenter les échanges océan-atmosphère dans la zone du Golfe du Lion, par laquelle transite la majorité des systèmes convectifs à l'origine de précipitations intenses sur le sud-est de la France.

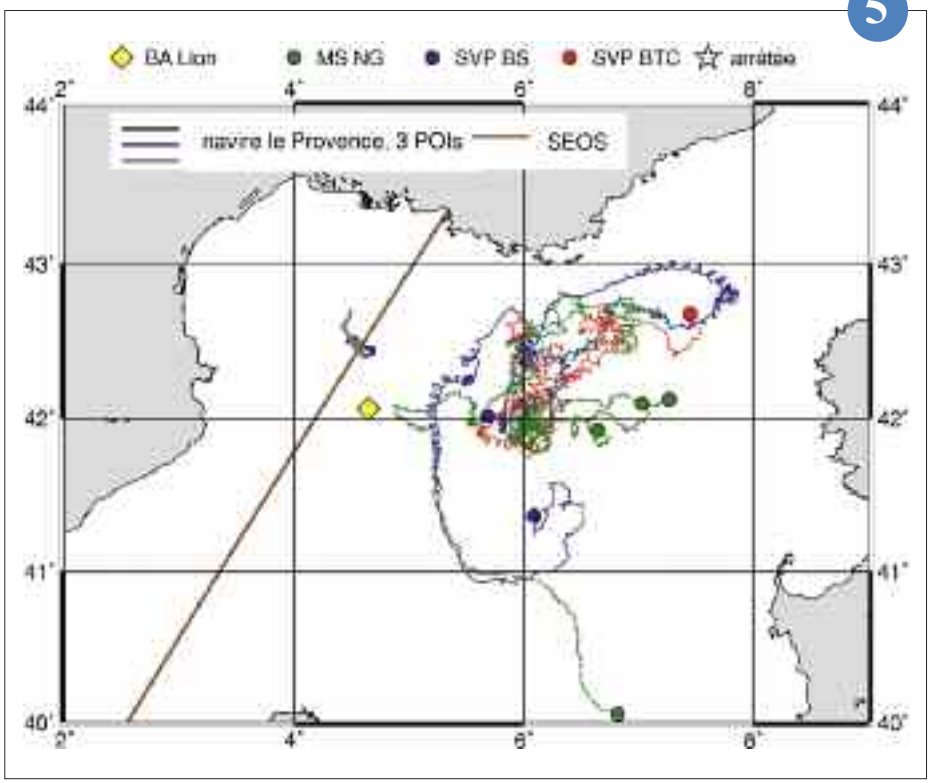
Des bouées dérivantes de surface ont été mises à l'eau au large de Toulon début septembre. Parmi elles, 5 Marisondes mesurent et transmettent en temps réel le vent, la pression atmosphérique, la température de surface de la mer et la température de la mer jusqu'à 300m de profondeur. Cinq bouées SVP transmettent pression atmosphérique, température de surface de la mer, et températures de l'eau de la surface à 80 m ou bien salinité de surface. GMEI a contribué à installer des stations automatiques de mesures des paramètres atmosphériques et océaniques de surface (système SEOS) sur un navire de transport sur la ligne Marseille-Alger, le Marfret-Niolon, et sur le navire des Phares et Balises affrété lors de périodes d'observations intenses (POI), le Provence. Pendant ces périodes d'observations en mer de 2 à 3 jours chacune, des radiosondages et des profils de température et salinité dans la couche de mélange océanique ont été effectués toutes les 3h. Les flux turbulents et radiatifs, ainsi que les paramètres atmosphériques et le spectre des vagues ont été mesurés en continu.

5



4

Observations marines de surface en octobre 2012. Chaque point représente une observation de bouée dérivante (rouge) ou ancrée (noir), de navire conventionnel (bleu) ou de station automatique embarquée (vert).



5

Carte des observations en mer de surface pendant la SOP1 d'HyMeX (septembre-octobre 2012), avec les trajectoires des navires (traits continus brun, Marfret-Niolon équipé de la station SEOS, bleu, noir et gris, navire le Provence), l'emplacement de la bouée Golfe du Lion (jaune) et les trajectoires des bouées dérivantes de surface Marisondes (vert), SVP salinité (bleu) et SVP température (rouge). Une étoile indique une bouée stoppée avant la fin de la SOP1.

Techniques d'observation

Malgré une année très chargée en campagnes de mesure, les activités de développement instrumental ont été riches.
Après la décision de Météo-France en 2011 d'équiper son réseau opérationnel de lidars pour la détection des cendres volcaniques, un exercice d'évaluation de matériels disponibles sur le marché a été conduit et a pu confirmer la disponibilité d'équipements répondant à nos besoins. Un appel d'offres sera donc lancé en 2013 pour l'équipement du réseau d'ici fin 2014.
L'observation opérationnelle des conditions de visibilité et du brouillard a continué à faire l'objet d'un effort particulier. Une action conduite en collaboration avec l'IFSTTAR et l'IGN vise à exploiter les très nombreuses caméras équipant nos routes. Avec le soutien de la DGA, une expérimentation a par ailleurs été entreprise visant à tester la capacité d'un lidar à balayage à détecter l'arrivée des brouillards advectifs au loin avant leur arrivée sur un aérodrome. L'année a enfin été marquée par la sélection du projet de drones autopilotés VOLTIGE par l'ANR. Très prometteur, ce projet devrait nous permettre de réaliser en 2013 et 2014 des observations inédites sur la structure verticale du brouillard.
La recherche en sciences de l'atmosphère et la mise au point des satellites d'observation de la Terre a besoin d'avions instrumentés. En France, de tels avions sont disponibles grâce à l'UMS SAFIRE. Il y a 12 ans, un effort de coordination des flottes de recherches était entrepris dans le cadre du programme européen EUFAR. EUFAR a grandement favorisé la collaboration entre les opérateurs d'avion de recherche et l'utilisation de leurs moyens au bénéfice de la recherche. EUFAR arrivait à échéance en 2012. Un nouveau projet a été soumis à l'Europe.
De par la place que tient notre établissement au niveau mondiale dans le domaine des radars météorologiques, l'organisation de l'édition 2012 de la conférence ERAD lui avait été confiée. Organisée conjointement par la DSO et le CNRM, elle a connu un grand succès puisque plus de 400 personnes s'y étaient inscrites.

1

L'évaluation de la visibilité météorologique par caméras

Des caméras équipent aujourd'hui la plupart des tronçons d'autoroute à des fins de surveillance du trafic, pour permettre une intervention rapide en cas d'accident de la circulation. Le traitement d'image permet désormais d'en faire profiter la science météorologique.
L'idée développée par Raouf Babari lors d'un travail de thèse mené à l'IFSTTAR (« Estimation de la visibilité météorologique par caméras routières » soutenue le 11 avril 2012) et en collaboration avec Météo France (Direction des Systèmes d'Observation) et l'IGN, est d'estimer la visibilité météorologique à partir d'images issues de telles caméras. Le principe d'évaluation de la visibilité météorologique repose sur le calcul de variation de la luminance des surfaces lambertiennes (surfaces dont la luminance réfléchie est indépendante de la direction) en fonction de la visibilité horizontale. L'intérêt de ces surfaces est que leur contraste dépend uniquement de la visibilité. La connaissance de la distribution des profondeurs de la scène vue par la caméra permet alors de modéliser la fonction mathématique qui lie la visibilité à la variation de luminance. La méthode a été testée sur le site météorologique de Trappes grâce aux différents capteurs de visibilité qui ont permis de confronter les résultats de l'algorithme avec les valeurs observées in-situ. Pour l'instant, cette méthode fonctionne uniquement de jour.
Les premiers résultats sont très encourageants et montrent une bonne confiance dans l'estimation, sur une large plage de valeurs. La prochaine étape consiste à valider l'algorithme sur plusieurs sites équipés de caméras et de capteurs de visibilité durant la période automne 2012 – printemps 2013.

2

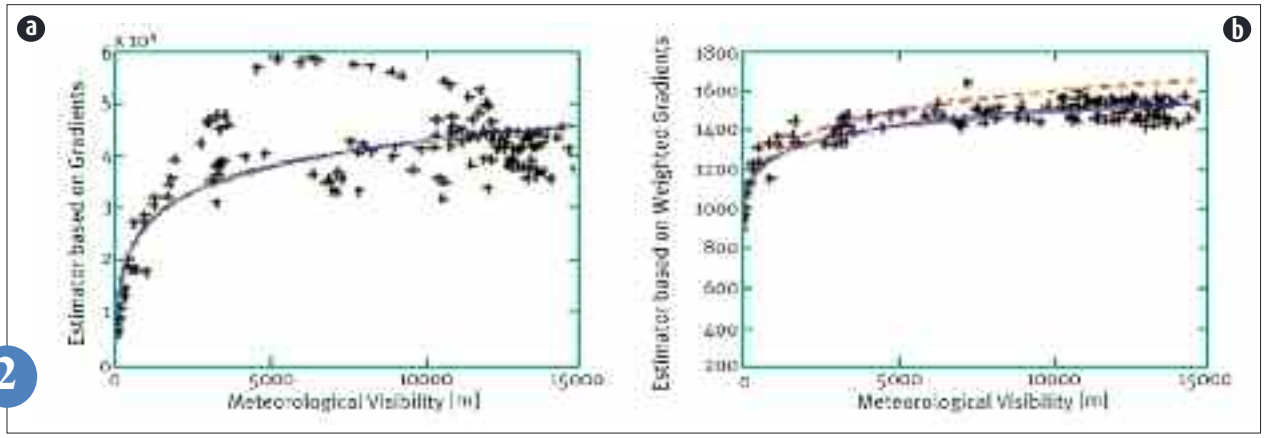
La détection du brouillard à Lanvéoc par lidar

Le brouillard est un phénomène à fort enjeu difficile à prévoir. L'outil actuel de prévision est le modèle « colonne » COBEL qui ne travaille que sur la seule coordonnée spatiale verticale. Opérationnel sur les aéroports de Roissy CDG, Orly et Lyon St-Exupéry, il est mal adapté aux brouillards advectifs pour lesquels le transport horizontal est déterminant. L'étude réalisée en 2012 par le Groupe de Météorologie Expérimentale et Instrumentale du CNRM avec le soutien de la Délégation Générale pour l'Armement et la Marine Nationale avait pour but de tester les capacités d'un lidar doté d'une capacité d'exploration panoramique à détecter un brouillard advectif en approche à une distance suffisamment grande pour pouvoir anticiper son arrivée plusieurs dizaines de minutes à l'avance.
Un lidar muni d'un scanner a été acquis et opéré sur la base aéronavale de Lanvéoc. Avec l'aide des personnels de la base, des observations ont été réalisées en continu de juin à octobre. Inclinée de 1° ou 2° seulement au-dessus de l'horizon, la ligne de visée du lidar était dirigée successivement dans quinze directions couvrant un secteur azimutal de 140°. Quatorze cas de brouillard ont été documentés dont onze sont clairement détectés entre 45 minutes et plus d'une heure avant leur arrivée. Sur les trois cas non observés, deux sont non significatifs (brouillards très légers) et pour le dernier, le brouillard est en fait visible mais 10 minutes seulement avant son arrivée pour cause de plafond nuageux préalable très bas.
On peut donc conclure que le principe de la détection du brouillard par lidar panoramique est confirmé. Une utilisation opérationnelle semble possible mais nécessitera le développement d'un algorithme automatique de détection et l'approvisionnement de lidars « à balayage » demandant peu de maintenance.

3

1

Unités lidar de présérie testées en 2012 dans la perspective du déploiement d'un réseau en France métropolitaine dédié à la détection d'éventuelles cendres volcaniques. Dénommées RMAN, les trois unités testées ont été inter-comparées pendant plusieurs semaines. Des télémètres-lidar moins perfectionnés avaient également été déployés afin d'étudier les éventuelles complémentarités.



2

Ajustement logarithmique de l'estimateur de visibilité en fonction de la visibilité de référence
(a) : somme du module des gradients de luminance dans l'image entière.
(b) : somme du module des gradients de luminance pondérée par l'appartenance des pixels à des surfaces lambertiennes (courbe bleue) et somme du module des gradients de luminance pondérée par l'appartenance des pixels à des surfaces lambertiennes et pondérée pour coller l'ajustement aux faibles visibilités (courbe pointillée rouge).

3

(a) : lidar mise en œuvre à Lanvéoc pour tester la possibilité de détecter les brouillards advectifs au loin. Le lidar était installé sur une terrasse de la tour de contrôle de la base aéronavale.
(b) : secteurs angulaires auscultés par le lidar. La ligne de visée était dirigée successivement dans chacune des 15 directions représentées par les traits rouges. Chaque trait a une longueur de 5km. La portée du lidar était d'environ 10km.

Etude comparative de systèmes de détection d'aérosols par lidar

L'éruption du volcan islandais Eyjafjallajökull au printemps 2010 a montré des lacunes en termes d'observation des cendres volcaniques. Dans ce contexte, Météo-France a inscrit dans le volet aéronautique du COP 2012-2016 des objectifs de meilleure gestion des impacts des cendres volcaniques avec notamment le déploiement d'un réseau de mesures. Le projet Lidars Aérosols actuellement en cours prévoit l'implantation d'une douzaine de lidars à l'horizon 2014, uniformément répartis sur le territoire métropolitain.
Une évaluation instrumentale a été menée au printemps et à l'été 2012 pour mesurer la capacité des lidars et des télémètres à détecter la présence d'aérosols. Les lidars utilisés au cours de cette étude ont des caractéristiques différentes. Certains fonctionnaient dans l'infrarouge (VAISALA – CL31 et CL51, JENOPTIK – CHM15k Nimbus), d'autres dans le domaine visible (SIGMASPACE – Mini MPL et MPL, CIMEL – CE370), d'autres encore dans l'ultraviolet (LEOSPHERE – RMAN510).
Cette étude s'est principalement intéressée à la détection des aérosols d'origine désertique car aucun nuage de cendres volcanique n'a été signalé à proximité de Toulouse pendant cette campagne. Les cendres volcaniques présentent des caractéristiques se rapprochant de celles des aérosols d'origine désertique. Il s'agit en général de particules fortement asphériques et dépolarisant fortement la lumière (taux de dépolarisation de 35 % avec une longueur d'onde de 355 nm). L'étude a notamment permis de montrer que les télémètres ne peuvent répondre à ce besoin de télédétection à haute altitude. De plus, la mesure de la polarisation de la lumière dans le cadre de la détection et d'identification d'aérosols, et a fortiori des cendres volcaniques, apparaît nécessaire.

