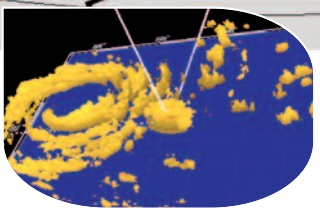
METEO FRANCE



Rapport **Recherche**

2014

Rapport
Recherche 2014

Sommaire

Prévision numérique du temps ● page 6
Modélisation
Assimilation
Outils et méthodes de valorisation

Étude des processus ● page 16
Compréhension
Focus sur les tempêtes passées

Climat ● page 26
Modélisation du climat et du changement climatique
Prévisions saisonnière et climatique
Diagnostic et détection d'évolution climatique

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

Surfaces continentales ● page 42

Neige ● page 46

Océanographie ● page 50

Techniques, campagnes et produits d'observation ● page 56

Recherche et aéronautique ● page 62

Annexes ● page 65

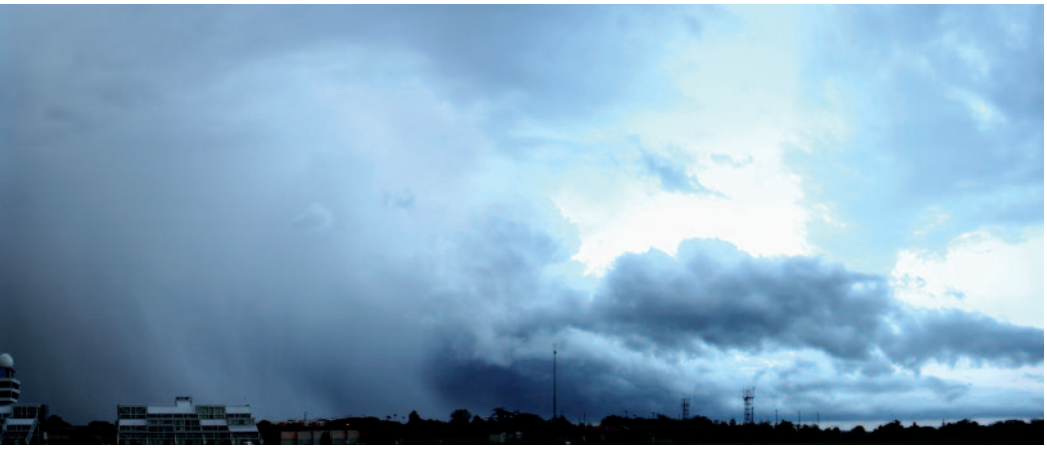
La recherche occupe une place privilégiée à Météo-France, à la source des innovations mises en œuvre en matière d'observation, de prévision numérique du temps et du climat. Elle permet à l'établissement d'améliorer sans cesse la qualité de ses produits opérationnels et d'ouvrir de nouveaux chantiers pour répondre aux attentes de la société et des pouvoirs publics.

Les objectifs de recherche sont décrits dans la Stratégie Scientifique 2013-2020, avec sept orientations structurantes :

- poursuivre la convergence entre les modèles de prévision du temps et du climat
- améliorer la représentation des processus physiques et des couplages
- augmenter régulièrement la résolution de tous les systèmes de prévision
- généraliser l'utilisation des techniques d'ensembles
- maîtriser l'utilisation et l'évolution des systèmes opérationnels d'observation
- évaluer l'impact des activités humaines sur le climat
- explorer la prévisibilité du climat, de l'horizon infra-saisonnier à décennal.

Le présent rapport illustre quelques résultats saillants de l'année 2014. On y notera notamment les progrès de la préparation des nouveaux systèmes de prévision numérique du temps, adaptés aux nouveaux moyens de calcul de Météo-France. Les campagnes de terrain conduites dans les années précédentes (AMMA, HYMEX, etc...) fournissent matière à de nombreuses recherches et permettent de valider les systèmes de prévision, notamment la future prévision d'ensemble AROME. L'étude fine des processus microphysiques sous-tend l'amélioration de la prévision des phénomènes extrêmes comme la grêle ou les cyclones tropicaux. Le modèle d'échelle fine AROME commence à être utilisé pour les projections climatiques, ce qui va ouvrir un champ nouveau, l'étude de l'impact du changement climatique sur les épisodes cévenols, en réponse à une question très souvent posée par les pouvoirs publics. L'amélioration des moyens de mesures occupe également une place significative dans nos travaux.

L'année 2014 a aussi été celle de l'évaluation du GAME, notre principal laboratoire, par le Haut Conseil pour l'Evaluation de la Recherche et de l'Enseignement Supérieur. Cette évaluation indépendante a confirmé la très grande qualité de nos équipes et



© Camille Luxen

leur rôle structurant au niveau national. J'ai plaisir à reproduire ci-dessous l'avis global du HCERES sur notre laboratoire :
« *Le GAME joue un rôle très spécifique dans le paysage national. Laboratoire de Météo-France, il doit développer la recherche amont nécessaire aux missions opérationnelles de prévision. Son rattachement au CNRS, avec un statut d'UMR, correspond par ailleurs à un rôle majeur qu'il démontre au sein du monde de la recherche académique. Le GAME assure de manière remarquable cette dualité. Il est un des contributeurs importants, au niveau international, à l'évolution des outils de modélisation pour la prévision numérique du temps. Il développe aussi des recherches amont sur les processus météorologiques et climatiques pour une grande variété d'échelles d'espace et de temps. Le GAME assure au total une recherche de spectre large, visant à développer une compétence relativement exhaustive dans le domaine Météo/Climat/Qualité de l'air. Il a su en outre obtenir une reconnaissance internationale forte dans un certain nombre de domaines phares, comme détaillé dans l'évaluation par équipe. Le GAME est une structure d'excellence. Les personnels du GAME ont par ailleurs marqué tout au long de la visite une adhésion forte aux missions de leur laboratoire et une grande confiance dans sa direction.* »

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

Prévision numérique du temps

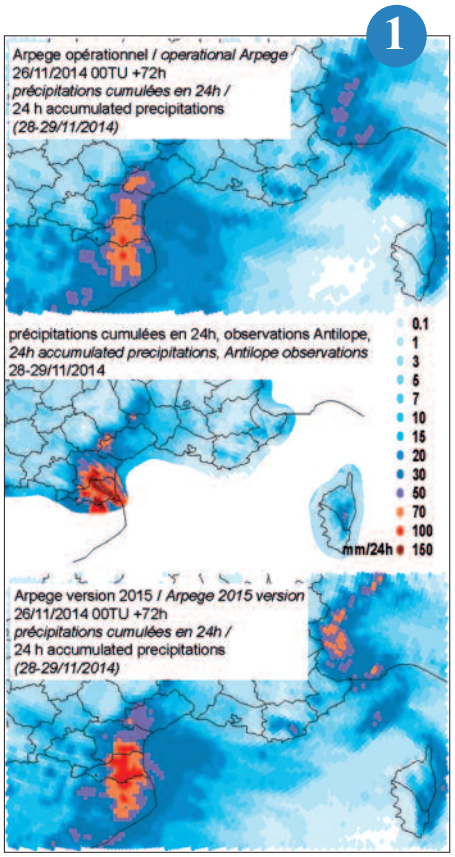
Une importante activité de fond du groupe de prévision numérique consiste à réaliser l'intégration dans un code source unique d'évolutions proposées par les équipes des services météorologiques européens regroupés dans les consortiums ALADIN et HIRLAM, par les équipes du CEPMMT ainsi que par ses propres chercheurs et ingénieurs. Cette activité permet de mutualiser des développements, bien que lourde, elle contribue à permettre à Météo-France de disposer d'un système de prévision numérique au niveau de l'état de l'art avec moins de moyens que les services analogues. Ces coopérations donnent le contexte de différentes actions du groupe en vue de préparer le moyen et le long terme. Le CEPMMT a pris l'initiative de réorganisations et de récritures partielles mais importantes du code, auxquelles le groupe contribue tant sur le plan scientifique que technique. Ainsi, un nouvel algorithme d'assimilation de données, basé sur des ensembles de grande taille, a fait ses premiers pas. Il est écrit d'une nouvelle manière, en langage objet. Toujours en assimilation de données, une thèse a apporté un cadre théorique rigoureux aux estimations de covariances d'erreur et à leur localisation dans l'espace, nécessaires à ces nouvelles approches de l'assimilation. Les tous premiers essais d'un algorithme de cœur dynamique très différent de l'actuel ont eu lieu, pour le cas où la parallélisation de l'actuel noyau deviendrait insuffisante aux futures résolutions d'AROME. De ce côté, des expériences allant de 500m jusqu'à 50m de résolution sont en cours sur une zone de montagne, pour identifier les difficultés. Un cadre pour tenter de progresser en prévision du brouillard, grâce à une résolution 3D très poussée près du sol, a été mis en place.
Du côté des actions de plus court terme, le portage de l'ensemble de la chaîne sur le nouveau calculateur Bull-Intel a abouti en janvier. Ce portage correspondait à l'abandon de la technologie « vectorielle » des processeurs, une évolution préparée depuis 2010. La bonne performance des codes opérationnels dépend désormais de leur capacité à permettre aux calculs de se dérouler en parallèle. Ce portage était aussi d'une étape en vue de la mise en place de nouvelles versions des différentes applications de prévision numérique du temps. Les articles qui suivent présentent quelques caractéristiques de ces nouvelles versions, ou bien des exemples des progrès qu'elles permettent.
La fin de l'année 2013 et le début de l'année 2014 ont vu se succéder une série de tempêtes. Tous ces épisodes ont été bien anticipés. Le chemin parcouru depuis l'hiver 1989-1990, assez semblable, est considérable. Le comportement de la chaîne ARPEGE au cours de cet hiver, tel que mesuré par différents scores, constitue en soi un résultat qui mérite mention. De façon inédite, le score de référence sur la masse a progressé (un peu) au cœur de cette période, les nouveaux scores de précipitations aussi, alors qu'une telle situation a, jusqu'ici, donné une période de mauvaises performances. Cette séquence semble donc valider d'une part la disponibilité d'une quantité inédite d'observations due à la présence en orbite de trois sondeurs hyper-spectraux infrarouges, tous utilisés par ARPEGE et AROME, d'autre part, près de huit années de travaux pionniers sur l'association d'un ensemble d'assimilation à l'assimilation variationnelle 4D (4D-Var) de référence.

Modélisation

Préparation de la version 2015 du système de prévision mondial ARPEGE

Une évolution significative du système global de prévision ARPEGE est permise par le nouveau calculateur de Météo-France, tout en s'inscrivant dans la priorité donnée aux différentes versions d'AROME dans la nouvelle répartition du temps de calcul.
La résolution horizontale est améliorée, passant de 60 à 36 km dans le Pacifique sud et de 10 à 7,5 km sur l'Europe de l'Ouest. La résolution maximale des incréments d'analyse est raffinée de 62 à 50 km. Le découpage vertical est également plus fin (105 niveaux au lieu de 70).
Les covariances d'erreur de prévision utilisées dans l'analyse 4D-Var sont mieux échantillonnées grâce à la mise en œuvre d'une assimi-lation d'ensemble à 25 membres, comme le montre un autre article plus loin. L'initialisation, la résolution temporelle de la fenêtre d'assimilation et le « débiaisage » des observations de satellites sont également améliorés.
Le nombre d'observations utilisées croît nettement, avec un doublement de la densité des observations de satellites en entrée de l'analyse et l'assimilation de nouvelles observations. Pour se limiter à un seul exemple, on utilise désormais des canaux de sondage micro-ondes de l'instrument SAPHIR sur Megha-Tropiques.
Cette nouvelle version du système ARPEGE améliore les scores des paramètres synoptiques, mais également, de manière plus modeste, les scores de précipitations sur la France, qui sont un des points forts de ce système. La figure illustre l'apport de ces évolutions sur un des épisodes méditerranéens de fin novembre. La prévision de la nouvelle version, notons-le, a elle aussi été effectuée en temps réel.

1



Précipitations cumulées en 24 h (en mm) pour la journée du 29 novembre 2014 : analyse Antilope (au milieu), prévisions ARPEGE à 72h d'échéance avec les configurations opérationnelle (en haut) et par la nouvelle version décrite dans l'article, prévue pour l'opérationnel début 2015 (en bas).