4

La conférence ERAD2012 : la communauté radar météo rassemblée à Toulouse

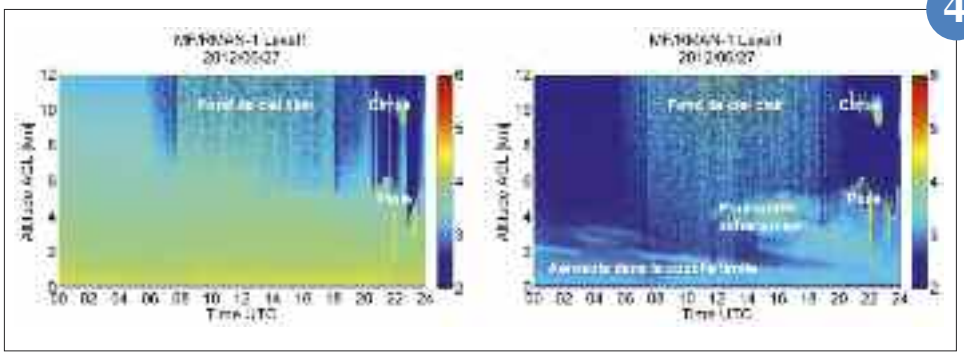
Du 25 au 29 juillet 2012, le Centre International de Conférences (CIC) de la Météopole a accueilli la 7ème conférence ERAD (European Conference on Radar in Meteorology and Hydrology). Cette conférence internationale et bisannuelle dont la première édition s'est déroulée en 2000 en Italie, a été créée dans l'optique de fédérer la communauté radar européenne, avec ses deux composantes « recherche » et « opérationnel » ; elle permet également de mettre en relation étudiants, chercheurs, industriels, opérateurs et utilisateurs de radar.
Co-organisée par la DSO, le CNRM et l'équipe du CIC, cette nouvelle édition de l'ERAD a été une grande réussite en termes de nombres de participants (400), de nombre de pays représentés (32) et de qualité des échanges. Le programme, alternant des sessions orales et des sessions posters, a été d'une très grande tenue scientifique et a permis de faire un état de l'art complet sur l'ensemble des applications actuelles et futures des données des radars météorologiques. Outre les sessions classiques sur les lames d'eau radar, sur l'hydrologie ou encore sur la microphysique, des sessions spécifiques ont été consacrées, pour la première fois, à l'aéronautique ou encore à la détection des oiseaux et insectes par radars. Des efforts importants ont par ailleurs été faits pour encourager la participation des étudiants.
Cette conférence a été pour Météo France l'occasion de mettre en lumière son réseau radar et d'exposer et de confronter son savoir-faire en matière de traitement des données polarimétriques, de combinaison radar – pluviomètres, d'exploitation des radars en bande X, d'assimilation des données radar dans le modèle numérique, ...

6

Observation de la couche limite : des progrès et des perspectives

En altitude, l'estimation de la turbulence est généralement réalisée à partir de mesures sur des moyens aéroportés, par télédétection ou sur des mâts de grande hauteur. Récemment, le CNRM GAME à mis au point et validé une nacelle de mesure in-situ sous ballon captif permettant de documenter la turbulence sur l'épaisseur de la couche limite. Utilisée pendant la campagne BLLAST, elle pourra servir de référence pour la validation d'autres techniques d'observation de la turbulence.
Le CNRM-GAME dispose en outre d'un outil unique avec la grande veine hydraulique conçue pour l'étude des couches limites stratifiées à haut Reynolds. En 2012 une nouvelle expérience en veine sur la couche limite stable a été réalisée. Les résultats valident l'approche en veine hydraulique pour l'étude de la couche limite stable. Leur exploitation, en collaboration avec l'université de Wageningen, contribue à l'amélioration des résultats en basse couche des modèles de prévision du temps.
L'étude expérimentale de la turbulence atmosphérique passe aussi par le développement de nouveaux traitements des mesures rapides alliés à des méthodes de reconstitution des milieux aléatoires. Les techniques d'ingénierie stochastique développées par le CNRM-GAME reposent sur des modélisations Markoviennes des procédés de mesure ou de la turbulence. Ces modélisations nous ont demandé d'élaborer de nouveaux algorithmes d'estimation probabiliste. En 2012 les efforts ont porté sur la valorisation des outils en traitant des mesures réelles, notamment celles issues de lidar Doppler déployés lors de la campagne BLLAST. Nous envisageons à terme un système numérique restituant localement la couche limite turbulente à haute résolution spatiale et temporelle.

5



4

Profils verticaux observés (logarithme décimal du signal, corrigé de la décroissance carrée avec l'altitude) en voie parallèle (gauche) et perpendiculaire (droite) issus du RMAN510 #1 (longueur d'onde de 355 nm) pour la situation à aérosols du 27 juin 2012 au-dessus de Toulouse.

Vue de la grande veine hydraulique stratifiée du CNRM-GAME (en haut à droite : dispositif de mesure de la vitesse par méthode optique, permettant d'accéder à une résolution équivalente dans l'atmosphère de l'ordre du mètre et à une cadence d'acquisition de l'ordre de la centaine de hertz).

5

Photo de groupe de l'ERAD 2012.

6

KuROS (Ku band Radar for Observations of Surfaces) : un nouveau radar aéroporté

La Chine (CNSA) et la France (CNES) ont conjointement mis en place une mission satellitaire destinée à surveiller principalement la surface des océans afin de mesurer le vent, la direction, l'amplitude et la longueur d'onde des vagues; ce que les océanographes appellent communément « l'état de mer ».
Cette mission est appelée CFOSAT (Chinese-French Oceanic SATellite) et a été lancée en 2008.
Dans le cadre de cette mission, l'ATR 42 de Météo France, exploité par le Service des Avions Français Instrumentés pour la Recherche en Environnement, a embarqué le nouveau radar en Bande Ku, KuROS, conçu et développé par le LATMOS, afin de préparer et de valider la mission CFOSAT.
La campagne de mesure associée s'est déroulée sur 3 semaines (avril-mai 2012) depuis l'aéroport de Toulouse Francazal, avec des vols sur l'Océan Atlantique et la mer Méditerranée.

Sur le plan technique, cette première campagne de tests a permis de corriger une grande partie des défauts constatés sur l'instrument. Sur le plan scientifique, il est encore prématuré de faire un bilan, mais les résultats de l'antenne 10° semblent très encourageants et correspondent aux performances en termes de modulation des spectres de vagues, informations Doppler et bilans de liaison. En ce qui concerne l'antenne 40°, elle ne satisfait pas exactement aux spécifications en termes de bilan de liaison. Le défaut a été identifié et des travaux afin d'optimiser et d'améliorer ce mode sont en cours d'étude.

7

Le projet EUFAR : 12 années de coordination du réseau européen d'avions instrumentés pour la recherche dans les sciences de l'environnement et de la Terre

Le projet EUFAR est une Activité d'Intégration du 7e PCRD de la Commission Européenne, rassemblant 32 entités légales, dont 14 opérateurs opérant une flotte de 20 avions instrumentés et fournissant accès à 6 instruments spécialisés et 18 organismes experts en recherche aéroportée, contribuant à 9 activités de mise en réseau, des activités d'accès transnational aux 26 installations et 3 activités de recherche associée. L'objectif d'EUFAR est de fournir à une vaste communauté de scientifiques (cf. figure) une large gamme d'infrastructures, (i) en développant l'accès transnational aux infrastructures nationales ; (ii) en réduisant les redondances et suppléant aux manques ; (iii) en améliorant le service par un renforcement de l'expertise via l'échange de connaissance, le développement de standards et protocoles, la constitution de bases de données et le développement d'activités de recherche instrumentale associées ; (iv) en promouvant l'utilisation d'infrastructures de recherche, en particulier auprès de jeunes scientifiques de pays exempts de telles infrastructures.

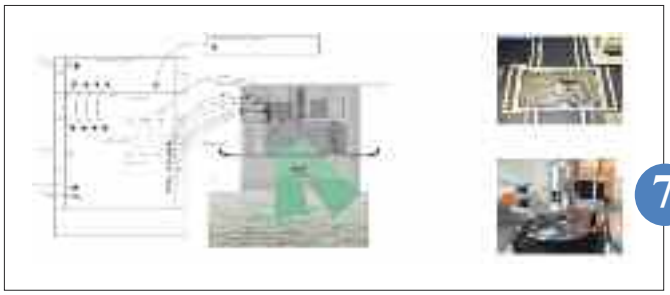
Le CNRM a coordonné le projet EUFAR depuis le premier contrat signé par 9 partenaires en 2000 (5e PCRD) ; l'évolution du réseau EUFAR (budgets successifs: 0,64 M€, 5 M€ et 8 M€) est tel qu'il a atteint sa configuration nominale. La constitution d'une structure pérenne, en prolongement du Protocole d'Accord signé par les membres du projet COPAL, reste un défi majeur pour assurer le management à long terme du bureau EUFAR, que le prochain contrat financé par la CE au-delà de septembre 2013 aura pour objectif de relever.

9

Les drones décollent pour étudier l'atmosphère

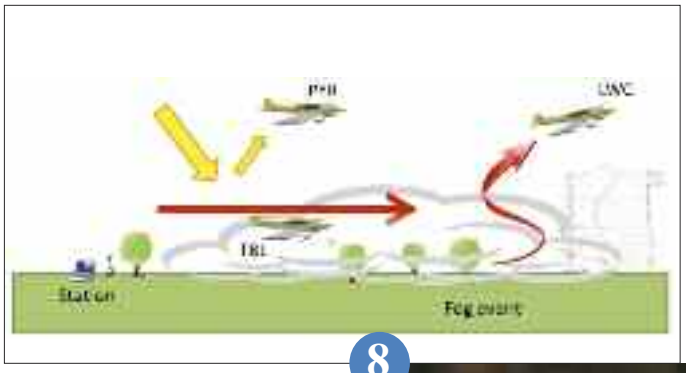
La technologie des drones aériens autopilotés est en plein essor. Combiné à la miniaturisation des capteurs environnementaux rendue possible grâce aux progrès de l'électronique et des centrales de navigation, elle offre des possibilités nouvelles dans le domaine de la mesure environnementale. Le projet VOLTIGE : Vecteurs d'Observation de La Troposphère pour l'Investigation et la Gestion de l'Environnement, financé par l'ANR, focalise sur les applications scientifiques et civiles des drones.
Le but de VOLTIGE est d'occuper une niche pour les drones en développant une capacité à réaliser des observations coordonnées afin d'étudier le cycle de vie du brouillard. Ce projet a deux objectifs majeurs : augmenter notre capacité scientifique d'observation de l'atmosphère et de la surface de la Terre ; et impliquer les étudiants dans les avancées technologiques récentes en météorologie et aéronautique.
L'occurrence d'événements de brouillard est très problématique pour les compagnies de transport et pour les gestionnaires d'aéroport. La prévision de ces événements reste pourtant un défi : l'information fournie par les simulations numériques des modèles météorologiques classiques est insuffisante pour les prévoir ou les reproduire. Actuellement la plupart des études sur le brouillard sont limitées à des mesures au sol qui utilisent des techniques de télémesure pour explorer la structure verticale. L'intérêt particulier de VOLTIGE est de déployer plusieurs drones simultanément et d'observer les paramètres principaux liés au cycle du brouillard afin d'améliorer nos prévisions.
Ainsi, en couplant nouvelles technologies et science innovatrice, ce projet intègre des scientifiques, des ingénieurs et des étudiants du Centre National de Recherches Météorologique (CNRM), de l'INP-ENM (École Nationale de la Météorologie) et de l'ENAC (École Nationale de l'Aviation Civile).

8



7

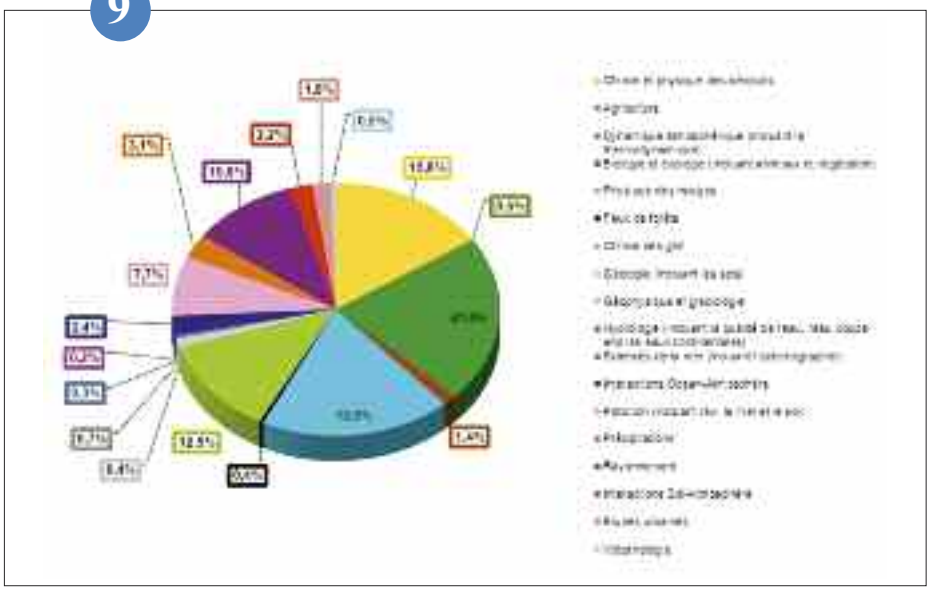
Détails du radar KUROS.



8

(a) : illustration de la capacité à observer le cycle de vie d'un brouillard par l'utilisation simultanée de plusieurs drones.
(b) : un drone instrumenté avec les capteurs météorologiques.

9



Répartition dans la base de données EUFAR des publications sur la recherche aéroportée par activité scientifique (rapportées à un total de 3893 parutions dans des revues à comité de lecture entre 1998 et 2012).

La recherche au service de l'aéronautique

Le CNRM contribue très activement au volet technologique du Ciel Unique Européen dans le cadre du programme SESAR. Les articles qui suivent en donnent quelques illustrations : utilisation de l'infrastructure de simulation physique GMEI/SPEA pour analyser les interactions entre les bâtiments d'aéroport à CDG et les rafales de vent lors de tempêtes pour identifier les passerelles les plus exposées ; utilisation d'outils mathématiques de filtrage, initialement développés pour l'instrumentation recherche, et appliqués ici au support météorologique pour le calcul de la trajectoire avion optimale ; application d'une nouvelle technique de détection des cisaillements de vent en basse couche pour la sécurité des vols en approche ; développement d'une version dédiée d'AROME à très haute résolution à CDG pour initialiser les modèles de propagation des vortex de sillage en approche.

Un dialogue étroit entre services météorologiques et utilisateurs de l'aéronautique permet ainsi d'identifier les besoins et d'adapter les moyens d'observation et de prévision de Météo-France à des applications très spécifiques propres à l'aéronautique. Dans le cadre des programmes SESAR et recherche amont de la Commission Européenne, plusieurs équipes du CNRM, de la DP, de la DSO et de la DSI, coopèrent pour le développement de solutions très innovantes. En 2013 se déroulera la première démonstration des bénéfices attendus de ces nouveaux services avec la compagnie Brussels Airline, la DSNA et Thales sur le territoire français et les vols Afrique.

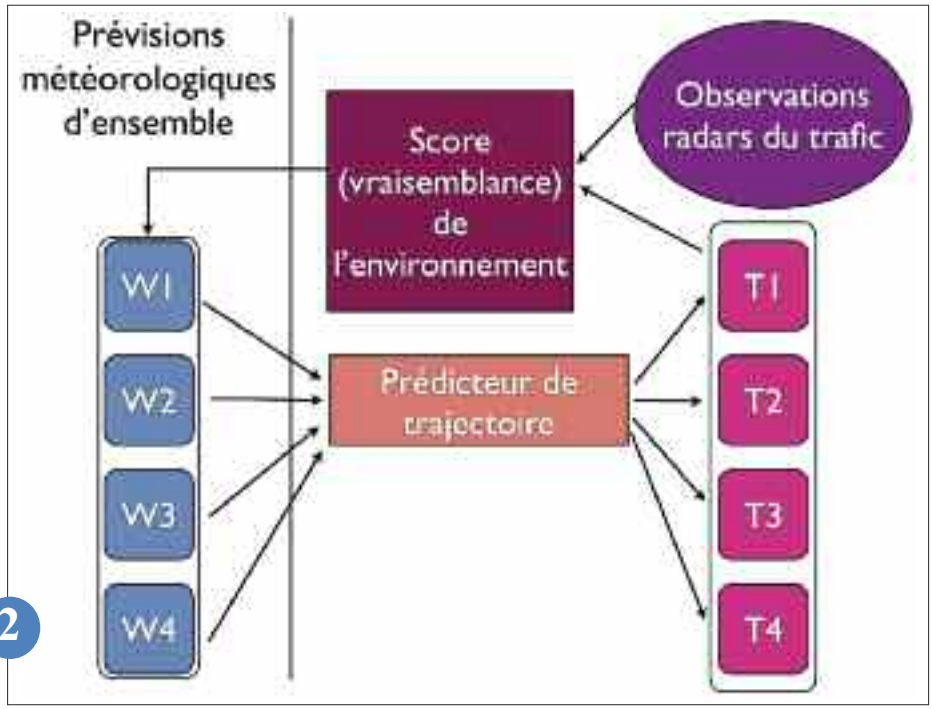
1

Les mathématiques et la météorologie au service de la gestion du trafic aérien (SESAR)

Météo-France est un acteur permanent de la R&D aéronautique européenne. Depuis 2008, Météo-France est engagé dans le programme SESAR, volet recherche du ciel unique européen. Ce programme a posé des challenges nouveaux à la communauté météorologique mais a également été l'occasion de démontrer notre savoir-faire en matière de prévision et d'observation dédiée à l'aéronautique. En 2012 notamment, nous avons été amenés à développer des méthodes d'estimation stochastique et des algorithmes novateurs afin d'optimiser la donnée météorologique pour les algorithmes de gestion des vols sur l'Europe. Les algorithmes probabilistes mis au point permettent de combiner au mieux l'incertitude sur les paramètres météorologiques avec les systèmes de prévision de trajectoire des avions. Ces techniques s'appuient sur l'utilisation des prévisions météorologiques d'ensemble, des prédicteurs de trajectoire avion et des observations en temps réel comme les traces radar des avions ou les données météorologiques mesurées en vol.

Les méthodes d'apprentissage utilisent des techniques de filtrage non-linéaire ou des estimations bayésiennes. Les estimations des lois de probabilités liées au problème n'ont pas de solution analytique. De fait, la résolution repose sur des approximations particulaires des fonctions de densité de probabilité. L'intérêt de ces méthodes d'apprentissage tient dans la possibilité de mélanger les approches pour, par exemple, utiliser des estimateurs de Kalman dans les parties linéaires du problème quand ils sont optimaux. Ces travaux amont vont se poursuivre pour étudier l'aptitude de ces algorithmes à être utilisés dans des contextes de plus en plus réels.

2



2

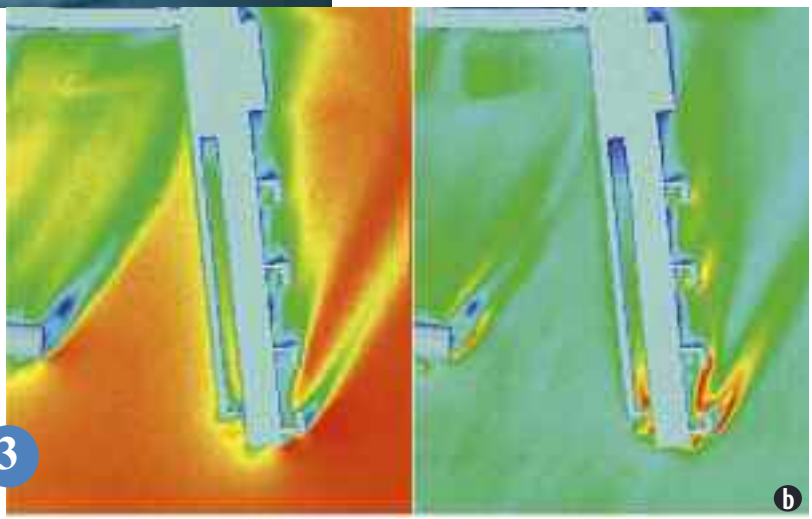
Exemple d'algorithme d'apprentissage de l'incertitude sur la prévision météorologique. En disposant d'un trafic aérien observé par radar et d'un système de prévision de trajectoires, on évalue la vraisemblance d'une prévision météorologique au regard des erreurs commises sur la prévision du trafic. On pondère ainsi les différents membres des prévisions météorologiques ensemblistes, ce qui nous permet ensuite d'optimiser le trafic aérien en considérant l'atmosphère comme un milieu aléatoire structuré par les poids.

Premier atelier MET/ATM à Météo-France (4-5 octobre 2012) entre partenaires du projet 11.2 et les utilisateurs du monde aéronautique : JU SESAR, Eurocontrol, ANSP (DSNA, AENA, NATS, Belgo control), Compagnies aériennes (Air France, Lufthansa, Regional Airlines, Novair, BAA, European Cockpit Association), et industries (Airbus, Dassault-Aviation, Thales, Selex, INDRA, Honeywell, Frequentis, Safran).

Cartographie du vent à fine échelle à l'aéroport Roissy-CDG

Maintenir l'embarquement et le débarquement de passagers, en toute sécurité et lors de tempêtes : visant cet objectif ambitieux doublé d'un enjeu économique majeur pour les compagnies aériennes, Météo-France a mené une étude originale pour décrire les rafales à l'échelle de chaque passerelle-passagers.
D'importants moyens ont été mis en œuvre conjointement : mesures fines de vent à proximité des aérogares, simulations numériques sur ordinateur et simulations physiques en veine hydraulique. Le Groupe Météorologie Expérimentale et Instrumentale du CNRM-GAME a été chargé de coordonner cette étude et d'en assurer la réalisation, à l'exception notable des simulations numériques ; en effet le CERFACS, expert dans l'utilisation de modèles d'écoulements en mécanique des fluides (CFD), a été notre partenaire pour ces dernières.
Débutée en juillet 2010 par l'installation de six capteurs rapides de vent à Roissy, cette étude a connu deux phases de simulation hydraulique sur maquettes au 1/3000è début 2011, puis au 1/400è début 2012. Le maillage numérique de l'aéroport, et ensuite les simulations CFD, furent accomplis de la fin 2010 à la fin 2011.
Le rapport, remis officiellement à la DGAC en septembre 2012, met en évidence que certaines passerelles sont effectivement protégées selon la direction du vent. Il donne une relation entre la vitesse en ces points et celle mesurée sur les pistes, seule référence aéroportuaire jusqu'alors.
Outre le service rendu à l'aéronautique, cette étude innovante devrait avoir des retombées scientifiques issue de la comparaison inédite entre données fines provenant de simulations numériques d'une part, et de simulations en veine hydraulique d'autre part, tout en bénéficiant de mesures de référence précises sur le terrain.

(a) : photo CNRM/GMEI/SPEA J.-C. Canonici.
Mesures laser en technique LDV près du terminal 2F.
(b) : document CERFACS.
Champ de vent calculé par le CERFACS - code mécanique des fluides (CFD) droite vent moyen gauche écart-type.

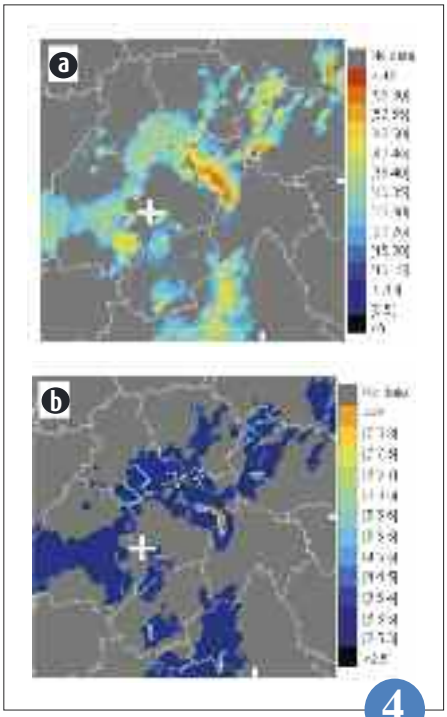


Développement et évaluation d'une mosaïque nationale de cisaillement de basses couches

Le cisaillement de vent représente la variation de direction et/ou de vitesse du vent sur une distance relativement courte. Sa composante horizontale est couramment observée en basses couches, associée à des phénomènes potentiellement dangereux, générés par des orages, comme les fronts de rafale, ou les méso-cyclones.
Une mosaïque de cisaillement horizontal du vent en basses couches a été développée, à partir des données de vitesse radiale (composante du vent parallèle à l'axe du faisceau radar) provenant du réseau de radars ARAMIS. Cette mosaïque, produite toutes les 5 minutes, couvre la France métropolitaine avec une résolution de 1 km2. Le produit donne une estimation du gradient horizontal maximum de vitesse radiale détecté en basses couches, entre 0 et 2 km de hauteur au-dessus du sol.
L'examen de la mosaïque de cisaillement sur plusieurs cas d'étude a montré qu'elle permet d'identifier des signatures de cisaillement d'échelle fine, comme des lignes de convergence à l'avant de cellules convectives, indiquant la présence d'un front de rafales.
Une évaluation statistique a également été menée, au cours de laquelle les valeurs de cisaillement horizontal observées au sein de cellules convectives définies par des objets « orage » ont été comparées aux rafales enregistrées sous la trace des ces cellules. Cette comparaison a montré l'existence d'un lien entre le cisaillement horizontal de basses couches et les rafales associées aux orages.
Les prévisionnistes ont donc souhaité disposer de la mosaïque de cisaillement, et la mise en opérationnel du produit est en cours. Le cisaillement horizontal du vent en basses couches va permettre d'enrichir la description du risque de rafales associées aux orages, en association avec d'autres critères comme la vitesse de déplacement de la cellule ou son « hélicité ».

4

Système convectif de méso-échelle observé dans le Limousin le 12 juillet 2011 : mosaïque de réflectivité en dBZ (a) et mosaïque de cisaillement en m s^{-1} km^{-1} (b) observés à 1950 UTC. La croix blanche indique la position du radar de Grèzes et les lignes blanches indiquent les limites de départements.

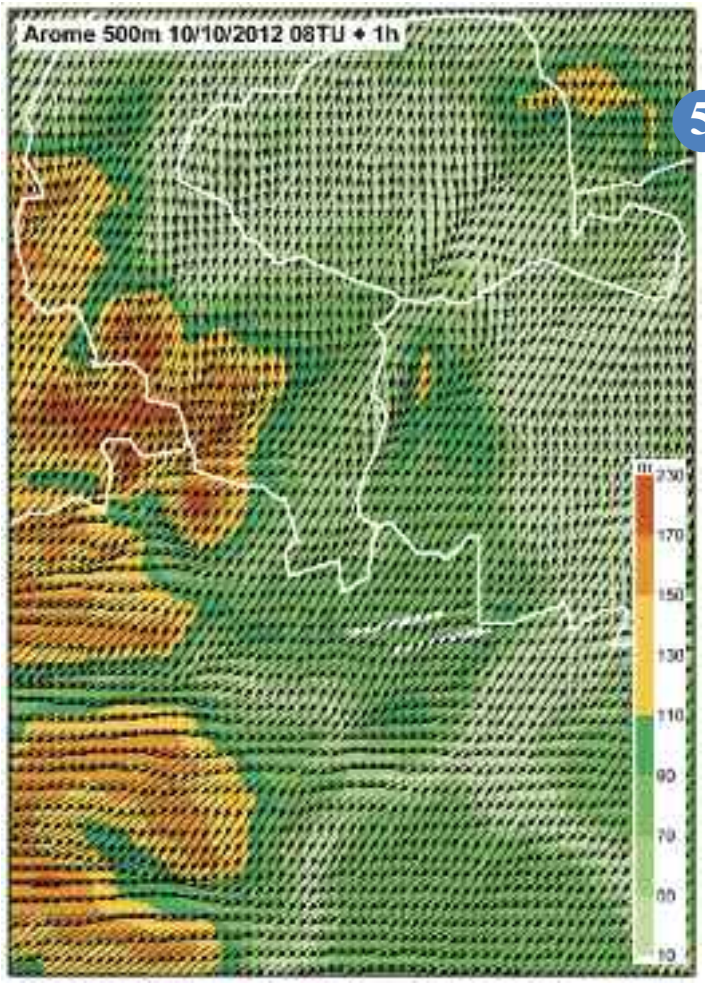


4

Une chaîne expérimentale AROME-aéroport pour les risques aéronautiques

Le modèle AROME-aéroport est une déclinaison du modèle AROME destinée à produire des simulations à très haute résolution autour de sites sensibles tels que les aéroports.
Dans le cadre du projet européen de recherche SESAR (Single European Sky ATM Research), nous avons produit à partir de ce modèle en mode opérationnel des prévisions de différents paramètres autour de l'aéroport Charles-de-Gaulles durant une période d'observation de 2 mois pendant l'automne 2012. La configuration proposée comprend une assimilation horaire de données réalisée sur un domaine couvrant le nord-ouest de la France à une résolution de 2,5km suivie d'une prévision sur un domaine plus restreint de 100kmx100km effectuée à une résolution horizontale de 500m. Le modèle est lancé une fois par heure à partir d'ébauches fournies par la chaîne Arome-France. Différents réglages ont été testés. Les champs météorologiques produits en sortie sont la température, l'humidité, le vent, l'énergie cinétique turbulente et le taux de dissipation des tourbillons (Eddy Dissipation Rate, EDR). Les prévisions de ce modèle servent à alimenter en données météorologiques un programme de prévision de turbulence de sillage dont la finalité ultime sera de permettre un ajustement dynamique des délais d'attente entre atterrissages et décollages. Les données d'AROME-aéroport sont mises à disposition à travers la maquette d'un serveur de données mis en place à Météo-France par la direction des systèmes d'information (DSI) dans un autre cadre de SESAR.