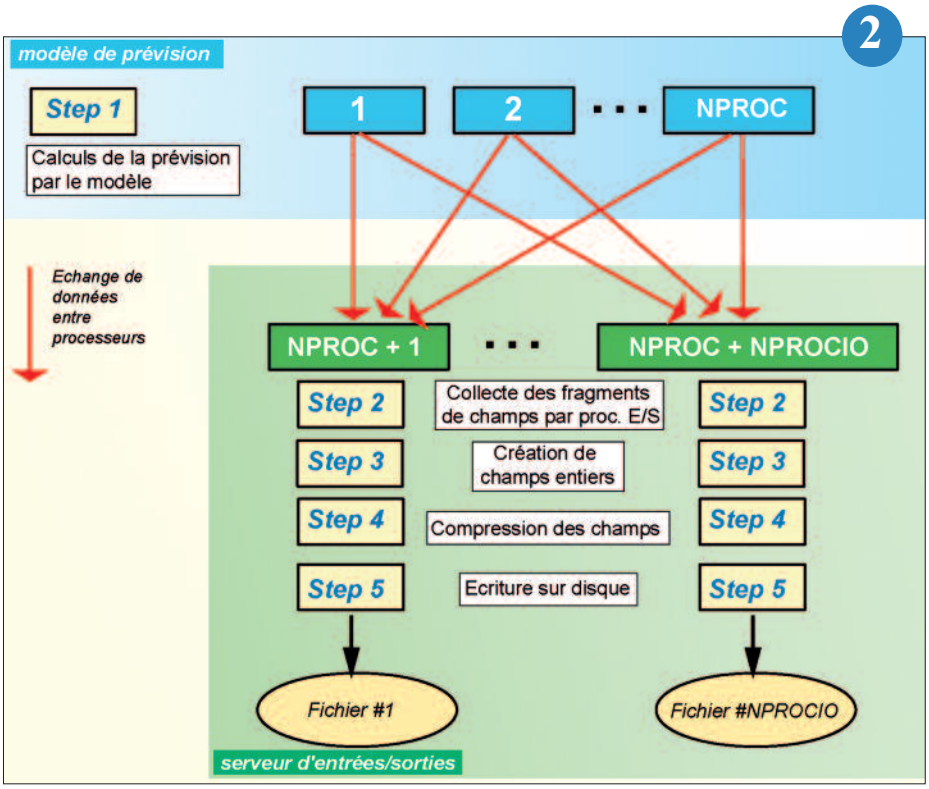


Schéma du serveur d'entrées/sorties associé aux modèles opérationnels de Météo-France en cours de fonctionnement sur un calculateur parallèle, comptant de nombreux processeurs.

Parallélisation des chaînes de prévision : mise en œuvre d'un serveur d'entrées/sorties

Le nouveau système de calcul intensif utilisé par Météo-France depuis 2013 est composé de deux calculateurs scalaires BULL dotés chacun de plusieurs milliers de processeurs scalaires (20 000 cœurs répartis sur 1 000 nœuds). Dans ces nouvelles conditions, le schéma d'entrées-sorties (E/S) utilisé par les modèles opérationnels de prévision numérique a évolué vers une approche distribuée et asynchrone.

Ce nouveau schéma, appelé "serveur d'entrées-sorties" comprend les étapes suivantes, illustrées sur la figure :

- récupération des morceaux de champs établis par l'intégration du modèle, puis, pendant que cette intégration se poursuit ;
- reconstitution des champs sur un certain nombre de processeurs dédiés distincts de ceux affectés aux calculs ;
- compactage de ces champs par ces mêmes processeurs ;
- écriture des champs compactés dans plusieurs fichiers (un fichier par processeur dédié aux E/S).

Cette approche est indispensable pour atteindre les durées imposées pour réaliser une prévision d'AROME à résolution de 1,3 km.

Sa mise en œuvre s'est révélée complexe, car une donnée jusqu'ici contenue dans un seul fichier est désormais dispersée entre plusieurs d'entre eux. De nouvelles commandes pour manipuler ces paquets de fichiers ont aussi été créées et elles ont remplacé toutes les commandes habituelles de copie, déplacement et autres partout où celles-ci sont présentes. Après un travail important de plusieurs services, ce nouveau dispositif est opérationnel depuis le mois de juillet 2014. La lecture distribuée de la même manière est envisageable aussi pour, par exemple, lire les conditions aux limites latérales nécessaires à AROME.

2

Les méthodes stochastiques pour la modélisation des processus sous-maille

Actuellement, l'augmentation de la résolution des modèles météorologiques repose sur deux ingrédients essentiels : une meilleure compréhension et une meilleure modélisation des phénomènes physiques de méso-échelle (de quelques dizaines de mètres au kilomètre).
Les mailles des modèles opérationnels sont pour le moment trop larges pour représenter correctement ces phénomènes, qui sont par conséquent dits « sous-maille ». L'ensemble des processus sous-maille fait l'objet de paramétrisations qui varient suivant la résolution des modèles. L'idée est de modéliser les processus turbulents sous-maille à l'aide de systèmes de particules.
Les premières expériences ont démontré le potentiel élevé de cette technique qui donne accès à la variabilité des processus à l'intérieur des mailles d'un modèle. Les particules évoluent à des échelles plus fines que celles du modèle, tout en restant cohérentes, en moyenne, avec les champs du modèle. A l'avenir, cette technique pourrait permettre de modéliser l'atmosphère turbulente à fine échelle sur une aire limitée (autour d'un aéroport par exemple), mais également de développer des paramétrisations de la turbulence sous-maille plus réalistes et adaptées aux conditions météorologiques.

3

Le couplage océan-atmosphère entre MERCATOR et AROME pour la prévision des cyclones

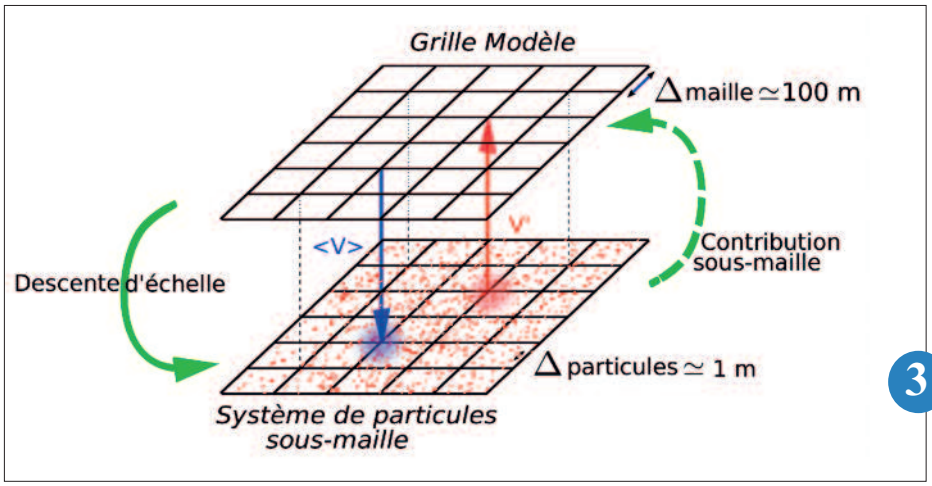
La chaleur contenue dans les couches supérieures de l'océan constitue la principale source d'énergie des cyclones tropicaux matures. L'évolution de leur intensité est par conséquent contrainte par le contenu thermique superficiel de l'océan qui évolue lui-même fortement au cours du passage d'un cyclone.
Une première étude visant à évaluer l'impact du couplage océanique sur la prévision cyclonique a été menée à partir du modèle ALADIN-Réunion. Une collaboration fructueuse avec MERCATOR a conduit à la mise en place d'une filière d'alimentation temps réel des champs océaniques requis par le modèle. La plupart des systèmes observés au cours des saisons 2012-2013 et 2013-2014 ont été rejoués en activant le couplage océanique 1D disponible via le module SURFEX. Les résultats obtenus révèlent que le couplage a un impact significatif (et globalement assez positif) sur la prévision des cyclones. On montre notamment que le couplage océan-atmosphère permet de limiter les phénomènes de sur-intensification couramment observés dans les systèmes les plus intenses et d'améliorer, parfois très sensiblement, les prévisions de trajectoires.
Dans une perspective d'utilisation du modèle AROME pour la prévision des cyclones, une configuration AROME-Indien en mode 3Dvar et couplage océanique (avec CMO1D) a été mise en place. Cette configuration "recherche" est utilisée pour évaluer l'apport du couplage sur les cas de Bejisa (Déc2013-Janv2014) et Hellen (Mars-Avril2014). La figure « a » montre l'importance du couplage océanique et du 3Dvar dans le cas de l'analyse du système Bejisa, alors que la figure « b » présente les résultats pour un ensemble de 7 réseaux de prévision. Les sur-intensifications disparaissent dans le cas du couplage océanique.

4

AROME à résolution de 1,3 km : dernières mises au point

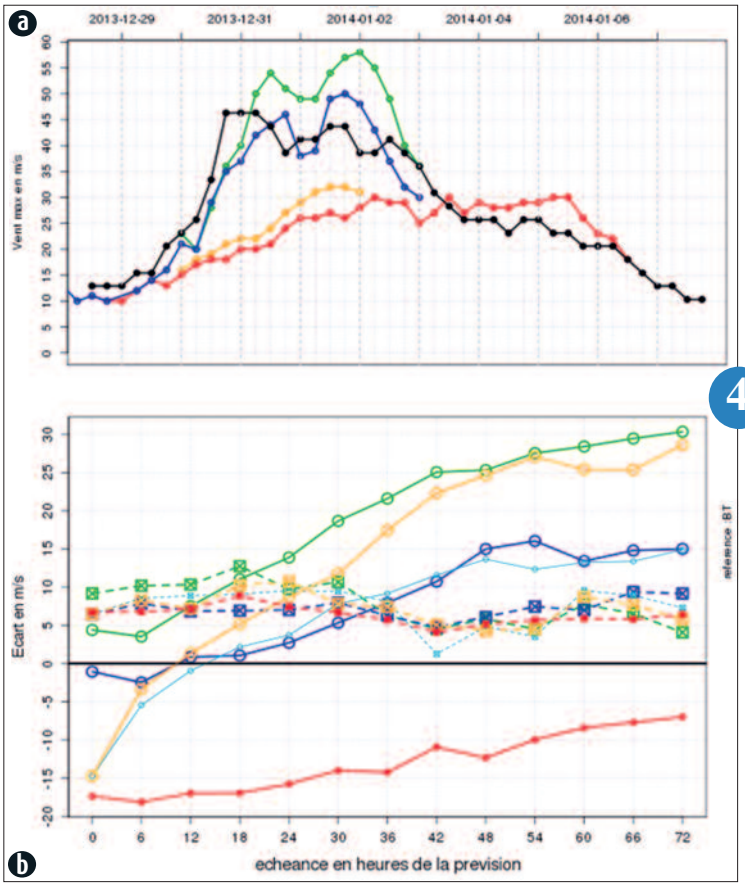
Le premier semestre de l'année a permis d'effectuer les derniers réglages de la nouvelle version du modèle AROME, avec sa résolution horizontale de 1,3 km permise par le nouveau calculateur. La résolution verticale à 90 niveaux fixée en 2013 présente un niveau le plus bas à 5 m et le sommet du modèle est laissé en dessous de la stratopause. Concernant le noyau dynamique du modèle, des options garantissant la stabilité numérique jusqu'à des pas de temps de 60 s ont été validées. Une attention particulière a été portée à la diffusion numérique ainsi qu'au schéma d'advection semi-Lagrangien. Ce dernier bénéficie d'une nouvelle formulation qui limite la surestimation des courants de densité sous les cellules convectives. Amener le niveau le plus bas du modèle à 5 m (au lieu de 10 m aujourd'hui) a permis de simplifier l'interface entre le modèle de surface SURFEX et l'atmosphère en s'affranchissant de l'utilisation du module de couche limite de surface utilisé en opérationnel. En effet, avec un niveau si proche du sol, les occurrences de découplage entre l'atmosphère et la surface conduisant à des températures nocturnes trop froides sont très réduites. Un travail important a aussi été conduit sur les champs prévus en sortie : nouvelle mécanique pour produire ces champs, nouveau domaine de sortie, production plus fréquente de fichiers de surface, augmentation de la résolution verticale de certains champs et enfin quelques nouveaux champs. Ainsi, par exemple, le taux de dissipation de l'énergie turbulente, pour l'aéronautique, utile pour estimer le temps de remise en équilibre de l'atmosphère après le passage d'un avion.
Une chaîne AROME-1,3 km fonctionne en temps réel et est évaluée depuis fin juin 2014. Les scores ainsi que les études de cas confirment une nette amélioration des précipitations, avec comme l'illustre la figure, une diminution du biais positif qui était particulièrement marqué entre 12 et 18 TU (période pendant laquelle a lieu le maximum de précipitations convectives). Le comportement du modèle sur les épisodes Cévenols de cet automne est amélioré à l'image de ces scores.

5



3

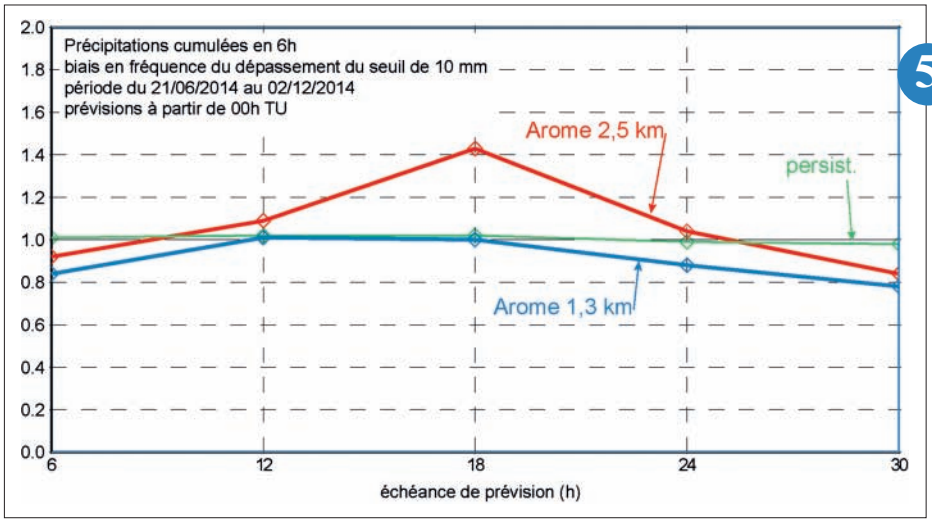
Le modèle en point de grille force le système de particules sous-maille avec des grandeurs moyennes, notées <V>. C'est l'étape de descente d'échelle. Les particules évoluent suivant une dynamique locale et restituent des grandeurs sous-maille, V'.