5



5

La figure montre un exemple de simulation d'AROME-aéroport sur la partie sud-ouest du domaine, autour de l'aéroport d'Orly symbolisé par les pistes blanches. Le champ en couleur est le relief ; les flèches représentent le vent à 10 m à pleine résolution après 1 heure.

Annexes

Liste des publications scientifiques 2012

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

Barré J., V.-H. Peuch, J.-L. Attié, L. El Amraoui, W. A. Lahoz, B. Josse, M. Claeyman and P. Nédélec, 2012 : Stratosphere-troposphere ozone exchange from high resolution MLS ozone analyses, Atmos. Chem. Phys., Volume: 12, Pages: 6129-6144, Doi: 10.5194/acp-12-6129-2012, Published: JUL 2012.

Batté L. and M. Déqué, 2012: A stochastic method for improving seasonal predictions. Geophysical Research Letters, Volume: 39, Article Number: L09707, Doi: 10.1029/2012GL051406, Published: MAY 4 2012.

Baumgardner D., L. Avallone, A. Bansemer, S. Borrmann, P. Brown, U. Bundke, P. Chuang, D. Collins, D. Cziczo, P. Field, M. Gallagher, J.-F. Gayet, A. Heymsfield, A. Korolev, M. Krämer, G. McFarquhar, S. Mertes, O. Möhler, S. Lance, P. Lawson, M. Petters, K. Pratt, G. Roberts, D. Rogers, O. Stetzer, J. Stith, W. Strapp, C. Twohy, and M. Wendisch, 2012: In Situ, Airborne Instrumentation: Addressing and Solving Measurement Problems in Ice Clouds, Bulletin of the American Meteorological Society, Volume: 93, Issue: 2, Pages: E529-E534, Doi: 10.1175/BAMS-D-11-00123.1. Published: FEB 2012.

Begue N., P. Tulet, J-P. Chaboureau, G. Roberts, L. Gomes, and M. Mallet, Long-range transport of Saharan dust over Northern Europe during EUCAARI 2008 campaign: Evolution of dust optical properties by scavenging. Journal of Geophysical Research-Atmospheres, Volume: 117, Article Number: D17201, Doi: 10.1029/2012JD017611. Published: SEP 5 2012.

Bellon G., B. Stevens, 2012: Using the Sensitivity of Large-Eddy Simulations to Evaluate Atmospheric Boundary Layer Models. Journal of Atmospheric Sciences, Volume: 69, Issue: 5, Pages: 1582-1601, Doi: 10.1175/JAS-D-11-0160.1. Published: MAY 2012.

Belviso S., I. Masotti, A. Tagliabue, L. Bopp, P. Brockmann, C. Fichot, G. Caniaux, L. Prieur, J. Ras, J. Uitz, H. Loisel, D. Desailly, S. Alvain and N. Kasamatsu, 2012: DMS dynamics in the most oligotrophic subtropical zones of the global ocean. Biochemistry, Volume: 110, Issue: 1-3, Special Issue: SI, Pages: 215-241, Doi: 10.1007/s10533-011-9648-1. Published: SEP 2012.

Besson L., C. Boudjabi, O. Caumont, J. Parent du Châtelet, 2011: Links between weather phenomena and characteristics of refractivity measured by precipitation radar. Boundary-Layer Meteorology, Volume: 143, Issue : 1, Special Issue: SI, Pages: 77-95, Doi: 10.1007/s10546-011-9656-7. Published: APR 2012.

Beuvier J., K. Béranger, C. Lebeaupin-Brossier, S. Somot, F. Sevault, Y. Drillet, R. Bourdallé-Badie, N. Ferry and F. Lyard, 2012: Spreading of the Western Mediterranean Deep Water after winter 2005: time scales and deep cyclone transport. Journal of Geophysical Research-Oceans, Volume: 117, Article Number : C07022, Doi: 10.1029/2011JC007679. Published: JUL 26 2012.

Boisier J.-P., N. DeNoblet-Ducoudré, A. J. Pitman, F. Cruz, C. Delire, B. J.J.M. van den Kurk, M. K. van der Molen, C. Müller and A. Voldoire, 2012: Attributing the biogeophysical impacts of Land-Use induced Land-Cover changes on surface climate to specific causes. Results from the first LUCID set of simulations. Journal of Geophysical Research-Atmospheres, Volume: 117, Article Number: D12116, Doi: 10.1029/2011JD017106. Published: JUN 30 2012.

Bouin M.N., D. Legain, O. Traullé, S. Belamari, G. Caniaux, A. Fiandrino, F. Lagarde, J. Barrié, E. Moulin and G. Bouhours, 2012: Using scintillometry to estimate sensible heat fluxes over water: first insights. Boundary Layer Meteorology, Volume: 143, Issue: 3, Pages: 451-480, Doi: 10.1007/s10546-012-9707-8, Published: JUN 2012.

Bouniol D., F. Couvreux, P.-H. Kamsu-Tamo, M. Leplay, F. Guichard, F. Favot, E. O'Connor: Diurnal and seasonal cycles of cloud occurrences, types and radiative impact over West Africa. Journal of Applied Meteorology and Climatology,Volume: 51, Issue: 3, Pages: 534-553, Doi: 10.1175/JAMC-D-11-051.1. Published: MAR 2012.

Bouttier F., B. Vié, O. Nuissier, L. Raynaud, 2012: Impact of stochastic physics in a convection-permitting ensemble. Monthly Weather Review

Brousseau P., L. Berre, F. Bouttier, G. Desroziers: Flow-dependent background-error covariances for a convective-scale data assimilation system. Quaterly Journal of the Royal Meteorological Society, Volume: 138, Issue: 663, Pages: 310-322, Doi: 10.1002/qj.920, Part: Part b. Published: JAN 2012.

Bueno B., G. Pigeon, L. K. Norford, K. Zibouche & C. Marchadier, Development and evaluation of a building energy model integrated in the TEB scheme. Geoscientific Model Development, Volume: 5, Issue: 2, Pages: 433-448. Publishe: 2012.

Bueno B., L. Norford, G. Pigeon & R. Britter. A resistance-capacitance network model for the analysis of the interactions between the energy performance of buildings and the urban climate. Building and Environment, Building and Environment, Volume: 54, Pages: 116-125, Published: AUG 2012.

Carmagnola C.M., F. Domine, M. Dumont, P. Wright, B. Strellis, M. Bergin, J. Dibb, G. Picard and S. Morin, 2012: Snow spectral albedo at Summit, Greenland: comparison between in situ measurements and numerical simulations using measured physical and chemical properties of the snowpack. The Cryosphere, tc-2012-172.

Calonne N., C. Geindreau, F. Flin, S. Morin, B. Lesaffre, S. Rolland du Roscoat and P. Charrier: 3-D image-based numerical computations of snow permeability: links to specific surface area, density, and microstructural anisotropy, The Cryosphere Discuss., 6, 1157-1180, doi: 10.5194/tcd-6-1157-2012, 2012.

Calvet J.C., S. Lafont, E. Cloppet, F. Souverain, V. Badeau, C. Le Bas, 2012: Use of agricultural statistics to verify the interannual variability in land surface models: a case study over France with ISBA-A-gs. Geoscientific Model Development, Volume: 5, Issue : 1, Pages: 37-54, Doi: 10.5194/gmd-5-37-2012. Published: 2012.

Carmagnola C., M.F. Dominé, S. Morin, L. Arnaud, G. Picard, N. Champollion, M. Bergin, J. Dibb, P. Wright and M. Dumont: Ricerche sulla neve in Groenlandia: misure e risultati della campagna alla base Summit. Nimbus 63-64, 5-13, 2012.

Carrer D., S. Lafont, J.-L. Roujean, J.-C. Calvet, C. Meurey, P. Le Moigne and I. F. Trigo, 2012: Incoming Solar and Infrared Radiation Derived from METEOSAT: Impact on the Modeled Land Water and Energy Budget over France, Journal of Hydrometeorology, Volume: 13, Issue: 2, Pages: 504-520, Doi: 10.1175/JHM-D-11-059.1. Published: APR 2012.

Cattiaux J., H. Douville, A. Ribes, F. Chauvin and C. Plante, 2012: Towards a better understanding of changes in wintertime cold extremes over Europe, Climate Dynamics, online, Doi: 10.1007/s00382-012-1436-7.

Cattiaux J. and P. Yiou, 2012: Contribution of atmospheric circulation to remarkable European temperatures of 2011, Bulletin of the American Meteorological Society, in « Explaining Extreme Events of 2011 from a Climate Perspective », Volume: 93, Pages: 1041-1067, Doi: 10.1075/BAMSD-12-00021.1, Published: JUL 2012.

Charles E., D. Idier, J. Thiébot, G. Le Cozannet, R. Pedreros, F. Ardhuin and S. Planton, 2011: Present wave climate in the Bay of Biscay: spatiotemporal variability and trends from 1958 to 2001. Journal of Climate, Volume 25, Issue 6, Pages: 2020-2039, Published: March 2012, Doi: 10.1175/JCLI-D-11-00086.1.

Cheaib A., C. Francois, V. Badeau, J. Boe, I. Chuine, C. Delire, E. Dufrene, E. Gritti, M. Legay, C. Page, W. Thuillier, N. Viovy, P. Leadley, 2012: Climate change impacts on tree ranges: model inter-comparison facilitates understanding and quantification of uncertainty. Ecology Letters, Volume: 15, Issue: 6, Pages: 533-544, Doi: 10. 1111/j.1461-0248.2012.01764.x. Published: JUN 2012.

Chevallier M. and D. Salas-Mélia, 2012: The Role of Sea Ice Thickness Distribution in the Arctic Sea Ice Potential Predictability: A Diagnostic Approach with a Coupled GCM. Journal of Climate, Volume: 25, Issue: 8, Pages: 3025-3038, Doi: 10.1175/JCLI-D-11-00209.1. Published: APR 2012.

Corre L., L. Terray, M. Balmaseda, A. Ribes, A. Weaver, 2011: Can oceanic reanalyses be used to assess recent anthropogenic changes and low-frequency internal variability of upper ocean temperature? Climate Dynamics, Volume: 38, Issue: 5-6, Pages: 877-896, Doi: 10.1007/s00382-010-0950-8. Publi-shed: MAR 2012.

Couvreux F., C. Rio, F. Guichard, M. Lothon, G. Canut, D. Bouniol and A. Gounou, 2012: Initiation of daytime local convection in a semi-arid region analysed with high-resolution simulations and AMMA observations, Quaterly Journal of the Royal Meteorological Society, Volume: 138, Issue: 662, Pages: 56-71, Doi: 10.1002/qj.903, Part: Part a. Published: Jan 2012.

Dabas A., S. Remy and T. Bergot 2012: Use of a Sodar to Improve the Forecast of Fogs and Low Clouds on Airports. Pure and Applied Geophysics, Volume: 169, Issue: 5-6, Special Issue: SI, Pages: 769-781, Doi: 10.1007/s00024-011-0334-y. Published: MAY 2012.

Daloz A.-S., F. Chauvin, K. Walsh, S. Lavender, D. Abbs and F. Roux, 2012: The ability of general circulation models to simulate tropical cyclones and their precursors over the North Atlantic main development region. Climate Dynamics, Volume: 39, Issue: 7-8, Pages: 1559-1576, Doi: 10.1007/s00382-012-1290-7. Published: OCT 2012.

De Boisséson E., V. Thierry, H. Mercier, G. Caniaux and D. Desbruyères, 2012: Origin, formation and variability of the Subpolar Mode Water located over the Reykjanes ridge in the ORCA025-G70 simulation. Journal of Geophysical Research, Volume: 117, Article Number: C12005, Doi: 10.1029/2011JC007519, Published: DEC 8 2012.

De Munck C., G. Pigeon, V. Masson, F. Meunier, P. Bousquet, B. Tréméac, M. Merchat, P. Poeuf, C. Marchadier, 2012: How much can air conditioning increase air temperatures for a city like Paris, France? International Journal of Climatology, Doi: 10.1002/joc.3415. Sous presse.

De Noblet-Ducoudre N., J.P. Boisier, A. Pitman, G.B. Bonan, V. Brovkin, F. Cruz, C. Delire, V. Gayler, B.J.J.M. Van den Hurk, P.J. Lawrence, M.K. Van der Molen, C. Muller, C.H. Reick, B.J. Strengers, A. Voldoire: Determining Robust Impacts of Land-Use-Induced Land Cover Changes on Surface Climate over North America and Eurasia: Results from the First Set of LUCID Experiments : Journal of Climate, Volume: 25, Issue: 9, Pages: 3261-3281. Published: MAY 2012.

Decharme B., R. Alkama, F. Papa, S. Faroux, H. Douville, and C. Prigent, 2012: Global off–line evaluation of the ISBA–TRIP flood model, Climate Dynamics, Volume: 38 Issue: 7-8, Pages: 1389-1412, Doi: 10.1007/s00382-011-1054-9. Published: APR 2012.

Déqué M., S. Somot, E. Sanchez-Gomez, C.M. Goodess, D. Jacob, G. Lenderink, O.B. Christensen, 2011: The spread amongst ENSEMBLES regional scenarios: Regional Climate Models, driving General Circulation Models and interannual variability. Climate Dynamics, Volume: 38, Issue: 5-6, Pages: 951-964, Published: MAR 2012. Doi: 10.1007/s00382-011-1053-x.

Desroziers G. and L. Berre: Accelerating and parallelizing minimizations in ensemble and deterministic variational assimilations. Quarterly Journal of Royal Meteorological Society, Volume: 138, Issue: 667, Pages: 1599-1610, Doi: 10.1002/qj.1886. Part Part b. Published: JUL 2012.