4

(a) : Vent maximum pour le cyclone Bejisa, observé (noir) et analysé par différentes configurations : CEPMMT (rouge), Arome-Indien en Adaptation dynamique du CEPMMT (orange), Arome 3Dvar Non couplé (vert) et Arome 3Dvar Couplé (bleu).

(b) : Biais (lignes + cercle) et Ecart-type (pointillés + carré), par rapport à l'observation, du vent maximum prévu pour le cyclone Bejisa pour différentes configurations en fonction des échéances : CEPMMT (rouge), AROME-Indien Non couplé en Adaptation dynamique du CEPMMT (orange), AROME 3Dvar Non couplé (vert), AROME-Indien couplé en Adaptation dynamique du CEPMMT (bleu clair) et AROME 3Dvar Couplé (bleu).



5

Biais de la fréquence de dépassement de seuils des prévisions de précipitations cumulées en 6h entre le 21 juin et le 2 décembre 2014 pour le seuil de 10 mm/6h en fonction de l'échéance de prévision à partir de 00TU (AROME opérationnel (résolution de 2,5 km) en rouge, nouvel AROME-1,3km en bleu, persistance en vert).

Assimilation

Un cycle d'assimilation de données 3D Var à fréquence horaire pour AROME

L'incorporation des observations dans le système Arome, son assimilation, était jusqu'à présent réalisée toutes les 3 heures. Elle peut maintenant être effectuée avec une période horaire. Ceci permet de mieux tirer profit des observations à haute fréquence temporelle : radars, stations de surface, délai du signal GPS reçu au sol et d'autres. Celles-ci sont très informatives aux échelles horizontales (1-3 km) résolues par le système. Ainsi, les observations comprises dans la fenêtre temporelle [H-30 min, H+30 min[sont combinées à une prévision à +1 h issue de l'analyse précédente pour construire l'état du modèle analysé à l'heure H. Cette analyse sert à initialiser une prévision à +1 h qui sera utilisée comme ébauche pour assimiler les observations suivantes à l'heure H+1 h, créant ainsi de suite un cycle continu, horaire, d'assimilation des observations.
Dans un contexte opérationnel, les prévisions longues (jusqu'à +42 h d'échéances) lancées toutes les 3 h à partir de l'analyse H correspondante doivent attendre que les conditions latérales fournies par le modèle coupleur ARPEGE soient disponibles. Ces prévisions sont en mesure de tirer profit de l'information analysée aussi à H+1 h. Pour cela, la prévision lancée avec l'analyse à l'heure H ajoute les informations de l'analyse de l'heure H+1 h grâce à un algorithme spécial de mise à jour progressive (IAU en anglais) : l'incrément d'analyse de H+1 h est ajouté par fraction au cours de l'intégration du modèle pendant la période [H+30 min ; H+1 h 30].
Cette configuration du système AROME-France permet une amélioration des performances du système notamment lors des situations météorologiques convectives qui sont très sensibles aux conditions initiales. Actuellement en phase de test en parallèle, elle devrait devenir opérationnelle début 2015.

6

Meilleure représentation de la dynamique des erreurs de prévision au moyen d'une assimilation d'ensemble de plus grande taille

L'assimilation des observations dans les modèles de prévision numérique tels qu'ARPEGE passe par une bonne description des corrélations spatiales des erreurs de prévision, car celles-ci permettent de spatialiser les observations. L'estimation de ces corrélations repose actuellement sur une assimilation d'ensemble contenant 6 membres perturbés, ainsi que sur une moyenne temporelle sur les 4 jours les plus récents. Cela permet en effet de disposer au total d'une centaine de prévisions pour estimer les corrélations, qui sont ainsi recalculées une fois par jour.
Une nouvelle version de l'assimilation d'ensemble ARPEGE a été développée, basée notamment sur un ensemble de 25 membres, sur une moyenne temporelle des corrélations réduite à un jour et demi (au lieu de 4 jours), et sur une mise à jour des corrélations toutes les 6 heures (au lieu de 24 heures).
La figure illustre l'intérêt de la mise à jour plus fréquente des corrélations, au travers des variations géographiques des portées horizontales des corrélations, estimées pour la journée du 15 novembre 2013 à 06 h TU et 12 h TU. On observe en particulier que ces portées évoluent de manière sensible en 6 heures sur cette zone, ce qui est lié, entre autres choses, au déplacement des zones dépressionnaires.
Des études d'impact indiquent que cette meilleure représentation des corrélations, avec l'augmentation de la taille de l'ensemble, permet d'améliorer la qualité des prévisions. Cette nouvelle version de l'assimilation d'ensemble permet aussi de mieux initialiser les 35 membres de la prévision d'ensemble associée au modèle global ARPEGE, en lui fournissant 25 perturbations initiales indépendantes.
Ces évolutions font partie de la nouvelle version du système ARPEGE qui sera rendue opérationnelle en 2015.

7

Augmentation de la densité spatiale des observations IASI dans les systèmes ALADIN pour l'outre-mer

IASI est un sondeur hyper-spectral infrarouge à bord des satellites défilants européen Metop-A et Metop-B. Il fournit un sondage atmosphérique très précis avec des mesures indirectes de profils de températures et d'humidité, à l'intérieur d'un pixel de 12 km au nadir.
Après les résultats très positifs de l'assimilation à haute densité des données de IASI, dans AROME-France, les efforts se sont portés sur les quatre domaines ultramarins couverts par des systèmes ALADIN Outre-Mer (Réunion, Antilles-Guyane, Polynésie, Nouvelle Calédonie). La densité des observations de IASI utilisées dans les 4 assimilations a été accrue de 125 km à 70 km. Afin de permettre un choix pertinent des pixels à assimiler, tous les pixels sondés par IASI sont proposés à la sélection, au lieu d'un pixel sur 8 auparavant. La quantité d'information venant de IASI utilisée dans ces modèles se voit multipliée par environ 3,6.
L'impact sur la qualité des prévisions de cyclones a été évalué lors des saisons appropriées sur les domaines Réunion et Antilles-Guyane. La qualité des prévisions a été améliorée, en particulier celle des champs en basses couches de vent et d'humidité, jusqu'à 24-48 heures d'échéance et ainsi que celle du vent en haute troposphère. L'impact est neutre en moyenne sur les prévisions de trajectoire et d'intensité des cyclones. Une telle densité d'utilisation des données IASI ouvre la porte à une assimilation des variables nuageuses pour une description réaliste des systèmes dans les modèles Outre-Mer.

8

6

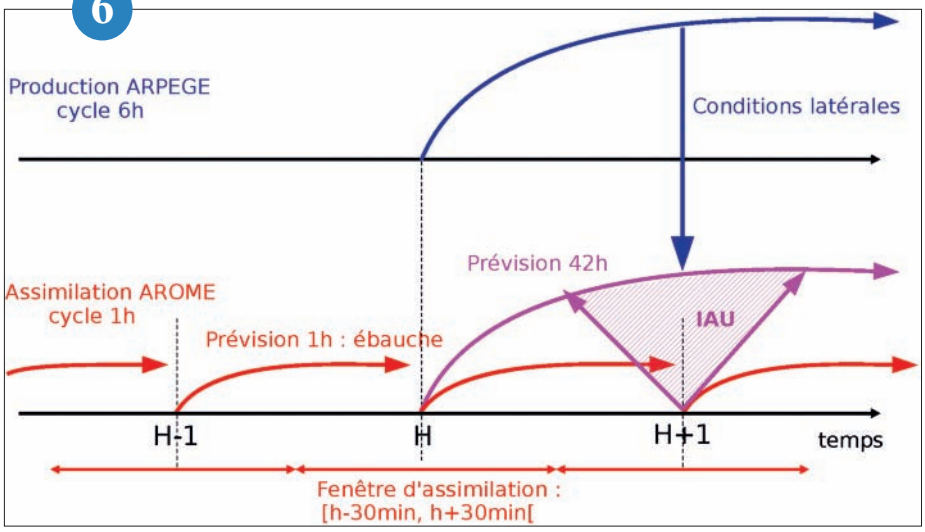
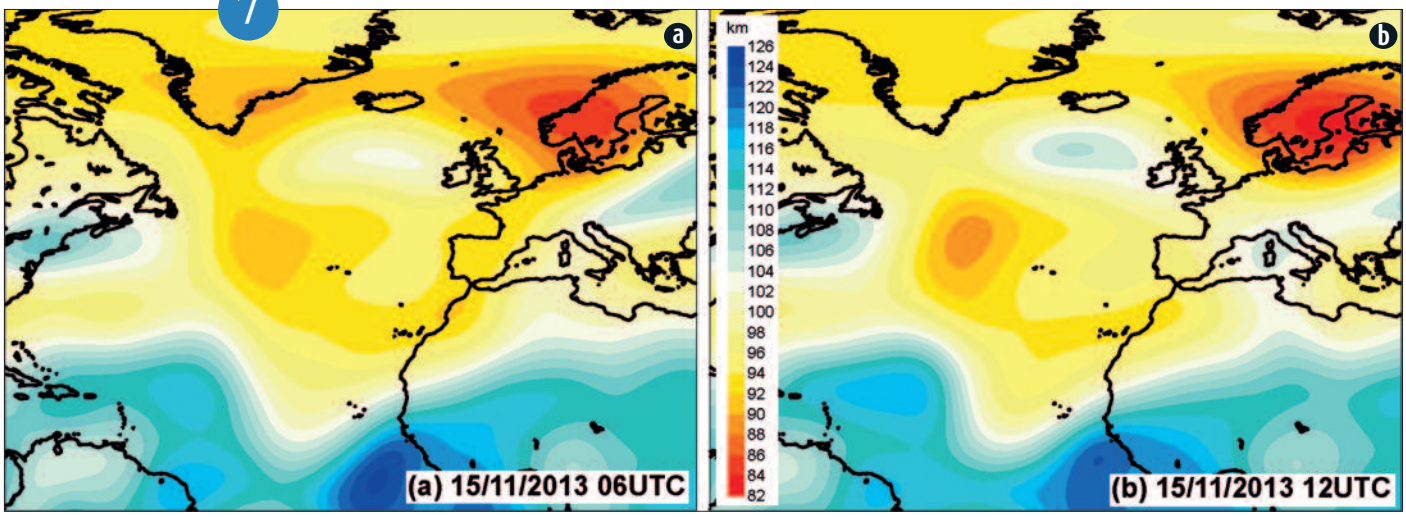
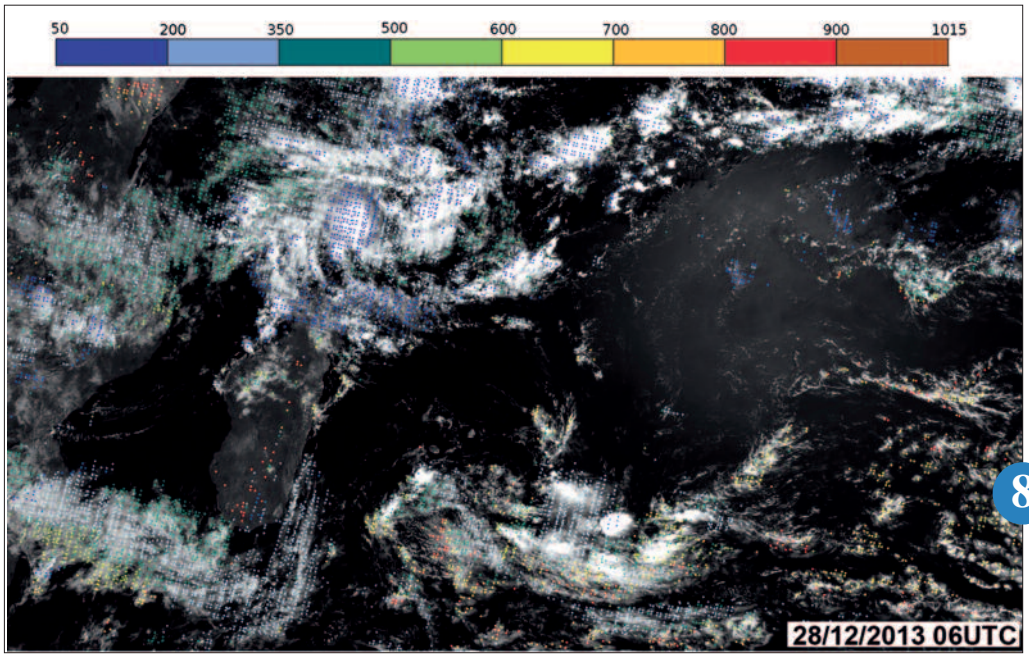


Schéma logique du nouveau cycle d'assimilation horaire du système AROME-France (rouge), et de l'un de ses réseaux de production de l'heure H avec l'ajout incrémental de l'analyse suivante (magenta) (valable pour H=00, 06, 12 et 18 UTC) et du cycle de production du modèle coupleur ARPEGE (bleu).

7



Portées horizontales des corrélations d'erreur de prévision du vent vers 300 hPa (9,2 km d'altitude, plages de couleurs, en km), estimées pour le 15 novembre 2013 à 06 h TU (a) et 12 h TU (b). La portée d'une fonction locale de corrélation est une mesure de son extension spatiale.



8

Pression de sommet de nuages déterminée à partir de IASI, au cours de la phase de développement du cyclone Bejisa dans l'Océan Indien, le 28 décembre 2013 à 06 h TU, sur le domaine ALADIN-Réunion. Echelle de couleur en hPa..

Impact d'une nouvelle composante de perturbation des conditions initiales dans la prévision d'ensemble

La représentation de l'incertitude à l'instant initial est un aspect essentiel d'une prévision d'ensemble avec un impact important sur la qualité des prévisions à courte échéance.
Deux approches sont couramment utilisées pour construire les états initiaux d'une prévision d'ensemble à l'échelle convective sur domaine limité :

- l'interpolation de perturbations données par une prévision d'ensemble globale de plus faible résolution. Cette méthode est simple et peu coûteuse mais elle ne permet pas de représenter l'incertitude initiale dans les échelles fines visées ;
- une assimilation d'ensemble. Cette méthode est plus coûteuse mais elle permet de caractériser l'incertitude initiale à toutes les échelles résolues par le modèle.

Les essais effectués avec la prévision d'ensemble AROME indiquent un avantage significatif de l'assimilation d'ensemble aux premières échéances. Ceci confirme la nécessité de représenter l'incertitude à toutes les échelles dès l'instant initial.
Dans ce contexte, la possibilité de générer des perturbations initiales de petite échelle à moindre coût a été examinée. La méthode proposée consiste à réaliser des tirages aléatoires de la matrice de covariance d'erreur de prévision du modèle AROME. Cela permet d'obtenir des perturbations dont la structure spatiale est cohérente avec les équations du modèle, quoique non reliée à la situation météorologique.
Une première évaluation montre que cette approche a un impact positif sur les scores probabilistes. Cela résulte de la réponse très courte des perturbations, qui s'organisent rapidement en structures cohérentes similaires à celles représentées par une assimilation d'ensemble.
Cette méthode peut ainsi être une alternative viable avant qu'une assimilation d'ensemble ne soit opérationnelle.

9

Outils et méthodes de valorisation

Utilisation des données HyMeX pour la vérification des prévisions

Des observations météorologiques abondantes sont indispensables pour améliorer les systèmes de prévision numérique du temps, car elles permettent d'étudier comment les innovations, développées dans les systèmes expérimentaux, influent sur le réalisme de leurs prévisions. Ici, les observations de surface collectées durant la campagne HyMeX ont été utilisées pour mettre au point le système de prévision d'ensemble AROME, qui fournira des prévisions probabilistes à haute résolution à partir de 2016. Durant l'automne 2012, ces observations permettent de multiplier par 3 la quantité d'informations exploitables sur les températures, humidités, vents et précipitations. Elles sont particulièrement adaptées pour l'étude des fortes précipitations. Après une phase de mise en forme et de contrôle qualité, ces données ont permis de mettre au point une représentation des incertitudes des conditions de surface dans le modèle, et de mieux comprendre les interactions entre ces surfaces, les conditions initiales et latérales.
Ces travaux ont permis de développer un système de prévision d'ensemble de bonne qualité pour les échéances courtes (environ 1 jour) sur la France et ses alentours. Les recherches continuent pour mieux utiliser les observations radar, et pour étudier les phénomènes de précipitations intenses sur des périodes couvrant plusieurs années.

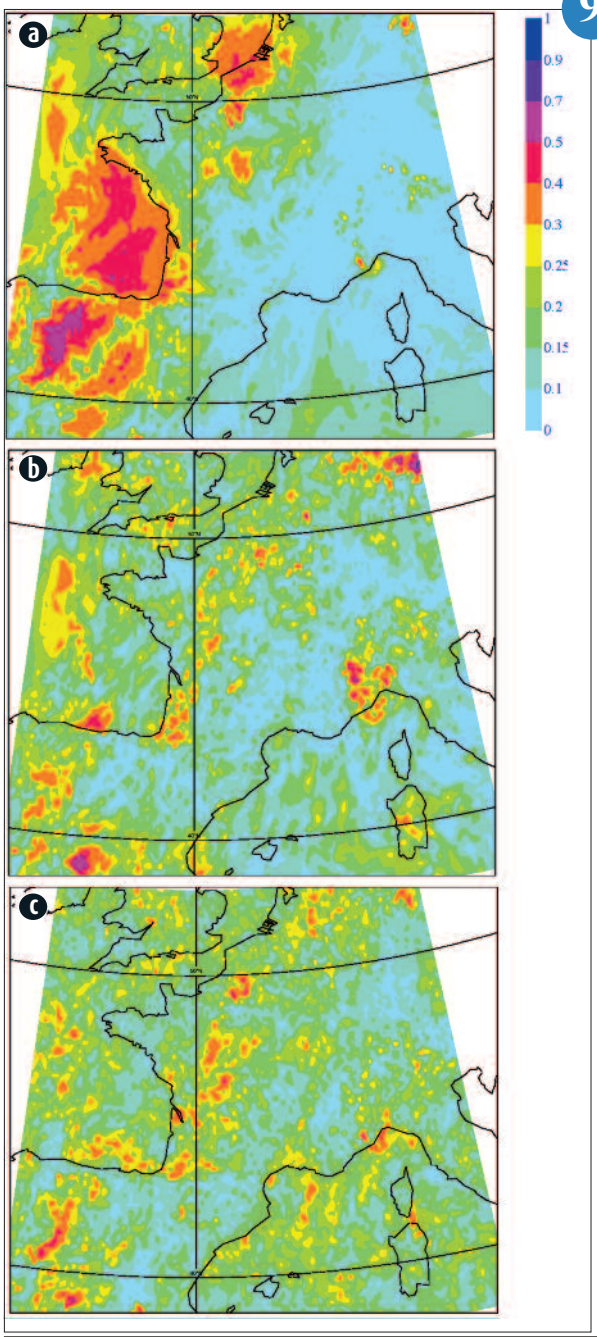
10

Vers une prévision d'événements extrêmes calibrée

Les systèmes de prévision numérique du temps présentent des défauts systématiques que la calibration (aussi appelée adaptation statistique) corrige en partie. Les modèles statistiques que l'on met en pratique s'appuient tous sur un échantillon d'apprentissage. Ces derniers se doivent d'être homogènes et de grande taille. Or, en pratique, les constantes améliorations apportées aux modèles ne permettent pas de disposer de jeux de données homogènes de plus d'un an. Cela convient pour la correction statistique de paramètres reliés à des phénomènes récurrents. Il n'en est pas de même en ce qui concerne les extrêmes tels, par exemple, les vents forts associés aux plus fortes tempêtes.
Ainsi, dans un premier temps, le climat de la version actuelle du modèle ARPEGE a été calculé. Une version simplifiée de sa prévision d'ensemble a été construite, le tout en prolongeant les analyses des 30 années de la ré-analyse ERA-Interim. Dans un second temps, nous avons testé une calibration très simple de la prévision probabiliste des vents forts en se concentrant sur les 50 tempêtes les plus intenses qui ont traversé la France métropolitaine pendant la même période.
Cette calibration s'appuie sur des métriques (ou indices) basées sur les écarts entre la distribution de probabilité du climat de l'ensemble et celle de la prévision de l'événement considéré en donnant une importance toute particulière aux queues de distribution. Cette approche améliore la détection des vents extrêmes par la prévision d'ensemble. Autre résultat, la capacité du système à détecter les extrêmes se dégrade peu avec l'échéance de prévision.

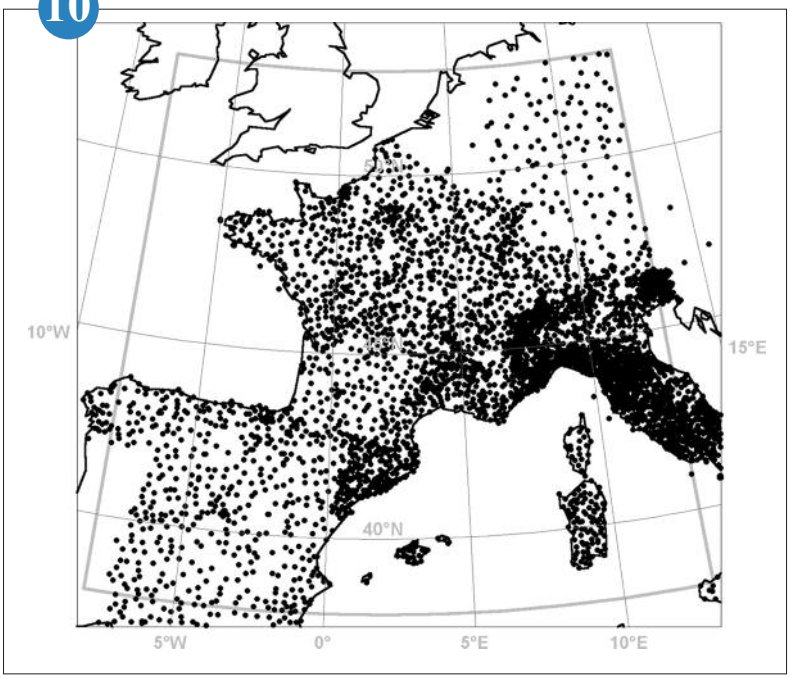
11

9



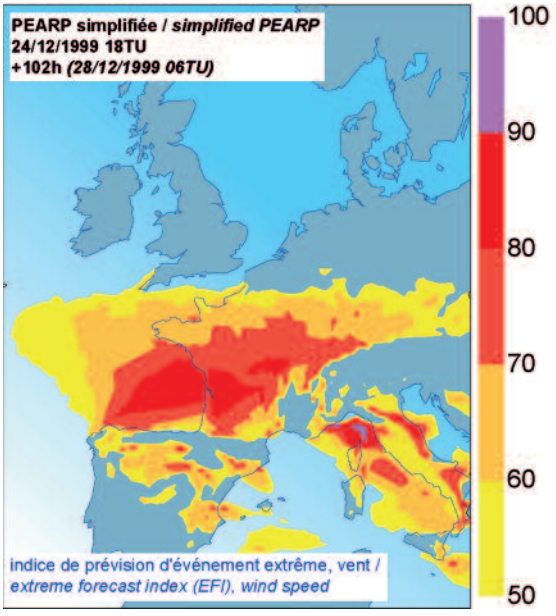
Dispersion de la prévision d'ensemble AROME à échéance +1 h de la température à 850 hPa, pour le 8 juin 2014 à 22 h TU. La prévision d'ensemble est initialisée avec :
(a) des perturbations venues de la prévision d'ensemble ARPEGE (PEARP) interpolées sur la grille AROME,
(b) une assimilation d'ensemble AROME,
et (c) des perturbations aléatoires de la matrice de covariance d'erreur de prévision d'AROME.
Les perturbations aléatoires conduisent rapidement à une dispersion proche de celle fournie par l'assimilation d'ensemble, tandis que les perturbations tirées de la PEARP ont besoin de 9 à 12 h, pour développer des structures de petite échelle réalistes.

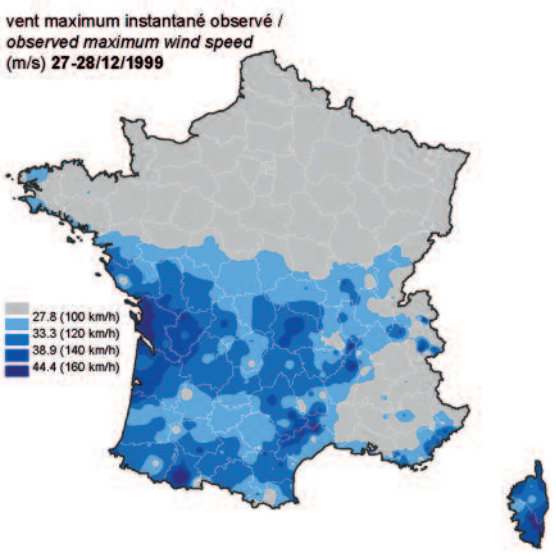
10



Réseau d'observation de pluies utilisé pour les études de prévision d'ensemble durant HyMeX (automne 2012).

11





Prévision probabiliste des rafales à 102 h d'échéance sur le cas de la tempête du 27 décembre 1999. A gauche : les plages colorées mesurent l'écart entre le climat de l'ensemble et la prévision de cet événement. A droite : les observations de rafales à 10m spatialisées observées les 27 et 28 décembre 1999, fournies par la Direction de la Climatologie.