Dumont M., Y. Durand, Y. Arnaud and D. Six, 2012: Variational assimilation of albedo in a snowpack model and reconstruction of the spatial mass balance distribution of an alpine glacier. Journal of Glaciology, 58, 207, 151-164, Doi: 10.3189/212JoG11J163.

Domine F., J.-C. Gallet, J. Bock and S. Morin, 2012: Structure, specific surface area and thermal conductivity of the snowpack around Barrow, Alaska. Journal of Geophysical Research-Atmospheres, Volume: 117, Pages: R14-R14, Doi: 10.1029/2011JD016647. Published: MAR 15 2012.

Douville H., A. Ribes, B. Decharme, R. Alkama, J. Sheffield, 2012: Anthropogenic influence on multidecadal changes in reconstructed global evapotranspiration, Nature Climate Change, online, Doi: 10.1038/NCLIMATE1632.

Dubois C., S. Somot, F. Sevault, M. Déqué, B. Lheveder, L.Li, A. Carillo, A. Dell'Aquilla, A. Elizalde-Arellano, D. Jacob, E. Scoccimarro, P. Oddo and S. Gualdi, 2012: Future projections of the surface heat and water budgets of the Mediterranean sea in an ensemble of coupled atmosphere-ocean regional climate models, Climate Dynamics, Volume: 39, Issue: 7-8, Pages: 1859-1884, Doi: 10.1007/s00382-011-1261-4, Published: OCT 2012.

Duvel J.-P., H. Bellenger, G. Bellon and M. Remaud, 2012: An event-by-event assessment of tropical intraseasonal perturbations for general circulation models, Climate Dynamics, online, Doi: 10.1007/s00382-012-1303-6.

Flaounas E., P. Drobinski, M. Borga, J.-C. Calvet, G. Delrieu, E. Morin, G. Tartari and R. Toffolon: Assessment of gridded observations used for climate model validation in the Mediterranean region: the HyMeX and MED-CORDEX framework. Environement Research Letters, Volume: 7, Issue: 2, Article Number: 024017, Doi: 10.1088/1748-9326/7/2/024017, Published: APR-JUN 2012.

Getirana A. C. V., A. Boone, D. Yamazaki, B. Decharme, F. Papa and N. Mognard, 2012: The Hydrological Modeling and Analysis Platform (HyMAP): evaluation in the Amazon basin. J. Hydrometeor., in press, Doi: 10.1175/JHM-D-12-021.1.

Guedj S., F. Karbou and F. Rabier, 2012: Land surface temperature estimation to improve the assimilation of SEVIRI radiances over land. Journal of Geophysical Research, Vol.116, D14107, 18 PP., Doi: 10.1029/2011JD015776.

Grandpeix J.-Y. and J.P. Lafore, 2012: Reply to "Comments on 'A Density Current Parameterization Coupled with Emanuel's Convection Scheme. Part I: The Models". Journal of the Atmospheric Sciences, Volume: 69, Issue: 6, Pages: 2090-2096, Doi: 10.1175/JAS-D-11-0127.1. Published: JUN 2012.

Guérémy J.-F., N. Laanaia and J.-P. Céron, 2012: Seasonal forecast of French Mediterranean heavy precipitating events linked to weather regimes, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 12, 2389-2398, doi: 10.5194/nhess-12-2389-2012. Published: JUL 2012.

Haase J.S., J. Maldonado-Vargas, F. Rabier, P. Cocquerez, M. Minois, V. Guidard, P. Wyss, A.V. Johnson. A proof-of-concept balloon-borne Global Positioning System radio occultation profiling instrument for polar studies. Geophysical Research Letters, Volume: 39, Article Number: L02803, Doi: 10.1029/2011GL049982. Published: JAN 21 2012.

Iacono-Marziano G., V. Marécal, M. Pirre, F. Gaillard, J. Arteta, B. Scaillet and N. T. Arndt, 2012: Gas emissions due to magma-sediment interactions during flood magmatism at the Siberian Traps: gas dispersion and environmental consequences. Earth and Planetary Science Letters, Volume: 358, Pages: 308-318, Doi: 10.1016/j.epsl.2012.09.051, Published: DEC 2012.

Hilton F., R. Armante, T. August, C. Barnet, A. Bouchard, C. Camy-Peyret, V. Capelle, L. Clarisse, C. Clerbaux, P-F. Coheur, A. Collard, C. Crevoisier, G. Dufour, D. Edwards, F. Faijan, N. Fourrié, A. Gambacorta, M. Goldberg, V. Guidard, D. Hurtmans, S. Illingworth, N. Jacquinet-Husson, T. Kerzenmacher, D. Klaes, L. Lavanant, G. Masiello, M. Matricardi, A. McNally, S. Newman, E. Pavelin, S. Payan, E. Péquignot, S. Peyridieu, T. Phulpin, J. Remedios, P. Schlüssel, C. Serio, L. Strow, C. Stubenrauch, J. Taylor, D. Tobin, W. Wolf and D. Zhou: Hyperspectral Earth Observation from IASI: Five Years of Accomplishments. Bulletin of the American Meteorological Society, Volume: 93, Issue: 3, Pages: 347-+, Doi: 10.1175/BAMS-D-11-00027.1. Published: MAR 2012.

Jaumouillé E., S. Massart, A. Piacentini, D. Cariolle and V.-H. Peuch, 2012: Impact of a time-dependent background error covariance matrix on air quality analysis, Geosci. Mod. Dev., 5, 1075-1090.

Joly M. and V.-H. Peuch, 2012: Objective classification of air quality monitoring sites over Europe. Atmospheric Environment, Volume: 47, Pages: 111-123, Published: FEB 2012.

Jorda G., D. Gomis, E. Alvarez-Fanjul, S. Somot, 2012: Atmospheric contribution to Mediterranean and nearby Atlantic sea level variability under different climate change scenarios. Global and Planetary Change, Volume: 80-81, Pages: 198-214, Doi: 10.1016/j.gloplacha.2011.10.013. Published: JAN 2012.

Kocha C., J.-P. Lafore, P. Tulet and Y. Seity: High-resolution simulation of a major West African dust-storm: comparison with observations and investigation of dust impact. Quarterly Journal of Royal Meteorological Society, Volume: 138, Issue: 663, Pages: 455-470, Doi: 10.1002/qj.927. Part: Part b. Published: JAN 2012.

Krysztofiak G., V. Catoire, G. Poulet, V. Marécal, M. Pirre, F. Louis, S. Canneaux and B. Josse Detailed modeling of the atmospheric degradation mechanism of very-short lived brominated species. Atmospheric Environment, Volume: 59, Pages: 514-532, Doi: 10.1016/j.atmosenv.2012.05.026. Published: NOV 2012.

Kukkonen J., T. Olsson, D. M. Schultz, A. Baklanov, T. Klein, A. I. Miranda, A. Monteiro, M. Hirtl, V. Tarvainen, M. Boy, V.-H. Peuch, A. Poupkou, I. Kioutsioukis, S. Finardi, M. Sofiev, R. Sokhi, K. E. J. Lehtinen, K. Karatzas, R. San José, M. Astitha, G. Kallos, M. Schaap, E. Reimer, H. Jakobs and K. Eben: A review of operational, regional-scale, chemical weather forecasting models in Europe. Atmospheric Chemistry and Physics, Volume: 12, Issue: 1, Pages: 1-87, Doi: 10.5194/acp-12-1-2012. Published: 2012.

Kurzeneva E., E. Martin, Y. Batrak and P. Le Moigne, 2012: Climate data for parameterisation of lakes in Numerical Weather Prediction models. TELLUS Series A-Chemical and Physical Meteorology, Volume: 64, Article Number: 17226, Doi: 10.3402/tellusa.v64i0.17226. Published: 2012.

L'Heveder B., L. Li, F. Sevault and S. Somot, 2012: Interannual variability of deep convection in the Northwestern Mediterranean simulated with a coupled AORCM. Climate Dyn., Doi: 10.1007/s00382-012-1527-5.

Lacroix P., J.-R. J. Grasso, J. Roulle, G. Giraud, D. Goetz, S. Morin and A. Helmstetter, 2012: Monitoring of snow avalanches using a seismic array: Location, speed estimation and relationships to meteorological variables, Journal of Geophysical Reserach-Earth Surface, Volume: 117, Article Number: F01034, Doi: 10.1029/2011JF002106. Published: MAR 24 2012.

Lafont S., Y. Zhao, J.-C. Calvet, P. Peylin, P. Ciais, F. Maignan and M. Weiss, 2012: Modelling LAI, surface water and carbon fluxes at high-resolution over France: comparison of ISBA-A-gs and ORCHIDEE. Biogeosciences, Volume: 9, Issue: 1, Pages: 439-456, Doi: 10.5194/bg-9-439-2012. Published: 2012.

Lahoz W.A., V.-H. Peuch, J. Orphal, J.-L. Attié, K. Chance, X. Liu, D. Edwards, H. Elbern, J.-M. Flaud, M. Claeyman and L. El Amraoui, 2012: Monitoring air quality from space: the case for the geostationary platform, Bull. Am. Meteorol. Soc., Volume: 93, Issue: 2, Pages: 221-233, Doi: 10.1175/BAMS-D-11-00045.1, Published: FEB 2012.

Lagouarde J.P., A. Henon, M. Irvine, J. Voogt, G. Pigeon, P. Moreau, V. Masson, P. Mestayer: Experimental characterization and modelling of the nighttime directional anisotropy of thermal infrared measurements over an urban area: Case study of Toulouse (France). Remote Sensing of Environment volume: 117, Pages: 19-33, Doi: 10.1016/j.rse.2011.06.022, Published: FEB 15 2012

Marécal V., M. Pirre, G. Krysztofiak, P. D. Hamer and B. Josse, 2012: What do we learn about bromoform transport and chemistry in deep convection from fine scale modelling? Atmospheric Chemistry and Physics, Volume: 12, Issue: 14, Pages: 6073-6093, Doi: 10.5194/acp-12-6073-2012. Published: 2012.

Massart S., A. Piacentini and O. Pannekoucke: Importance of using ensemble estimated background error covariances for the quality of atmospheric ozone analyses. Quarterly Journal of Royal Meteorological Society, Volume: 138, Issue: 665, Pages: 889-905, Doi: 10.1002/qj.971. Part: Part b. Published: APR 2012.

Mattar C., J.-P. Wigneron, J.A. Sobrino, N. Novello, J.-C. Calvet, C. Albergel, P. Richaume, A. Mialon, D. Guyon, J.C. Jimenez-Munoz and Y. Kerr: A combined optical-microwave method to retrieve soil moisture over vegetated areas, IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing, Volume: 50, Issue: 5, Special Issue: SI, Pages: 1404-1413, Doi: 10.1109/TGRS.2011.2179051, Part: Part 1. Published: MAY 2012, doi: 10.1109/TGRS.2011.2179051, 2012.

Ménégoz M., A. Voldoire, H. Teyssedre, D. Salas y Melia, V.H. Peuch and I. Goutevin, 2012: How does the atmospheric variability drive the aerosol residence time in the Arctic region? 2012: TELLUS Series B-Chemical and Physical Meteorology, Volume: 64, Article Number: 11596, Doi: 10.3402/tellusb.v64i0.11596. Published: 2012.

Menkes C. E., M. Lengaigne, P. Marchesiello, N. C. Jourdain, E. M. Vincent, J. Lefèvre, F. Chauvin and J.-F. Royer, 2012: Comparison of tropical cyclogenesis indices on seasonal to interannual timescales, Climate Dynamics, Volume 38, Numbers 1-2, Pages: 301-321, Doi: 10.1007/s00382-011-1126-x. Published: JAN 2012.

Meyssignac B., D. Salas y Melia, M. Becker, W. Llovel and A. Cazenave, 2012: Tropical Pacific spatial trend patterns in observed sea level: internal variability and/or anthropogenic signature? Climate of The Past, Volume: 8, Issue: 2, Pages: 787-802, Doi: 10.5194/cp-8-787-2012. Published: 2012.

Michel C., G. Rivière, L. Terray and B. Joly: The dynamical link between surface cyclones, upper-tropospheric Rossby wave breaking and the life cycle of the Scandinavian blocking. Geophysical Research Letters, Volume: 39, Article Number: L10806, Doi: 10.1029/2012GL051682. Published: MAY 18 2012.

Michel Y., 2012: Estimating deformations of random processes for correlation modelling: methodology and the one-dimensional case. Q.J.R. Meteorol. Soc.. doi: 10.1002/qj.2007.

Mohino E., S. Janicot, L. Li, H. Douville, 2011: Impact of the Indian part of the summer MJO on West Africa using nudged climate simulations. Climate Dynamics, Volume: 38, Issue: 11-12, Pages: 2319-2334, Doi: 10.1007/s00382-011-1206-y. Published: JUN 2012.

Mokhtari M., L. Gomes, P. Tulet and T. Rezoug, 2012: Importance of the surface size distribution of erodible material: an improvement on the Dust Entrainment And Deposition (DEAD) Model. Geoscientific Model Development, Volume: 5, Issue: 3, Pages: 581-598. Published: 2012.

Morin S., J. Erbland, J. Savarino, F. Domine, J. Bock, U. Friess, H.-W. Jacobi, H. Sihler and J.M. F. Martins, 2012: An isotopic view on the connection between photolytic emissions of Nox from the Arctic cnowpack and its oxidation by reactive halogens. Journal of Geophyscal Research-Atmospheres, Volume: 117, Article Number: D00R08, Doi: 10.1029/2011JD016618. Published: JAN 21 2012.

Morin S., F. Domine, A. Dufour, Y. Lejeune, B. Lesaffre, J.-M. Morin, S.F. Domine, A. Dufour, Y. Lejeune, B. Lesaffre, J.-M. Willemet, C.M. Carmagnola and H.-W. Jacobi, Measurements and modeling of the vertical profile of specific surface area of an alpine snowpack, Adv. Water Resour., doi: 10.1016/j.advwatres.2012.01.010, sous presse.

Morin S., Y. Lejeune, B. Lesaffre, J.-M. Panel, D. Poncet, , P. David and M. Sudul: An 18-yr long (1993–2011) snow and meteorological dataset from a mid-altitude mountain site (Col de Porte, France, 1325 m alt.) for driving and evaluating snowpack models, Earth Syst. Sci. Data, 4, 13-21, doi: 10.5194/essd-4-13-2012, 2012.

Muri H., A. Berger, Q. Yin, A. Voldoire, D. Salas-Mélia and S. Sundaram, 2012: SST and ice sheet impacts on the MIS–13 climate. Climate Dynamics, Volume: 39, Issue: 7-8, Pages: 1739-1761, Doi: 10.1007/s00382-011-1216-9. Published: OCT 2012.