Projet MISVA : vers des applications pour la prévision

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

Sur la base de l'amélioration de nos connaissances acquises sur cette variabilité dans le cadre du projet international AMMA, nous avons développé en collaboration avec le Sénégal et l'OMP un site web de suivi de la variabilité intra-saisonnière sur l'Afrique (projet MISVA : http://misva.sedoo.fr/), fonctionnant en temps réel durant les 4 mois (juin à septembre) de la mousson africaine depuis 2011. Ce site propose des diagnostics des échelles synoptiques à intra-saisonnière et est aujourd'hui utilisé par les prévisionnistes africains et de Météo-France. Malgré la très faible capacité des modèles actuels à prévoir les précipitations sur l'Afrique de l'ouest, l'utilisation de ces diagnostics basés sur des variables plus pertinentes épaisseur équivalente du flux de mousson (figure a) ou la dynamique barotrope (figure b), permettent d'anticiper l'occurrence des périodes sèches et humides et les risques d'inondation de quelques jours à une semaine à l'avance.

Cette collaboration fructueuse entre chercheurs et prévisionnistes permet également de tester nos théories et de poser de nouvelles questions scientifiques. Elle a permis d'améliorer les méthodes de prévision et de les illustrer à partir de cas d'étude et ainsi contribuer à l'élaboration du projet international Handbook de manuel du prévisionniste ouest africain qui sera publié en 2015.

12

Validation des paramétrisations infrarouge des nuages de glace dans RTTOV à l'aide de l'A-Train

L'assimilation des radiances nuageuses infrarouge dans les modèles de PNT ne permet pas actuellement de prendre en compte les variables nuageuses des modèles. Pour atteindre cet objectif, il est nécessaire au préalable de valider le modèle de transfert radiatif capable de simuler les radiances infrarouge à partir de paramétrisations des propriétés optiques des nuages en fonction de ces variables.

Le CMS participe depuis plusieurs années au développement du modèle de transfert radiatif rapide RTTOV pour l'assimilation des radiances infrarouge et microonde dans les modèles de PNT. Pour les nuages de glace, RTTOV dispose de différentes paramétrisations selon la taille et la forme des cristaux. Dernièrement, une nouvelle paramétrisation unique des propriétés optiques des nuages de glace a été introduite. Elle s'appuie sur une base de données combinant des formes diverses de cristaux et une nouvelle distribution en taille.

Pour valider cette nouvelle paramétrisation, nous avons comparé des radiances infrarouge simulées à partir de profils inversés de contenu en glace combinant des mesures spatiales des instruments actifs de l'A-Train (radar CPR sur CloudSat et Lidar CALIOP sur CALIPSO) à des observations « colocalisées » du radiomètre infrarouge IIR sur CALIPSO. La figure montre des histogrammes de différence de température de brillance entre observations IIR et simulations RTTOV pour les anciennes et la nouvelle paramétrisation. La nouvelle paramétrisation est plus performante avec une distribution plus symétrique, un biais plus proche de zéro et un écart-type plus faible.

Les études entreprises par Météo-France sur l'assimilation des radiances nuageuses infrarouge peuvent dès à présent bénéficier de cette nouvelle paramétrisation.

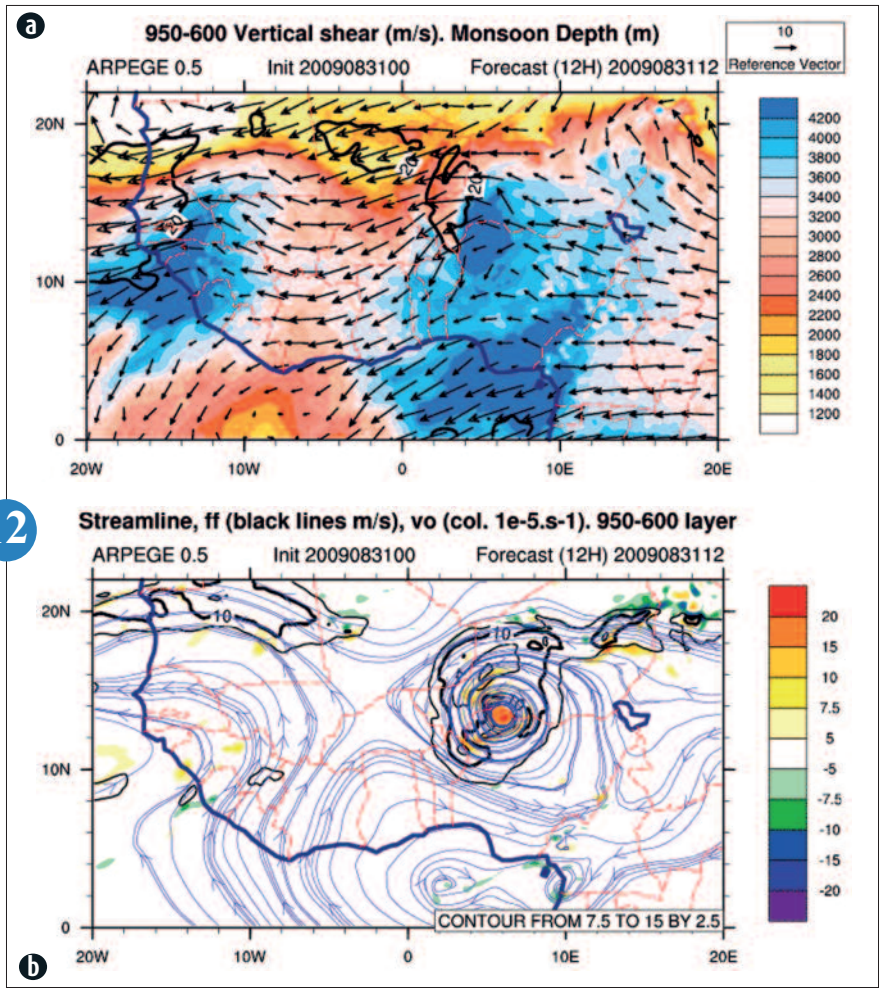
13

Apport de la grêle pronostique pour la prévision d'orages

L'orage de grêle est un phénomène à la fois intense et local, qui se joue à des échelles sub-kilométriques. Le prévoir constitue un véritable enjeu, envisageable dès lors que les modèles de prévision numérique atteignent des résolutions spatiales suffisamment fines. Le cas d'orage grêligène du 23 juin 2014, qui a produit des inondations subites et d'importants dégâts sur l'ouest toulousain (115 mm en 2 heures à Colomiers), a été modélisé avec le modèle Méso-NH à 500 m de résolution horizontale, en se focalisant sur la paramétrisation de la microphysique des nuages. L'ajout explicite de l'espèce grêle dans le schéma microphysique actuel des modèles Méso-NH/AROME, en plus des autres espèces givrées déjà présentes comme la neige et le grésil, améliore significativement les quantités de précipitation au sol, et structure une ligne convective plus intense et réaliste (Figure). La présence de grêle renforce la dynamique du système convectif dans les basses couches, en augmentant les courants descendants générés par la fonte de la grêle et l'évaporation des précipitations, ce qui rend la plage froide sous orage plus intense et épaisse. La localisation des cellules grêligènes et leurs caractéristiques, telles que la masse de grêle, le nombre de grêlons ou leur énergie cinétique, présentent un bon degré de réalisme, évalué grâce aux mesures de grêlimètres de l'ANELFA. Ces diagnostics, dont on ne dispose pas avec le schéma actuel dans AROME, seraient potentiellement intéressants pour les professionnels de l'agriculture par exemple.

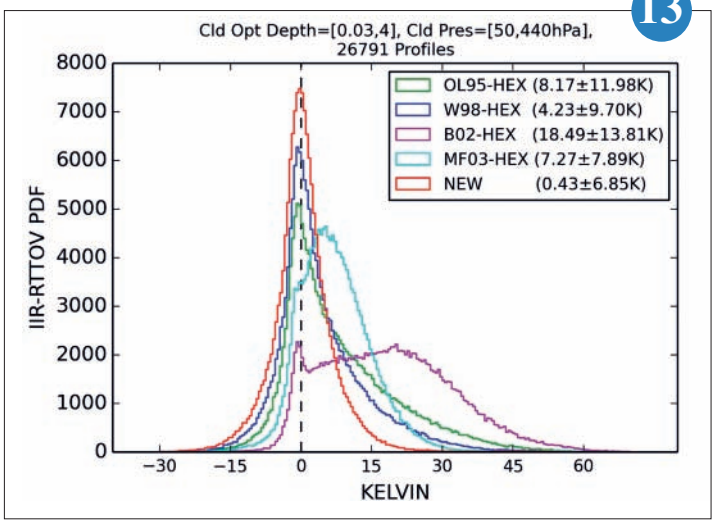
L'étude souligne ainsi l'importance de disposer de schémas microphysiques de plus en plus complets dans les modèles de prévision à maille fine comme AROME.

14



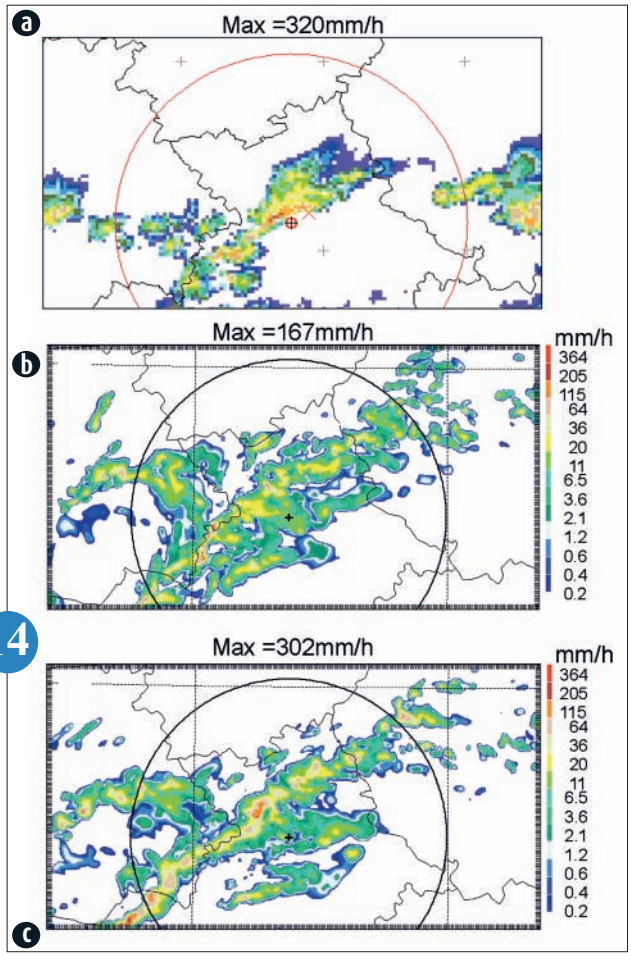
12

Exemple de diagnostics MISVA pour les ondes d'Est pour le cas d'inondation d'Ouagadougou 2009 (18 h avant l'événement).
(a) : L'épaisseur équivalente du flux de mousson visualise les poussées de mousson (zones bleues) à l'Est des Thalwegs, tandis que le vecteur de cisaillement entre 600 et 950 hPa indique la direction de propagation des systèmes convectifs et leur degré d'organisation.
(b) : La circulation barotrope permet de détecter les ondes les plus intenses lorsque la circulation moyennée dans la couche (950-600 hPa) est fermée, cyclonique (zones rouges) et intense (isolignes noires d'intensité). Lorsque les 2 critères a et b sont forts, la situation est propice à des inondations.



13

Histogrammes des différences de température de brillance entre observations IIR et simulations RTTOV pour 26791 profils de nuage de glace sélectionnés sur tout le globe pendant deux semaines, ayant des épaisseurs optiques visibles comprises entre 0.03 et 4 et dont les pressions des couches nuageuses sont situées entre 440 et 50 hPa. Les anciennes paramétrisations sont représentées en vert, bleu foncé, violet et bleu clair. La nouvelle paramétrisation est représentée en rouge. Les moyennes et écart-types de chaque distribution sont données en légende.



14

Taux de précipitation au sol (en mm/h) le 23 juin 2014 à 17:15 TU
(a) : observé par le radar de Toulouse, simulé par Méso-NH avec le schéma microphysique (b) : sans grêle explicite et (c) : avec grêle explicite.
Le cercle a un rayon de 50 km autour du radar de Toulouse.

Étude des processus

Les équipes du CNRM-GAME s'investissent fortement dans la compréhension des processus, très en amont des applications. Une meilleure connaissance des mécanismes les plus fins qui régissent les phénomènes météorologiques, et leur représentation sans cesse améliorée au sein des outils de modélisation, renforcent constamment la capacité des équipes opérationnelles contribuant à la gestion des risques ou à l'adaptation aux évolutions climatiques.
Les chercheurs abordent les différents milieux et leurs multiples interactions en s'intéressant tout autant au fonctionnement de la microphysique qu'aux structures de grande ampleur. Le lecteur sera sans doute frappé par les échelles abordées, allant depuis l'infime jusqu'à la planète, et de l'instant éphémère aux tempos de la variabilité du climat.
L'observation, les campagnes de mesure et l'expérimentation nourrissent la connaissance. La modélisation, qui permet d'aborder les plus fines échelles mais aussi de couvrir la planète toute entière, constitue l'outil d'analyse et de compréhension essentiel. Les modèles numériques sont exploités au maximum de leurs possibilités, comme en témoignent ces approches de "chirurgie numérique" qui permettent d'entrer dans l'intimité des processus, ou ces expériences de sensibilité sur des reconstructions d'événements passés, qui offrent notamment de puissants arguments pour éclairer nos partenaires et sensibiliser chacun à une nécessaire réduction des vulnérabilités.
En 2014, un éclairage particulier est apporté sur les tempêtes, avec un regard mêlant météorologie dynamique et climatologie. La compréhension des mécanismes fondamentaux régissant ces événements à fort impact, tout comme celle des processus climatiques qui en rythment les enchaînements, guident logiquement ces travaux. La prévision et la prévention des risques en sont la motivation essentielle. Dans cet esprit, un effort conséquent est apporté par les équipes de Météo-France à la reconstitution des chroniques tempétueuses du passé, pour mieux nous parler du présent et éclairer le futur.
Enfin, le lecteur pourra retenir la liste des avancées majeures réalisées en mécanique des fluides grâce à la veine hydraulique. Cet équipement de simulation physique a été abondamment exploité depuis sa création pour servir tant la science fondamentale que les applications pratiques en météorologie. Son arrêt marque une étape et ouvre une nouvelle page pour l'étude des processus !