Nabat P., F. Solmon, M. Mallet, J. F. Kok and S. Somot: Dust emission size distribution impact on aerosol budget and radiative forcing over the Mediterranean region: a regional climate model approach, Atmos. Chem. Phys., 12, 10545-10567, doi: 10.5194/acp-12-10545-2012, 2012.

Nikulin G., C. Jones, P. Samuelsson, P. Giorgi, M.B. Sylla, G. Asrar, M. Büchner, R. Cerezo-Mota, O.B. Christensen, M. Déqué, J. Fernandez, A. Hänsler, E. van Meijgaard, L. Sushama, 2012: Precipitation Climatology in An Ensemble of CORDEX-Africa Regional Climate Simulations. Journal of Climate, Volume: 25, Issue: 18, Pages: 6057-6078, Doi: 10.1175/JCLI-D-11-00375.1. Published: SEP 15 2012.

Oger N., O. Pannekoucke, A. Doerenbecher and P. Arbogast: Assessing the trajectory influence in adaptive observation Kalman filter sensitivity method. Quarterly Journal of Royal Meteorological Society, Volume: 138, Issue: 664, Pages: 813-825, Doi: 10.1002/qj.950, Part: Part a. Published: APR 2012.

Olivie D.J.L., D. Cariolle, H. Teyssedre, D. Salas, A. Voldoire, H. Clark, D. Saint-Martin, M. Michou, F. Karcher, Y. Balkanski, M. Gauss, O. Dessens, B. Koffi and R. Sausen, 2012: Modeling the climate impact of road transport, maritime shipping and aviation over the period 1860-2100 with an AOGCM 2012: Atmospheric Chemistry and Physics, Volume: 12, Issue: 3, Pages: 1449-1480, Doi: 10.5194/acp-12-1449-2012. Published : 2012.

Oruba L., G. Lapeyre and G. Rivière: On the Northward Motion of Midlatitude Cyclones in a Barotropic Meandering Jet. Journal of the Atmospheric Sciences, Volume: 69, Issue: 6, Pages: 1793-1810, Doi: 10.1175/JAS-D-11-0267.1. Published : JUN 2012.

Oueslati B. and G. Bellon, 2012: Tropical precipitation regimes and mechanisms of regime transitions: contrasting two aquaplanet general circulation models. Climate Dynamics, Doi: 10.1007/s00382-012-1344-x. See here.

Papadopoulos V.P., S. Josey, A. Bartzokas, S. Somot, S. Ruiz, P. Drakopoulou, 2012: Large scale atmospheric circulation favoring deep and intermediate water formation in the Mediterranean Sea. Journal of Climate, Volume: 25, Issue: 18, Pages: 6079-6091, Doi: 10.1175/JCLI-D-11-00657.1, Published: SEP 15 2012.

Parrens M., E. Zakharova, S. Lafont, J.-C. Calvet, Y. Kerr, , W. Wagner and J.-P. Wigneron: Comparing soil moisture retrievals from SMOS and ASCAT over France, Hydrology and Earth System Sciences, Volume: 16, Issue: 2 Pages: 423-440, Doi: 10.5194/hess-16-423-2012. Published: 2012.

Pedinotti V., A. Boone, B. Decharme, J.-F. Crétaux, N. Mognard, G. Panthou and F. Papa, 2012: Characterization of the hydrological functioning of the Niger basin using the ISBA-TRIP model. Hydrology and Earth System Sciences, Volume: 16, Issue: 6, Pages: 1745-1773, Doi: 10.5194/hess-16-1745-2012. Published: 2012.

Peings Y., D. Saint-Martin and H. Douville, 2012: A numerical sensitivity study of the Siberian snow influence on the Northern Annular Mode. Journal of Climate, Volume: 25, Issue: 2, Pages: 592-607, Doi: 10.1175/JCLI-D-11-00038.1, Published: JAN 15 2012.

Rabier F, S. Cohn, .P Cocquerez, A. Hertzog, L. Avallone, T. Deshler, J. Haase, T. Hock, A. Doerenbecher, J. Wang, V. Guidard, J.N. Thépaut, R. Langland, A. Tangborn, G. Balsamo, E. Brun, D. Parsons, J. Bordereau, C. Cardinali, F. Danis, J.P. Escarnot, N. Fourrié, R. Gelaro, C. Genthon, K. Ide, L. Kalnajs, C. Martin, L.-F. Meunier, J.-M. Nicot, T. Perttula, N. Potts, P. Ragazzo, D. Richardson, S .Sosa-Sesma, A. Vargas: The Concordiasi field experiment over Antarctica: first results from innovative atmospheric measurements. BAMS meeting summary, Doi: 10.1175/BAMS-D-12-00005.1.

Raynaud L., L. Berre, G. Desroziers: Accounting for model error in the Météo-France ensemble data assimilation system. Quarterly Journal of Royal Meteorological Society, Volume: 138, Issue: 662, Pages: 249-262, Doi: 10.1002/qj.906. Part: Part a. Published: JAN 2012.

Raynaud L. and O. Pannekoucke: Heterogeneous filtering of ensemble-based background-error variances. Quarterly Journal of Royal Meteorological Society, Volume: 138, Issue: 667, Pages: 1589-1598, Doi: 10.1002/qj.1890. Part: Part b. Published: JUL 2012.

Rémy S., O. Pannekoucke, T. Bergot and C. Baehr. Adaptation of a particle filtering method for data assimilation in a 1D numerical model used for fog forecasting. Quarterly Journal of Royal Meteorological Society, Volume: 138, Issue: 663, Pages: 536-551, Doi: 10.1002/qj.915. Part: Part b. Published: JAN 2012.

Ricard D, V. Ducrocq and L. Auger: A Climatology of the Mesoscale Environment Associated with Heavily Precipitating Events over a Northwestern Mediterranean Area. Journal of Applied Meteorology and Climatology, Volume: 51, Issue: 3, Pages: 468-488, Doi: 10.1175/JAMC-D-11-017.1. Published: MAR 2012.

Ricard D., P. Arbogast, F. Crépin, A. Joly: Relationship between convection over Central America and the intensity of the jet stream bearing on the 1999 December European storms. Quarterly Journal of Royal Meteoro-logical Society, Volume: 138, Issue: 663, Pages: 377-390, Doi: 10.1002/qj.931, Part: Part b. Published: JAN 2012.

Ringeval B., B. Decharme, S. L. Piao, P. Ciais, F. Papa, N. de Noblet-Ducoudré, C. Prigent, P. Friedlingstein, I. Gouttevin, C. Koven, and A. Ducharne, 2012: Modelling sub-grid wetland in the ORCHIDEE global land surface model: evaluation against river discharges and remotely sensed data. Geosci. Model Dev., Volume: 5, Pages: 941-962, Doi: 10.5194/gmd-5-941-2012, Published: JUL 2012.

Rio C., J.-Y. Grandpeix, F. Hourdin, F. Guichard, F. Couvreux, J.-P. Lafore, A. Fridlind, A. Mrowiec, S. Bony, N. Rochetin, R. Roehrig, A. Idelkadi, M.-P. Lefebvre, I. Musat, 2012: Control of deep convection by sub-cloud lifting processes: The ALP closure in the LMDZ5B general circulation model. Climate Dynamics, online, Doi: 10.1007/s00382-012-1506-x.

Rousselot M., Y. Durand, G. Giraud, L. Mérindol, I. Dombrowski-Etchevers, M. Déqué and H. Castebrunet, 2012: Statistical adaptation of ALADIN RCM outputs over the French Alps – application to future climate and snow cover, Cryosphere, Volume: 6, Issue: 4, Pages: 785-805, Doi: 10.5194/tc-6-785-2012, Published: 2012.

Rivière G., P. Arbogast, G. Lapeyre, and K. Maynard: A potential vorticity perspective on the motion of a midlatitude winter storm. Geophysical Research Letters, Volume: 39, Article Number: L12808, Doi 10.1029/2012GL052440. Published: JUN 30 2012.

Saccone P., S. Morin, C. Colomb, F. Baptist, J.-M. Bonneville, M. P. Colace, F. Domine, M. Faure, R. Geremia, J. Lochet, F. Poly, S. Lavorel and J.-C. Clément: The effects of snowpack properties and plant strategies on litter during winter in subalpine meadows. Plant and Soil, Doi: 10.1007/s11104-012-1307-3, 2012.decomposition.

Séférian R., L. Bopp, M. Gehlen, J. Orr, C. Ethé, P. Cadule, O. Aumont, D. Salas y Mélia, A. Voldoire and G. Madec, 2012: Skill assessment of three earth system models with common marine biogeochemistry. Climate Dynamics, online, Doi: 10.1007/s00382-012-1362-8.

Séférian R., D. Iudicone, L. Bopp, T. Roy and G. Madec, 2012: Water Mass Analysis of Effect of Climate Change on Air-Sea CO2 Fluxes: The Southern Ocean. Journal of Climate, Volume: 25, Issue: 11, Pages: 3894-3908, Doi: 10.1175/JCLI-D-11-00291.1, Published: JUN 1 2012.

Singla S., J.-P. Céron, E. Martin, F. Regimbeau, M. Déqué, F. Habets, and J.-P. Vidal, 2012: Predictability of soil moisture and river flows over France for the spring season, Hydrology and Earth System Sciences, Volume: 16, Issue: 1, Pages: 201-216, Doi: 10.5194/hess-16-201-2012. Published: 2012.

Solé J., S. Ruiz, A. Pascual, S. Somot and J. Tintoré , 2012: Ocean color response to wind forcing in the Alboran Sea: a new forecasting method. Journal of Marine Systems, Volume: 98-99, Pages: 1-8, Doi: 10.1016/j.jmarsys. 2012.02.007. Published: SEP 1 2012.

Szczypta C., B. Decharme, D. Carrer, J.-C. Calvet, S. Lafont, S. Somot, S. Faroux and E. Martin, 2012: Impact of precipitation and land biophysical variables on the simulated discharge of European and Mediterranean rivers, Hydrol. Earth Syst. Sci., 16, 3351-3370, Doi: 10.5194/ hess-16-3351-2012

Thierion C., L. Longuevergne, F. Habets, E. Ledoux, P. Ackerer, S. Majdalani, E. Leblois, S. Lecluse, E. Martin, S. Queguiner and P. Viennot, 2012: Assessing the water balance of the Upper Rhine Graben hydrosystem Journal of Hydrology, Volume: 424, Pages: 68-83, Doi: 10.1016/ j.jhydrol.2011.12.028. Published: MAR 6 2012.

Thouron O., Brenguier J.-L. and F. Burnet, 2012: Supersaturation calculation in large eddy simulation models for prediction of the droplet number concentration, Geosci. Model Dev., 5, 761-772, Doi: 10.5194/ gmd-5-761-2012. Published: 23 May 2012

Tremeac B., P. Bousquet, C. de Munck, G. Pigeon, V. Masson, C. Marchadier, M. Merchat, P. Poeuf, F. Meunier: Influence of air conditioning management on heat island in Paris air street temperatures. Applied Energy, Volume: 95, Pages: 102-110, Doi: 10.1016/j.apenergy. 2012.02.015. Published: JUL 2012.

Tsimplis M. N., F. Raicich, L. Fenoglio-Marc, A. G.P. Shaw, M. Marcos, S. Somot and A. Bergamasco, 2011: Recent developments in understanding sea level rise at the Adriatic coasts. Physics and Chemistry of the Earth, Special Issue of Physics and Chemistry of the Earth: "Venetia and Northern Adriatic Climate", Parts A/B/C, Volume: 40-41, Pages: 59-71, Published: 2012, Doi: 10.1016/j.pce.2009.11.007.

Vergnes J.-P., B. Decharme, R. Alkama, E. Martin, F. Habets, H. Douville, 2012: A Simple Groundwater Scheme for Hydrological and Climate Applications: Description and Offline Evaluation over France. Journal of Hydrometeorology, Volume: 13, Issue: 4, Pages: 1149-1171, Doi: 10.1175/JHM-D-11-0149.1. Published: AUG 2012.

Vergnes J.-P. and B. Decharme, 2012: A simple groundwater scheme in the TRIP river routing model: global offline evaluation against GRACE terrestrial water storage estimates and observed river discharges. Hydrology and Earth System Science, Volume: 16, Issue: 10, Pages: 3889-3908, Doi: 10.5194/hess-16-3889-2012, Published: 2012.

Vidal J.-P., E. Martin, N. Kitova, J. Najac and Soubeyroux, J.-M.: Evolution of spatio-temporal drought characteristics: validation, projections and effect of adaptation scenarios, Hydrology and Earth System Sciences, Volume: 16, Issue: 8, Pages: 2935-2955, Doi: 10.5194/hess-16-2935-2012. Published: 2012.

Vionnet V., E. Brun, S. Morin, A. Boone, S. Faroux, P. Le Moigne, E. Martin and J.-M. Willemet: The detailed snowpack scheme Crocus and its implementation in SURFEX v7.2. Geoscientific Model Development, Volume: 5, Issue: 3, Pages: 773-791, Doi: 10.5194/gmd-5-773-2012. Published: 2012.

Vionnet V., G. Guyomarc'h, F.N. Bouvet, E. Martin, Y. Durand, H. Bellot, C. Bel, P. Puglièse: Occurrence of blowing snow events at an alpine site over a 10-year period: Observations and modelling, Advances in Water Resources, Doi: org/10.1016/j.advwatres.2012.05.004, 2012.

Voldoire A., E. Sanchez-Gomez, D. Salas y Mélia, B. Decharme, C. Cassou, S. Sénési, S. Valcke, I. Beau, A. Alias, M. Chevallier, M. Déqué, J. Deshayes, H. Douville, E. Fernandez, G. Madec, E. Maisonnave, M.-P. Moine, S. Planton, D. Saint-Martin, S. Szopa, S. Tyteca, R. Alkama, S. Belamari, A. Braun, L. Coquart, F. Chauvin, 2012: The CNRM-CM5.1 global climate model: description and basic evaluation, Climate Dynamic, Doi: 10.1007/ s00382-011-1259-y.

Vrac M., P. Drobinski, A. Merlo, M. Herrmann, C. Lavaysse, L. Li and S. Somot, 2012: Dynamical and statistical downscaling of the French Mediterranean climate :uncertainty assessment. Nat. Hazards Earth Syst. Sci.: 12, 2769-2784, doi: 10.5194/nhess-12-2769-2012.

Wigneron J.-P., M. Schwank, E. Lopez-Baeza, Y.H. Kerr, N. Novello, C. Millan, C. Moisy, P. Richaume, A. Mialon, A. Al Bitar, F. Cabot, H. Lawrence, D. Guyon, J.-C. Calvet, J.P. Grant, T. Casal, P. de Rosnay, K. Saleh, A. Mahmoodi, S. Delwart, S. Mecklenburg: First evaluation of the simultaneous SMOS and ELBARA-II observations in the Mediterranean region, Remote Sensing of Environment, 124, 26-37, Doi: 10.1016/j.rse.2012.04.014, 2012.

Zakharova E., J.-C. Calvet, S. Lafont, C. Albergel, J.-P. Wigneron, M. Pardé, Y. Kerr, M. Zribi: Spatial and temporal variability of biophysical variables in southwestern France from airborne L-band radiometry, Hydrology and Earth System Sciences, Volume: 16, Issue: 6, Pages: 1725-1743, Doi: 10.5194/hess-16-1725-2012 Published: 2012.

Zhao Y., P. Ciais, P. Peylin, N. Viovy, B. Longdoz, J.M. Bonnefond, S. Rambal, K. Klumpp, A. Olioso, P. Cellier, E. Maignan, T. Eglin and J.-C. Calvet: How errors on meteorological variables impact simulated ecosystem fluxes: a case study for six French sites, Biogeosciences, 9, 2537–2564, Doi: 10.5194/bg-9-2537-2012, 2012.

Zyryanov D., G. Foret, M. Eremenko, M. Beekmann, J.-P. Cammas, M. D'Isidoro, H. Elbern, J. Flemming, E. Friese, I. Kioutsioutkis, A. Maurizi, D. Melas, F. Meleux, L. Menut, P. Moinat, V.-H. Peuch, A. Poupkou, M. Razinger, M. Schultz, O. Stein, A. M. Suttie, A. Valdebenito, C. Zerefos, G. Dufour, G. Bergametti and J.-M.Flaud, 2012: 3-D evaluation of tropospheric ozone simulations by an ensemble of regional Chemistry Transport Model, Atmospheric Chemistry and Physics, Volume: 12, Issue: 7, Pages: 3219-3240, Doi: 10.5194/acp-12-3219-2012, Published: 2012.

Barker D., H. Xiang-Yu, L. Zhiquan, Auligne, T. et al. THE WEATHER RESEARCH AND FORECASTING MODEL'S COMMUNITY VARIATIONAL/ENSEMBLE DATA ASSIMILATION SYSTEM WRFDA. Bulletin of the American Meteorology Society, Volume: 93, Issue: 6, Pages: 831-843, Doi: 10.1175/BAMS-D-11-00167.1, Published: JUN 2012.

Daux V., I. Garcia de Cortazar-Atauri, P. Yiou, O. Mestre and al. : An open-access database of grape harvest dates for climate research: data description and quality assessment CLIMATE OF THE PAST Volume: 8,Issue: 5, Pages: 1403-1418, Published: 2012.

Mathieu J., V.-H. Peuch, Objective classification of air quality monitoring sites over Europe. Atmospheric Environment, Volume: 47,Pages: 111-123, Doi: 10.1016/ j.atmosenv.2011.11.025, Published: FEB 2012.

Nahmani S., O. Bock, M.-N.Bouin and al. Hydrological deformation induced by the West African Monsoon: Comparison of GPS, GRACE and loading models. Journal of Geophysical Research-Solid Earth, Volume: 117, Article Number: B05409, Doi: 10.1029/2011JB009102. Published: MAY 12 2012.

Olivie D.J.L., D. Cariolle, H. Teyssedre and al. Modeling the climate impact of road transport, maritime shipping and aviation over the period 1860-2100 with an AOGCM ATMOSPHERIC CHEMISTRY AND PHYSICS Volume: 12 Issue: 3 Pages: 1449-1480 Doi: 10.5194/acp-12-1449-2012,Published: 2012.

Venema V.K.C., O. Mestre, E. Aguilar and al. Benchmarking homogenization algorithms for monthly data. Climate of The Past , Volume: 8, Issue: 1, Pages: 89-115, Doi: 10.5194/cp-8-89-2012, Published: 2012.

Wang H., T. Auligne, H. Morrison. Impact of Microphysics Scheme Complexity on the Propagation of Initial Perturbations. Monthly Weather Review, Volume: 140 Issue: 7, Pages: 2287-2296, Doi: 10.1175/MWR-D-12-00005.1, Published: JUL 2012.

Autres publications scientifiques dans des revues à comité de lecture

Guichard F., L. Kergoat, C.M. Taylor, B. Cappelaere, M. Chong, J.-M. Cohard, F. Couvreux, C. Dione, A. Gounou, F. Lohou et M. Lothon, 2012 : Interactions entre surface et convection au Sahel. La Météorologie, Volume : N° Special AMMA, Pages : 25-32, Doi: 10.4267/2042/ 48129. Published : OCT 2012.

Brun E., V. Vionnet, S. Morin, A. Boone, E. Martin, S. Faroux, P. Le Moigne et J.-M. Willemet, 2012 : Le modèle de manteau neigeux Crocus et ses applications. La Météorologie, 76, 44-54.

Karbou F., F. Beucher, O. Bock, J-P. Lafore, Z. Mumba, J-B. Ngamini, M. Nuret, F. Rabier et J-L. Redelsperger, 2012 : Les leçons de l'expérience AMMA en matière de Prévision Numérique du Temps. La Météorologie, pp 49-54, Doi: 10.4267/2042/48132.

Lafore J.P., N. Asencio, D. Bouniol, F. Couvreux, C. Flamant, F. Guichard, N. Hall, S. Janicot, C. Kocha, C. Lavaysse, S. Leroux, E. Poan P. Peyrillé, R. Roca, R. Roehrig, F. Roux, F. Saïd, 2012 : Le Système de Mousson Ouest-Africain La Météorologie.

Taylor C. M., R. A. M. De Jeu, F. Guichard, P. P. Harris and W. A. Dorigo, 2012: Afternoon rain more likely over drier soils. Nature, Volume: 489, Pages: 423–426, Doi: 10.1038/nature11377. Published: Septembre 2012.

Soubeyroux J.-M., N. Kitova, M. Blanchard, J.-P. Vidal, E. Martin et P. Dandin, Sècheresse des sols en France et changement climatique La Météorologie, 2012, 78, 21-30.

Eymard L., C. Baron, G. Caniaux, C. Flamant, L. Kergoat, F. Karbou, J.A Ndione, T. Pellarin, N. Martiny, J. Ramahoretra, E. Vintrou et R. Roca, 2012 : L'observation spatiale dans le programme AMMA. La Météorologie, pp 80-89, Doi : 10.4267/2042/48136.

Carmagnola C. M., F. Domine, S. Morin, L. Arnaud, G. Picard, N. Champollion, M. Bergin, J. Dibb, P. Wright and M. Dumont, 2012: Ricerche sulla neve in Groenlandia: misure et risultati della campagna alla base Summit. Nimbus, 63-64, pp 6-14.

Caniaux G., H. Giordani, J.L. Redelsperger, M. Wade, B. Bourlès, D. Bourras, G. de Coëtlogon, Y. du Penhoat, S. Janicot, E. Key, N. Kolodziejczyk, L. Eymard, J. Jouanno, A. Lazar, M. Leduc-Leballeur, N. Lefèvre, F. Marin, H. Nguyen et G. Parard, 2012 : Les avancées d'AMMA sur les interactions océan-atmosphère. La Météorologie, Numéro Special AMMA, 8e Série, Octobre 2012, 17-24.

Nabat P. : Modélisation des aérosols sur la région méditerranéenne, La Météorologie, 8e série, n° 76, pages 26-31, février 2012.

Contributions à des ouvrages ou à des rapports

Déqué M., 2012: Deterministic forecasts of continuous variables. In: Forecast Verification, 2nd edition. Eds. Jolliffe I.T. and D.B. Stephenson, Wiley-Blackwell, Pages 77-95.

Déqué M. and L. Batté, 2012: Flux correction and seasonal predictability. Research activities in atmospheric and oceanic modelling, 42, 6.5-6.6.

Genovese E., V. Przyluski, F. Vinit et M. Déqué, 2012 : Xynthia : le déroulement de la tempête et ses conséquences en France. Chapitre 1 de l'ouvrage Gestion des risques naturels : Leçons de la tempête Xynthia. Coordination V. Przyluski et S. Hallegatte. Editions Quae, 17-44.

Lestringant R., 2012 : Méthodes de correction du vent pour la campagne FENNEC (2011). Note de travail du groupe de météorologie expérimentale, n° 30.

Li L., A. Casado, L. Congedi, A. Dell'Aquila, C. Dubois, A. Elizalde, B. L' Hévéder, P. Lionello, F. Sevault, S. Somot, P. Ruti, M. Zampieri, 2012: Modelling of the Mediterranean climate system, In: The climate of the Mediterranean region. Ed. P. Lionello, Elsevier, 419-448.

Peings Y., M. Jamous, S. Planton et H. Le Treut, M. Déqué, H. Gallée, L. Li, 2012 : Scénarios régionalisés. Le climat de la France au XXI[e] siècle, Volume 2, rapport de la mission Jean Jouzel, février 2012, Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement, 303 pp.

Planton S., P. Lionello, V. Artale, R. Aznar, A. Carrillo, J. Colin, L. Congedi, C. Dubois, A. Elizalde, S. Gualdi, E. Hertig, J. Jacobeit, G. Jordà, L. Li, A. Mariotti, C. Piani, P. Ruti, E. Sanchez-Gomez, G. Sannino, F. Sevault, S. Somot, M. Tsimplis, 2012: The Climate of the Mediterranean Region in Future Climate Projections, In: The climate of the Mediterranean region. Ed. P. Lionello, Elsevier, 449-502.

Planton S., A. Cazenave, P. Delecluse, N. Dorfliger, P. Gaufrès, D. Idier, M. Jamous, G. Le Cozannet, H. Le Treut, Y. Peings, 2012 : Evolution du niveau de la mer, Volume 3, rapport de la mission Jean Jouzel, février 2012, Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement, 49 pp.

Schroeder K., J. Garcia-Lafuente, S. A. Josey, V. Artale, B. B. Nardelli, A. Carrillo, M. Gacic, G. P. Gasparini, M. Herrmann, P. Lionello, W. Ludwig, C. Millot, E. Ozsoy, G. Pisacane, J.C. Sanchez-Garrido, G. Sannino, R. Santoleri, S. Somot, M. Struglia, E. Stanev, I. Taupier-Letage, M.N. Tsimplis, M. Vargas-Yanez, V. Zervakis, G. Zodiatis, 2012: Circulation of the Mediterranean Sea and its variability, In: The climate of the Mediterranean region. Ed. P. Lionello, Elsevier, 187-256.

Habets F., J. Boé, M. Déqué, A. Ducharne, S. Gascoin, A. Hachour, E. Martin, C.Pagé, E. Sauquet, L. Terray, D. Thiéry, L. Oudin, P. Viennot and S. Therry, 2011 : Impact du changement climatique sur les ressources en eau du bassin de la Seine, Collections du programme du PIREN-Seine, Agence de l'eau Seine-Normandie, 47 pages.

Rabier F., S. Cohn, Ph. Cocquerez, A. Hertzog, L. Avallone, T. Deshler, J. Haase, T. Hock, A. Doerenbecher, J. Wang, V. Guidard, J-N. Thépaut, R. Langland, A. Tangborn, G. Balsamo, E. Brun, D. Parsons, J. Bordereau, C. Cardinali, F. Danis, J-P. Escarnot, N. Fourrié, R. Gelaro, Ch. Genthon, K. Ide, L. Kalnajs, C. Martin, L-F. Meunier, J-M. Nicot, T. Perttula, T., Potts, P. Ragazzo, D. Richardson, S. Sosa-Sesma, A. Vargas: The Concordiasi field experiment over Antarctica: first results from innovative atmospheric measurements. WMO CAS/JSC WGNE Blue Book, Edited by J. Côté., 2012.

Guedj S.: Improved assimilation of SEVIRI radiances over land in meso-scale models using Land Surface Temperature retrievals. WMO CAS/JSC WGNE Blue Book, Edited by J. Côté., 2012.

Saint-Ramond N., A. Doerenbecher, F. Rabier, V. Guidard, N. Fourrié: Forecast sensitivity to observations at Météo-France. Application to GPS radio-occultation data. WMO CAS/JSC WGNE Blue Book, Edited by J. Côté., 2012.

Thèses soutenues en 2012

Barre J., 2012 : « Etudes par assimilation de données satellites au limbe et au nadir dans un modèle de chimie-transport » le 19 novembre 2012.

Brousseau P., 2012 : « Propagation de l'information observée dans le système d'assimilation et le modèle atmosphérique Arome » le 9 juillet 2012.

Charles E., 2012 : « Impact du changement climatique sur le climat de vagues en zone côtière, par régionalisation dynamique : application à la côte Aquitaine » le 6 février 2012.

Chevalier M., 2012 : « Prévisibilité saisonnière de la glace de mer de l'océan Arctique » le 7 décembre 2012.

Dossmann Y., 2012 : « Ondes internes générées sur une dorsale océanique : du laboratoire à l'océan » le 27 septembre 2012.

Faijan F., 2012 : « Vers une meilleure utilisation des observations du sondeur IASI pour la restitution des profils atmosphériques en conditions nuageuses » le 21 novembre 2012.

Honnert R., 2012 : « Quelle turbulence dans les modèles atmosphériques à l'échelle kilométrique ? » le 22 octobre 2012.

Lacressonière G., 2012 : « Etude par modélisation numérique de la qualité de l'air en Europe dans les climats actuel et futur » le 19 décembre 2012.

Law Chune S., 2012 : « Apport de l'océanographie opérationnelle à l'amélioration de la prévision de la dérive océanique dans le cadre d'opérations de recherche et de sauvetage en mer et de lutte contre les pollutions marines » le 15 février 2012.

Michel C., 2012 : « Rôle du déferlement des ondes de Rossby dans la variabilité climatique aux latitudes tempérées » le 26 octobre 2012.

Mokthari M., 2012 : « Amélioration de la prise en compte des aérosols terrigènes dans les modèles atmosphériques à moyenne échelle » le 20 décembre 2012.

Oueslati B., 2012 : « Interaction entre convection nuageuse et circulation de grande échelle dans les tropiques » le 10 décembre 2012.

Ouzeau G., 2012 : « Influence de la stratosphère sur la variabilité et la prévisibilité climatique » le 28 novembre 2012.