1

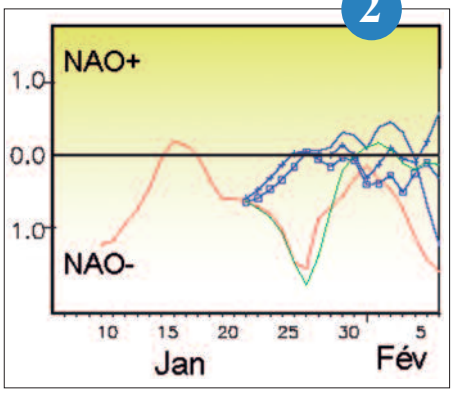
Compréhension

Impact de la stratosphère sur l'oscillation Nord-Atlantique

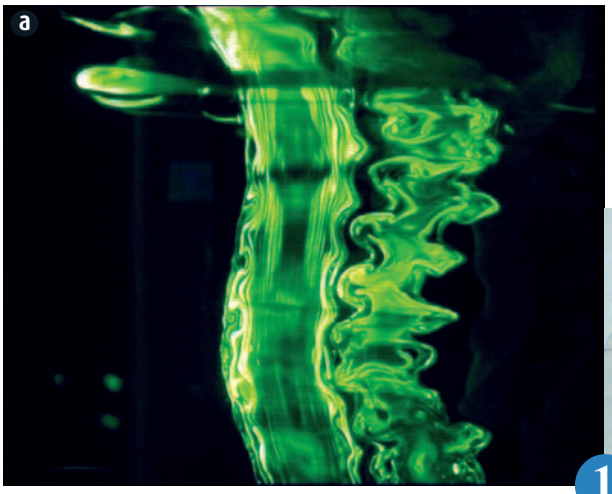
La variabilité du vortex stratosphérique polaire ainsi que celle du jet troposphérique nord Atlantique sont caractérisées respectivement par différentes phases du Mode stratosphérique Annulaire de l'hémisphère Nord (NAM) et de l'Oscillation Nord Atlantique (NAO). La phase positive de la NAO est accompagnée de périodes douces et humides sur le nord de l'Europe tandis que la phase négative correspond à un jet décalé vers le sud amenant plus de précipitations sur le sud de l'Europe. En ce qui concerne les phases du NAM, une phase négative est caractérisée par une absence de vortex polaire alors qu'une phase positive du NAM est caractérisée par un vortex polaire marqué. L'influence de la stratosphère sur la haute troposphère et plus particulièrement du NAM sur les variations des différentes phases de la NAO est un sujet largement débattu depuis une dizaine d'années.
Un cas emblématique est la période de janvier-février 2010, marquée par une transition vers la phase négative de la NAO après une très longue période de phase positive. Une expérimentation originale de « chirurgie numérique » sur le champ de tourbillon potentiel dans la stratosphère suivie de prévisions nous apprend que la suppression du vortex polaire (en fait, la suppression de son tourbillon potentiel) facilite la transition vers la phase négative de la NAO. Toutefois, ce n'est pas le seul mécanisme possible. Une autre série d'expériences, illustrées par la figure, montre que l'activité synoptique troposphérique dans le Pacifique joue un rôle important : réduire l'amplitude des systèmes synoptiques troposphériques, toujours par « chirurgie numérique » évite la transition autour du 20 janvier. On explique ce résultat par la manière dont, lors de la phase non-linéaire à la fin de leur cycle d'évolution, une dépression qui atteint l'Atlantique module la NAO à travers la manière dont elle redistribue une partie de son énergie à son environnement.

2

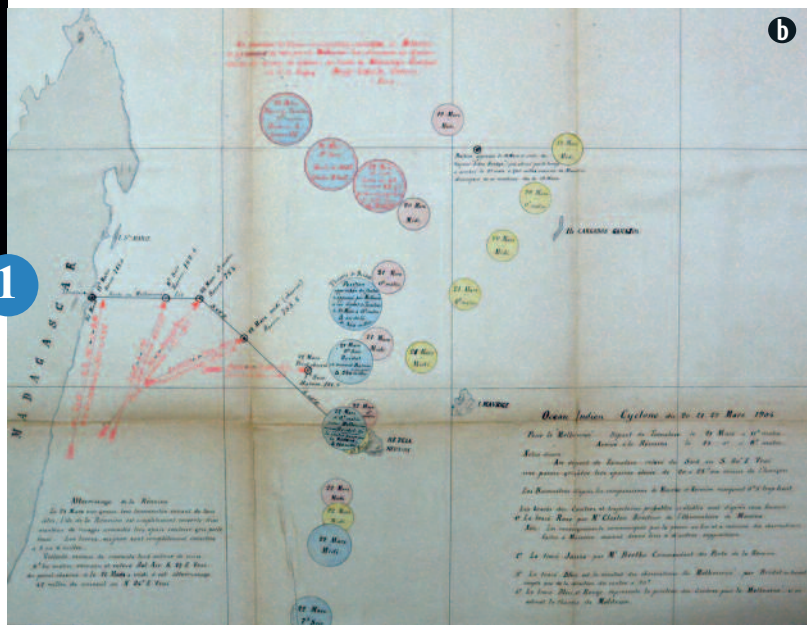
2



Composite mensuel des cas de télé-connexion Pacifique-Nord Américaine (PNA) associés à la phase NAO+ (20 mois). Les plages en couleur représentent l'anomalie de géopotentiel, les flèches, un vecteur abstrait, le vecteur E, qui traduit les flux d'énergie et de quantité de mouvement des systèmes d'échelle synoptique (flèches ; voir l'échelle sous la figure en $m^2.s^{-2}$) à 300 hPa (15 km d'altitude environ) pour les mois de novembre à mars entre 1957 et 2002 (ré-analyse ERA-40). Les vecteurs E orientés vers l'équateur indiquent que les tourbillons composant les ondes de Rossby synoptiques sont étirés dans la direction sud-ouest/nord-est, les vecteurs E zonaux indiquent que les tourbillons sont étirés dans la direction nord/sud et les vecteurs E orientés vers le pôle indiquent que les tourbillons sont étirés dans la direction nord-ouest/sud-est. La couleur des vecteurs indique que leur orientation vers l'équateur (en rouge) ou le pôle (en bleu) est significative, avec un seuil de confiance de 70 %.



(a) : Instabilité d'une paire de tourbillons cyclonique et anticyclonique en fluide stratifié-tournant. L'anticyclone (à droite) est instable vis à vis de perturbations de petite échelle contrairement au cyclone (à gauche). Les tourbillons sont visualisés par un colorant fluorescent. (Crédit photo Météo-France/équipe GMEI/SPEA - P. Billant)



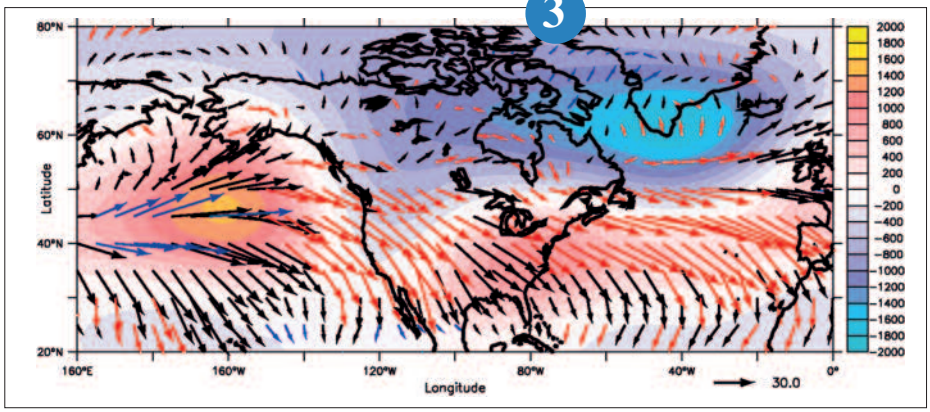
(b) : Carte de trajectoire du cyclone des 20-21-22 mars 1904 autour de l'île de La Réunion. Document extrait du fonds météorologique en cours de restauration. © Archives nationales/Météo-France.

Influence de modes de variabilité de basses fréquences dans le Pacifique nord-est sur l'oscillation Nord-Atlantique à travers la propagation en aval d'ondes de Rossby synoptiques

L'Oscillation Nord Atlantique (NAO) caractérise la circulation atmosphérique dominante en hiver sur le bassin Atlantique. La NAO est caractérisée par la latitude du courant-jet sur l'Atlantique : il est situé à une plus haute latitude lors de la phase positive (NAO+), guidant ainsi les tempêtes vers l'Europe de l'ouest. Il se trouve à une plus basse latitude lors de la phase négative (NAO-), configuration associée à un temps sec sur l'Europe de l'ouest et humide sur le bassin méditerranéen.
Comprendre ce qui influence les variations de la NAO est une question clé pour caractériser et prévoir une saison hivernale sur l'Europe.
Un mécanisme a pu être proposé. Il repose sur l'existence d'une anomalie de géopotentiel de basse fréquence (de grande échelle) dans le Pacifique nord-est. Celle-ci modifie la propagation des ondes de Rossby synoptiques au dessus de l'Amérique du Nord et en aval, influençant la NAO via le déferlement de ces ondes dans l'Atlantique nord. Une anomalie positive (dorsale) dans le Pacifique réoriente dans la direction sud-ouest/nord-est les tourbillons composant ces ondes ce qui favorise la phase NAO+, alors qu'une anomalie négative (thalweg) les réoriente dans la direction nord/sud favorisant la phase NAO-.

Ce mécanisme dynamique peut expliquer le lien entre la NAO et les modes de variabilité de basse fréquence dans le Pacifique, tels que El Niño-Southern Oscillation (ENSO) ou la téléconnexion Pacifique-Nord Américaine (PNA). En effet, l'anomalie atmosphérique de basse fréquence dans le Pacifique nord associée à ces deux modes de variabilité modifie la propagation des ondes de Rossby synoptiques de la même façon (voir figure).

Cumuls de précipitations le 24 sept. 2012 de 00 UTC à 12 UTC. Simulations avec initialisation des aérosols par défaut (gauche) et à partir des analyses MACC (droite), observations (centre).



Représentation explicite des interactions aérosols-nuages dans le schéma microphysique LIMA

Les aérosols atmosphériques jouent un rôle essentiel dans le développement des systèmes nuageux, notamment grâce à leur capacité à servir de noyaux de condensation ou de noyaux glaçogènes, sur lesquels se forment respectivement les gouttelettes nuageuses ou les cristaux de glace.
Le schéma microphysique LIMA a été développé dans Méso-NH pour représenter de manière explicite les interactions aérosols-nuages à l'échelle convective. Ainsi, LIMA est construit autour d'une représentation pronostique 3D détaillée des aérosols, tenant compte de la diversité de leurs caractéristiques physico-chimiques (et donc leurs propriétés de nucléation), de leur taille et concentration.
LIMA a été développé dans la continuité du schéma microphysique ICE3, utilisé dans AROME, et représente donc les mêmes classes d'hydrométéores (gouttelettes, pluie, petits cristaux, neige, graupel, grêle en option). Afin de mieux représenter les caractéristiques des nuages et l'effet des aérosols, LIMA ajoute trois nouvelles variables pronostiques pour les concentrations en nombre des gouttelettes, des gouttes de pluie et des cristaux de glace.
Pour initialiser les aérosols dans LIMA, une méthode de couplage aux analyses MACC a été mise en place. La figure illustre l'importance de cette initialisation réaliste des aérosols, pour un cas de fortes pluies convectives observé durant la campagne HyMeX.
LIMA devrait devenir le nouveau schéma microphysique de référence à Météo-France pour les études de processus nuageux et les interactions aérosols-nuages. LIMA sera transféré dans AROME afin d'améliorer la représentation des nuages dans les prévisions du temps.