Pantillon F., 2012 : « Transition extratropicale d'ouragans en Atlantique Nord et impact sur la prévisibilité d'événements extrêmes en Méditerranée » le 24 septembre 2012.

Singla S., 2012 : « La prévisibilité des ressources en eau à l'échelle saisonnière en France » le 13 novembre 2012.

Zczypta C., 2012 : « Hydrologie spatiale pour le suivi des sécheresses du bassin méditerranéen » le 24 septembre 2012.

Vergnes J.P., 2012 : « Développement d'une modélisation hydrologique incluant la représentation des aquifères : évaluation sur la France et à l'échelle globale » le 14 décembre 2012.

Vié Benoît, 2012 : « Méthodes de prévision d'ensemble pour l'étude de la prévisibilité à l'échelle convective des épisodes de pluies intenses en Méditerranée » le 29 novembre 2012.

Vionnet V., 2012 : « Etudes du transport de la neige en conditions alpines : observations et simulations à l'aide d'un modèle couplé atmosphère/manteau neigeux » le 30 novembre 2012.

Habilitations à diriger des recherches soutenues en 2012

Montmerle T., 2012 : « Assimilation des données à moyenne échelle pour l'étude des systèmes précipitants » le 27 janvier 2012.

Rivière G., 2012 : « Dynamique des dépressions des latitudes tempérées et leur rôle dans la circulation générale de l'atmosphère » le 25 janvier 2012.

Tabary P., 2012 : « Contributions au transfert de la recherche à l'opérationnel en météorologie radar » le 11 juin 2012.

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
CEMAGREF	CEntre national du Machinisme Agricole, du Génie Rural, des Eaux et Forêts (Institut national de Recherche en Sciences et Technologies pour l'Environnement et l'Agriculture)
CEN	Centre d'Etudes de la Neige
CEPMMT	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
DGA	Délégation générale pour l'armement
DGPR	Direction Générale de la Prévention des Risques
EEA	Agence Environnementale Européenne
ESA	European Space Agency
ETNA	Division Ecoulements Torrentiels, Neige et Avalanches du CEMAGREF
EUFAR	EUropean Facility for Airborne Research
EUMETNET	EUropean METeorological NETwork
EUMETSAT	Organisation européenne pour l´exploitation de satellites météorologiques
ICARE	International Conference on Airborne Research for the Environment
IFREMER	Institut Francais de Recherche pour l'Exploitation de la MER
INERIS	Institut National de l'Environnement et des RISques
INRIA	Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique
INSU	Institut National des Sciences de l'Univers
IPEV	Institut Paul Emile Victor
IRD	Institut de Recherche pour le Développement
IRSTEA	Institut national de Recherche en Sciences et Technologies pour l'Environnement et l'Agriculture (anciennement CEMAGREF)
JMA	Japan Meteorological Agency
MEDDTL	Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement
MERCATOR-OCEAN	Société Civile Française d'océanographie opérationnelle
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

3SR	Laboratoire Sols – Solides – Structures – Rhéologie, UJF Grenoble/CNRS/Grenoble INP
CESBIO	Centre d'Etudes Spatiales de la BIOsphère
CNRM	Centre National de Recherches Météorologiques
CNRM-GAME	Groupe d'études de l'Atmosphère MEtéorologique
CNRS	Centre National de Recherches Scientifiques
DSO	Direction des Systèmes d'Observation (Météo-France)
GAME	Groupe d'Etude de l'Atmosphère Météorologique
IFSTTAR	Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux
IGN	Institut Géographique National
IPSL	Institut Pierre Simon Laplace
LAMP	Laboratoire de Météorologie Physique
LATMOS	Laboratoire ATmosphères, Milieux, Observations Spatiales
LCP	Laboratoire Chimie et Procédés
LEGI	Laboratoire des écoulements physiques et industriels
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 Intercomparaison Project
CYPRIM	projet Cyclogénèse et précipitations intenses dans la zone méditerranéenne
ESURFMAR	Eumetnet SURFace MARine programme
GHRSST	International Group for High Resolution SST
GLOSCAL	GLobal Ocean Surface salinity CALibration and validation
HyMeX	Hydrological cYcle in the Mediterranean EXperiment
LEFE	programme national « Les Enveloppes Fluides et l'Environnement »
MEPRA	Modèle Expert de Prévision du Risque d'Avalanche (modélisation)
METOP	METeorological Operational Polar satellites
PNRA	Programma Nazionale di Recerche in Antartide
QUANTIFY	Programme QUANTIFYing the climate impact of global and European transport systems
RHYTMME	Risques HYdro-météorologiques en Territoires de Montagnes et MEditerranéens
SCAMPEI	Scénarios Climatiques Adaptés aux Montagnes : Phénomènes extrêmes, Enneigement et Incertitudes – projet de l'ANR coordonné par le CNRM
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

AIRS	Sondeur Infrarouge avancé
ALADIN	Aire Limitée Adaptation Dynamique et développement InterNational
AMSR	Advanced Microwave Scanning Radiometer
AMSU	Advanced Microwave Sounding Unit
AMSU-A	Advanced Microwave Sounding Unit-A
AMSU-B	Advanced Microwave Sounding Unit-B
ANASYG	ANAlyse Synoptique Graphique
ANTILOPE	ANalyse par spaTIaLisation hOraire des PrEcipitations
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 Arperture Radar
ASCAT	Advanced SCATterometer
ASTEX	Atlantic Stratocumulus Transition EXperiment
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
CFMIP Cloud Feedback Intercomparison Project
CFOSAT Chinese-French SATellite
ChArMEx Chemistry-Aerosol Mediterranean Experiment
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
COP Contrat d'Objectifs et de Performances
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.
DMT Dropplet Measurement Technologies
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 GuinEE
ENVISAT ENVIronmental SATellite
ERA Re-Analysis
EUCLIPSE European Union Cloud Intercomparison, Process Study & Evaluation (Project LES : Large - Eddy Simulation)
FAB Fonctionnal Aerospace Block
FABEC Functional Airspace Block Europe Central
FAR Fausse AleRte
FSO Forecast Sensitivity to Observations
GELATO Global Experimental Leads and ice for ATmosphere and Ocean
GIEC Groupe Intergouvernemental d'experts sur l'Evolution du Climat
GMAP Groupe de Modélisation et d'Assimilation pour la Prévision
GMEI Groupe de Météorologie Expérimentale et Instrumentale
GMES Global Monitoring for Environment and Security
GPP Gross Primary Production
GPS Global Positionning System
HIRLAM HIgh Resolution Limited Area Model
HISCRTM HIgh Spectral resolution Cloudy-sky Radiative Transfer Model
HSS Measurement of improvement of the forecast
IAGOS In-service Aircraft for Global Observing System
IASI Interféromètre Atmosphérique de Sondage Infrarouge
IFS Integrated Forecasting System
ISBA - ES Interaction between Soil, Biosphere and Atmosphere- Modèle numérique du CNRM représentant l'évolution du sol en surface (végétation incluse) et en profondeur, mettant particulièrement l'accent sur l'évolution de la couverture de neige
ISFC Indice de Segmentation de la Composante de Fourier
ISIS Algorithme de suivi automatique des systèmes identifiés à partir de l'imagerie infra-rouge de Météosat
LAI Leaf Area Index
Land-SAF LAND Satellite Application Facilities
LCCS Land Cover Classification System
LES Large Eddy Simulation model
LISA LIdar SAtellite
MEDUP MEDiterranean intense events : Uncertainties and Propagation on environment
Megha-Tropiques Satellite fanco-indien dédié à l'étude du cycle de l'eau et des échanges d'énergie dans la zone tropicale
MERSEA Marine EnviRonment and Security for the European Area
MESO-NH Modèle à MESO-échelle Non Hydrostatisque
MFWAM Météo-France WAve Model
MHS Microwave Humidity Sounder
MNPCA Microphysique des Nuages et de Physico-Chimie de l'Atmosphère
MOCAGE MOdélisation de la Chimie Atmosphérique de Grande Echelle (modélisation)
MODCOU MODèle hydrologique COUplé surface-souterrain.
MODIS MODerate-resolution Imaging Spectro-radiometer (instrument)
MoMa Méthodes Mathématiques pour le couplage modèles et données dans les systèmes non-linéaires stochastiques à grand nombre de degrés de liberté
MOTHY MOdèle de Transport d'HYdrocarbure
MRR Micro Rain Radars
NAO North Atlantic Oscillation
NEMO Nucleus for European Modelling of Ocean
NSF Norges StandardiseringsForbund
OPIC Objets pour la Prévision Immédiate de la Convection
ORCHIDEE ORganizing Carbon and Hydrology in Dynamic EcosystEms
OSTIA Operational Sea surface Temperature sea Ice Analysis
OTICE Organisation du Traité d'Interdiction Complète des Essais nucléaires
PALM Projet d'Assimilation par Logiciel Multi-méthodes
PEARP Prévision d'Ensemble ARPège
PI Prévision Immédiate
PN Prévision Numérique
PNT Prévision Numérique du Temps
POD PrObabilité de Détection
POI Période d'Observation Intensive
PRESYG PREvision Synoptique Graphique
Prev'Air Plateforme nationale de la qualité de l'air
PREVIBOSS PREvisibilité à courte échéance de la variabilité de la VIsibilité dans le cycle de vie du Brouillard, à partir de données d'Observation Sol et Satellite.
Prévi-Prob Projet sur les prévisions probabilistes
PSI Pollutant Standard Index
PVM Particulate Volume Monitor
RADOME Réseau d'Acquisition de Données d'Observations Météorologiques Etendu
RCP8.5 8.5 W/m² Representative Concentration Pathway corresponding to a 8.5 W/m² radiative forcing at the end of the 21st century compared to preindustrial climate
RHI Range Height Indicator (coupe verticale)
ROC Relative Operating Characteristic curve
SAFNWP Satellite Application Facility for Numerical Weather Prediction
SAFRAN Système d'Analyse Fournissant des Renseignements Atmosphériques à la Neige
SATOB Satellite Observation
SCM Single-Column Model
SESAR Single European Sky ATM Research
SEVIRI Spinning Enhanced Visible and Infra-Red Imager
SFRI Système Français de Recherche et d'Innovation
SIM SAFRAN ISBA MODCOU
SIRTA Site Instrumental de Recherche par Télédétection Atmosphérique
SMOSMANIA Soil Moisture Observing System – Meteorological Automatic Network Integrated Application
SMT Système Mondial de Télécommunications
SOERE/GLACIOCLIM Système d'Observation et d'Expérimentation sur le long terme pour la Recherche en Environnement : « Les GLACIers, un Observatoire du CLIMat ».
SOP Special Observing Period
SSMI/S Special Sounder Microwave Imager/Sounder
SURFEX SURFace EXternalisée
SVP Surface Velocity Program
SWI Soil Wetness Index
SWIM Surface Wave Investigation and Monitoring
SYMPOSIUM SYstème Météorologique de Prévision Orienté Services, Intéressant des Usagers Multiples – découpage du territoire métropolitain en 615 zones « climatiquement » homogènes, dont la taille varie de 10 à 30 km
TEB Town Energy Budget
TRIP Total Runoff Integrating Pathways
TSM Températures de Surface de la Mer
UHF Ultra-Haute Fréquence
UNIBAS Modèle de précipitations
VARPACK Current tool for diagnostic analysis in Meteo-France
VHF Very High Frequency
WWLLN World Wide Lightning Location Network

Organigramme du Centre National de Recherches Météorologiques

A la date du : 31.12.2012

Directeur : **Philippe Bougeault**

Directeur adjoint - Toulouse : **Joël Poitevin**
Directeur adjoint scientifique - Toulouse : **Marc Pontaud**
Directeur adjoint - Saint-Mandé : **Pascale Delecluse**

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 : **Alain Dabas**

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 : **Dominique Giard**

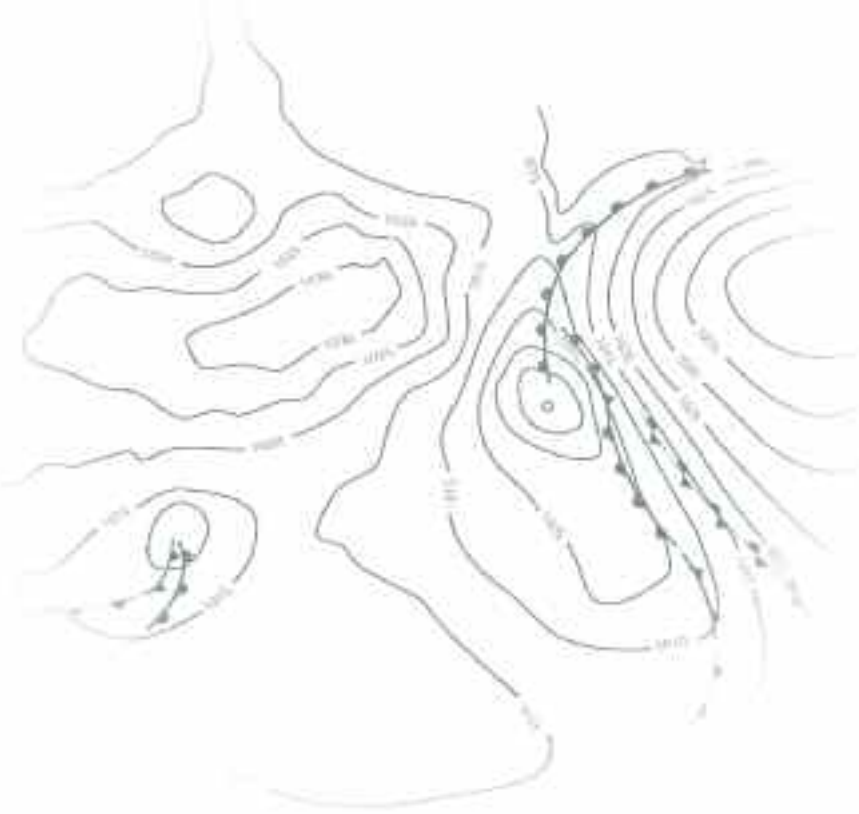
SERVICES COMMUNS — SC - Toulouse
Responsable : **Joël Poitevin**

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

Météo-France
73, avenue de Paris
94165 Saint-Mandé Cedex
Tél. : +33 (0) 1 77 94 77 94
Fax : + 33 (0) 1 77 94 70 05
www.meteofrance.com

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 60 07 96 00
http://www.cnrm-game.fr
Mail : contact@cnrm.meteo.fr



Création D2C/IMP Trappes

Météo-France est certifié ISO 9001
par Bureau Veritas Certification
© Météo-France 2013
Dépôt légal mai 2013
ISSN : 2116-438X

METEO FRANCE
Toujours un temps d'avance