4

Exploration du profil vertical des propriétés microphysiques du brouillard

Pour bien comprendre les interactions entre les différents processus mis en jeu au cours du cycle de vie du brouillard (refroidissement radiatif, turbulence et microphysique) et pour valider les simulations numériques, il est nécessaire de mesurer les différents paramètres sur la verticale.
Un capteur aéroporté CDP (Cloud Droplet Spectrometer) de Droplet Measurement Technology (Boulder, CO) a été adapté afin de permettre la mesure de la distribution dimensionnelle des gouttelettes nuageuses (2 à 50 µm en diamètre) dans toute la couche de brouillard à partir d'un ballon captif. Ce dispositif a été déployé au cours de l'hiver 2013/2014 lors d'une campagne de mesures à Magescq dans les Landes.
Pour valider les profils mesurés avec le ballon captif, une tour de surveillance des feux de forêts du SDIS 40 a été instrumentée à 3 niveaux d'altitude (8, 24 et 42 m) avec des capteurs fournissant des mesures de granulométrie des gouttelettes (Fast-FSSP, CDP et Fog Monitor) ainsi que des mesures directes d'eau liquide (PVM-100) et de visibilité (DF20).
L'épisode de brouillard de la nuit du 5 au 6 mars 2014 a montré que les propriétés microphysiques (eau liquide, concentration et diamètres des gouttelettes) suivent des évolutions bien différentes suivant le niveau d'altitude considéré. En particulier ces mesures ont mis en évidence la phase de croissance quasi-adiabatique des gouttelettes au sommet de la couche du brouillard.

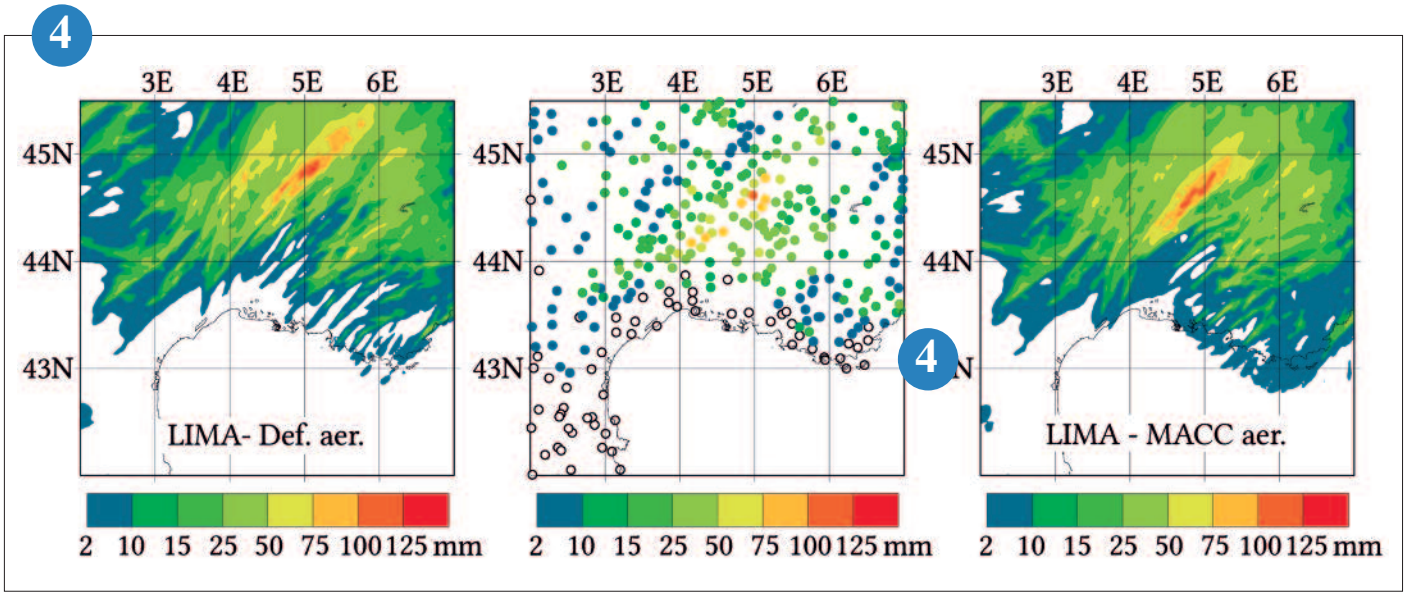
6

Rafales de vent convectives au Sahel

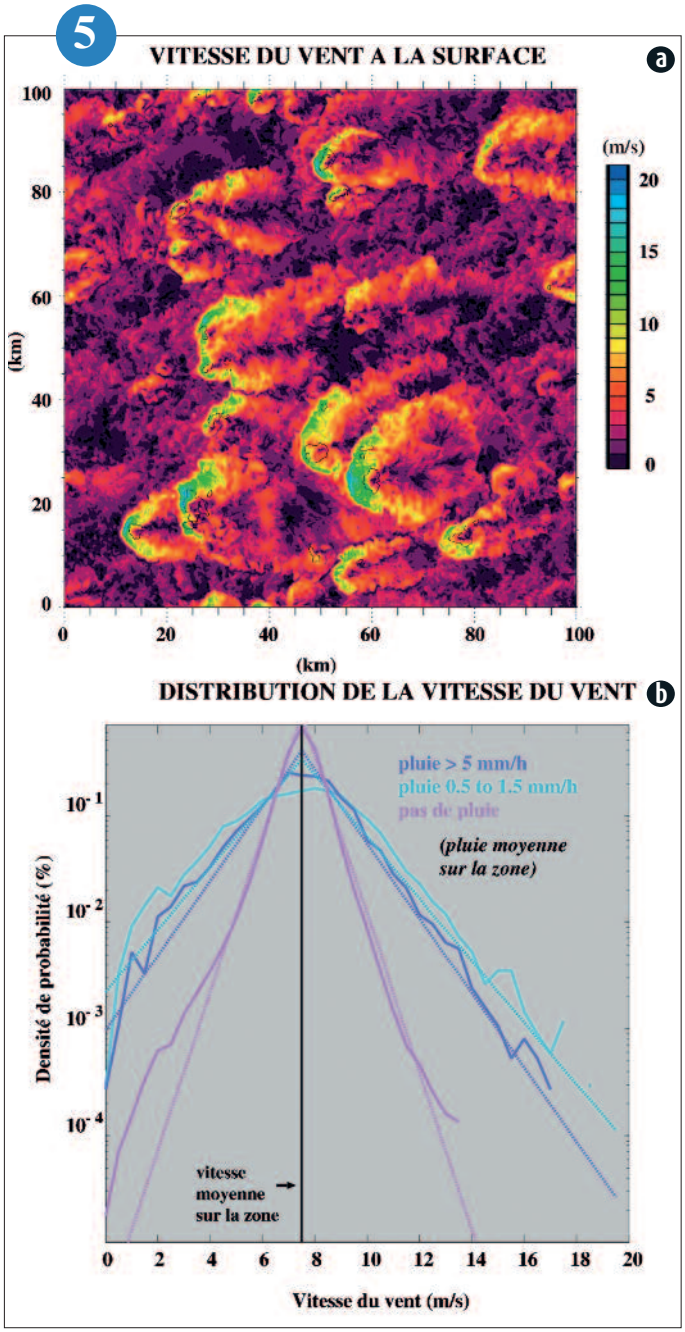
L'érosion éolienne est un processus à seuil observé lors des épisodes de vent fort à la surface. Au Sahel, les vents les plus forts correspondent aux rafales associées aux orages et aux lignes de grains (Figure a), et ces phénomènes convectifs sont effectivement responsables d'une part importante de l'érosion éolienne. La comparaison des vent de surface mesurés à plusieurs sites sahéliens avec ceux fournis par des ré-analyses météorologiques telles ERA-Interim, NCEP-CFSR ou MERRA montre que ces dernières 'ratent' les rafales convectives qui correspondent à des phénomènes de méso-échelle non résolus et mal pris en compte par les paramétrisations actuelles (Figure a, Largeron et al. 2015). Les vents des ré-analyses météorologiques, bien que souvent utilisés comme données d'entrée par les modèles d'érosion éolienne, sont donc peu adaptés en zone sahélienne.
Afin d'améliorer cette situation, nous définissons une paramétrisation de la distribution des vents de surface lors des événements convectifs. Cette paramétrisation s'appuie notamment sur l'analyse statistique des vents fournis par les simulations CASCADE réalisées sur l'Afrique de l'Ouest à résolution spatiale plus fine, permettant une représentation explicite de la convection profonde, et documentant une période de plusieurs semaines pendant la mousson. La figure b montre un exemple de distribution de vitesse du vent en conditions convectives telle que fournie par les simulations CASCADE et restituée par une paramétrisation prenant en compte les taux de précipitation. Nous analyserons ensuite l'influence de quelques variables supplémentaires (cisaillement de vent, indices convectifs), afin de faire évoluer cette paramétrisation.

5

Vitesse du vent à la surface :
(a) : coupe horizontale durant un orage convectif simulé avec une Large Eddy Simulation MesoNH (LES, maille horizontale de 100 m x 100 m) ;
(b) : pour une valeur donnée de la vitesse moyenne (ligne noire), comparaison des distributions de vitesse pour différent taux de pluie (couleurs) dans les simulations CASCADE (courbes en pointillés) et avec l'estimation de la paramétrisation (courbes en trait plein) – on considère des valeurs moyennes sur des pavés horizontaux de 70 km x 70 km.



Cumuls de précipitations le 24 sept. 2012 de 00 UTC à 12 UTC. Simulations avec initialisation des aérosols par défaut (gauche) et à partir des analyses MACC (droite), observations (centre).



Le CDP modifié (haut) et la tethersonde (bas) sous le ballon captif.

Impact de la microphysique nuageuse sur le développement et le cycle de vie d'un cyclone tropical

L'enjeu face à la menace cyclonique est de prévoir à la fois la trajectoire, l'intensité et les principales conséquences associées au passage d'un cyclone sur ou à proximité des terres. Si ces dernières années, la prévision de la trajectoire des cyclones a été largement améliorée, la prévision de leur intensité et des aléas associés demeure un enjeu scientifique majeur.

L'impact potentiel de la microphysique nuageuse sur la modélisation des cyclones est analysé grâce à des simulations numériques à haute résolution d'un cyclone tropical idéalisé avec le modèle de recherche Meso-NH. La simulation de référence utilise le schéma microphysique ICE3 repris dans le modèle opérationnel AROME. Il prédit la masse des particules liquides (eau nuageuse, pluie) et glacées (cristaux, neige, grésil). Si la phase glace est exclue, le cyclone accélère et est dévié vers le pôle (Figure a). Si la vitesse de chute du grésil est diminuée, la pression minimale au niveau de la mer, marqueur de l'intensité du cyclone, est jusqu'à 10 hPa supérieure à celle de la simulation de référence (Figure b). Les hypothèses sur la microphysique, en impactant les changements de phase dans le nuage et donc le bilan de chaleur latente, modifient la flottabilité de l'air, et la circulation radiale puis tangentielle du cyclone.

Cette étude préliminaire montre l'impact significatif de la microphysique sur la représentation numérique des cyclones tropicaux. Des simulations des cyclones Dumile (2013) et Bejisa (2014) vont être réalisées avec un schéma microphysique pronostiquant la masse et le nombre des particules nuageuses, et couplé à un bilan de concentration en aérosols, source des particules nuageuses. On pourra ainsi analyser les interactions aérosol-nuage dans les cyclones.

7

La veine hydraulique au cœur de la recherche européenne sur les ondes internes topographiques

Depuis trente ans, l'équipe de la veine hydraulique du CNRM-GAME réalise des travaux de pointe dans différents domaines tels que la dispersion de polluant et la cartographie du vent à fine échelle sur site complexe, le sillage de structure en écoulement stratifié, ou la turbulence en conditions stables.

Depuis 2007, l'équipe développe en particulier des activités de recherche sur les ondes internes générées sur le fond de l'océan par les marées ou à la surface de la terre par le vent. Ces ondes font intervenir des échelles telles que leur mesure in situ est difficile et que leur représentation explicite dans les modèles numériques n'est possible que pour des domaines très limités. La simulation physique constitue de ce fait un outil intéressant pour les étudier, à condition d'être capable de générer en laboratoire un écoulement stratifié à grand Reynolds. La veine hydraulique est justement une des seules installations au monde dotée de cette capacité. Les travaux les plus remarquables sont rappelés ci-dessous, chacun constituant une première mondiale.

2007 : expériences sur les tourbillons turbulents pouvant se former en aval d'un relief (rotors) avec l'université de Hanovre.

2008 : visualisations 3D du déferlement d'ondes de relief avec l'IMFT.

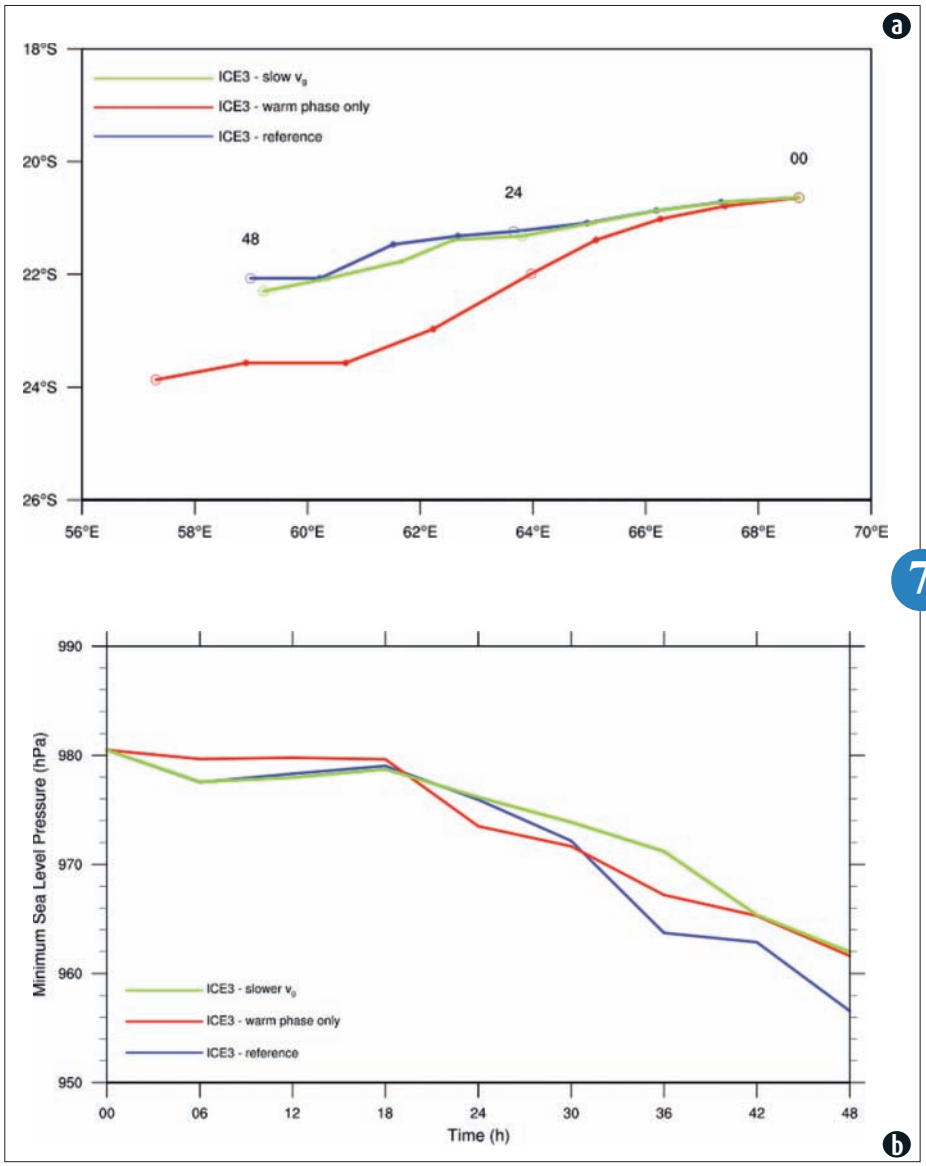
2009 : mesures à la fois du champ d'ondes et de la trainée associée sur un relief avec University College London.

2011-2012 : expériences sur les différents modes d'interaction d'une dorsale à la base de la couche de mélange océanique avec l'OMP/LA.

2013 : expériences sur l'influence des ondes internes dans une couche limite stable avec l'université de Wageningen.

2014 : confirmation de l'existence de bathymétries sans conversion avec le NIOZ, expériences sur les marées internes supercritiques sur bathymétrie complexe avec l'université de Stockholm, expériences sur les rotors dans une vallée et en aval d'un relief double avec les universités d'Innsbruck et de Vienne, le NCAR, et les services météorologiques nationaux d'Islande et de Croatie.

8



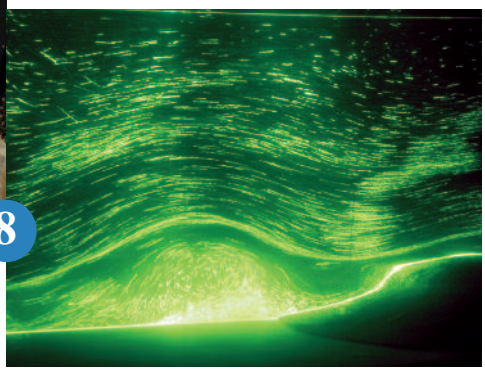
7

Trajectoire sur 48 heures d'un cyclone tropical simulé par Meso-NH à 2 km de résolution horizontale en activant les schémas microphysiques ICE3 (ligne bleue), ICE3 sans la phase froide (ligne rouge) et ICE3 en diminuant la vitesse de chute du grésil (ligne verte).

8

Vue de la grande veine hydraulique stratifiée du CNRM-GAME.

Rotor (vu de côté, perpendiculairement à l'écoulement) sous la première crête de l'onde en aval d'une montagne. La visualisation est obtenue par l'intermédiaire de particules dans un plan laser vertical. Le nombre de Reynolds de l'écoulement est supérieur à 20000.



Focus sur les tempêtes passées

Simulations de tempêtes du passé par descente d'échelle dynamique à partir d'une ré-analyse

Le projet IncREO vise à une meilleure préparation et planification des mesures à prendre en cas de catastrophes naturelles grâce à des solutions basées sur l'observation de la Terre.
Dans ce cadre, Météo-France (le CNRM-GAME et la Prévision Marine) et les services de météorologie bulgares se sont intéressés aux surcotes et aux submersions sur les littoraux français et bulgares causées par des tempêtes historiques. Trente situations ont été sélectionnées entre 1924 et 2012.
Les modèles de surcote et de houle sont forcés par des états de l'atmosphère. Pour obtenir le meilleur forçage possible, des simulations numériques détaillées de ces événements ont été produites en utilisant les ré-analyses du CEPMMT. Elles constituent la meilleure connaissance du temps du siècle passé. Une descente d'échelle reste toutefois indispensable pour bien représenter les échelles de la cyclogenèse intense aux latitudes tempérées.
Deux types de descentes d'échelle ont été essayés. Le premier, simple, comprend une interpolation de la ré-analyse suivie d'une prévision avec un modèle plus fin. Les résultats sur les simulations de surcotes et de houle sont ainsi déjà meilleurs que ceux obtenus en prenant les ré-analyses brutes comme forçage. La seconde procédure combine les informations de plus petite échelle fournies par la prévision du réseau précédent et celles de plus grande échelle issues de la ré-analyse interpolée. On constate alors que les tempêtes les plus creuses et les plus intenses sont mieux reproduites par la seconde méthode (voir figure).
Ces procédures pourraient être généralisées à d'autres cas de submersion et de surcotes afin de mieux comprendre ces événements et ainsi de mieux les prévenir.

9

Caractérisation des tempêtes historiques en Métropole

L'action ANTHEMIS coordonnée par la Direction de la Climatologie vise à caractériser les tempêtes ayant touché la Métropole au cours des dernières décennies. Différentes approches méthodologiques complémentaires ont été suivies : observation anémométrique, vent géostrophique et réanalyse atmosphérique. L'objectif final est de mettre à disposition des diagnostics complets sur ces extrêmes climatiques grâce à un site internet ouvert au public en 2015. Ce site intégrera des pages descriptives sur les tempêtes historiques des 200 dernières années, la connaissance de la dynamique de ces évènements, leur variabilité climatique, les tendances observées et les évolutions prévues.
En 2014, une étude de caractérisation des tempêtes a été menée sur un jeu de données original à haute résolution spatio-temporelle sur la France (pas horaire et grille de 2,5 km de côté). Ce jeu est issu d'un traitement statistique entre observations anémométriques, paramètres du relief et différents champs du modèle opérationnel AROME, à partir de 2009 de manière continue mais rejoué en mode réanalyse évènementielle sur plus de 500 situations de tempêtes en Métropole depuis 1980.
L'étude a permis de définir et expérimenter des méthodes d'analyse des tempêtes en terme de critère d'identification, d'extension spatiale, de durée de phénomène et de sévérité. Au final, 146 évènemenents rencontrés au cours des 35 dernières années tels que Lothar et Martin en décembre 1999 ou Xynthia en 2010 ont été comparés.
La méthode est également applicable en temps réel et permettra en 2015 un gain important pour la caractérisation à chaud de ces évènements climatiques extrêmes.

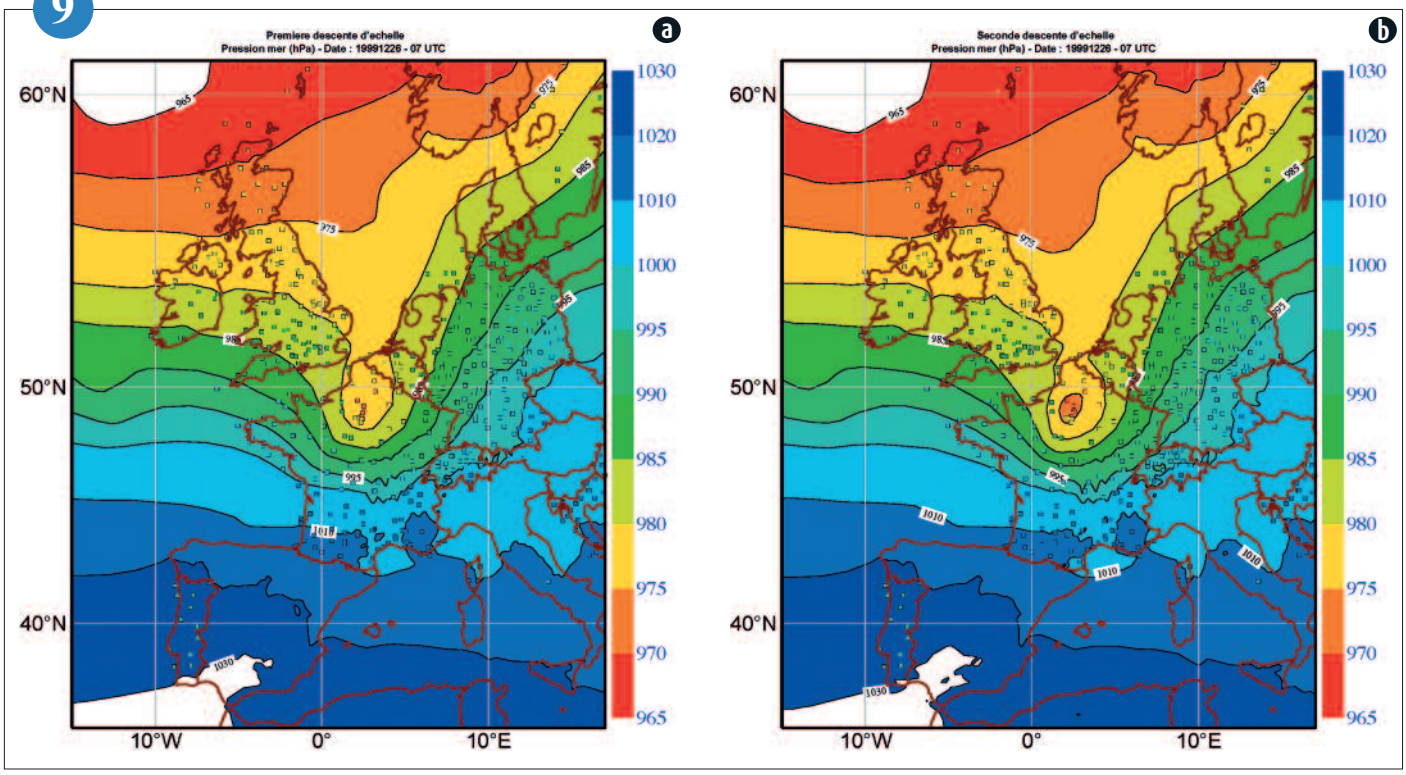
10

Histoires de tempêtes réelles ou fictives

Le projet Vimers1 avait pour objectif de mieux anticiper le risque de submersions marines en Bretagne. Il vient de se terminer à l'automne 2014 en partenariat avec le SHOM et le CEREMA.
Durant le projet, une analyse météorologique d'une douzaine de tempêtes a été réalisée sur la base de documents anciens portant sur la période 1890/1950 (Bulletins Météorologiques de l'époque, barogrammes…). Disponible sous forme d'un rapport d'une dizaine de pages par tempête, cette analyse décrit très fidèlement la trajectoire et l'intensité de ces événements qu'il ne faut surtout pas oublier.
Sur la base d'un échantillon représentatif de tempêtes plus récentes (période 1979/2014), nous avons « rejoué » les vagues et les surcotes marines associées à ces événements plus connus, en « s'autorisant » à les faire passer au moment de la pleine mer par vives eaux.
La phase ultime du projet Vimers1 consistait à imaginer les conséquences de tempêtes non survenues mais plausibles physiquement. Pour les générer, nous avons utilisé plusieurs simulations extrêmes issues de la prévision d'ensemble Arpège (PEARP). Dans certains cas, ces simulations peuvent proposer des tempêtes plus violentes que les tempêtes réellement survenues, avec des trajectoires de la dépression assez différentes. Nous avons montré par ce biais, que pour la situation du 28/02/2010 (Xynthia), on pouvait obtenir des conditions de vagues et de surcotes encore plus extrêmes, sur certaines portions du littoral breton. Avec la même méthode, une situation fictive de vents d'Ouest très violents en Manche permet de générer des vagues et des surcotes extrêmes sur le Golfe de St Malo mais il n'est pas possible à ce stade de leur attribuer une durée de retour. Ce sera un des objectifs du projet Vimers 2 en cours de montage fin 2014 avec un partenariat élargi.

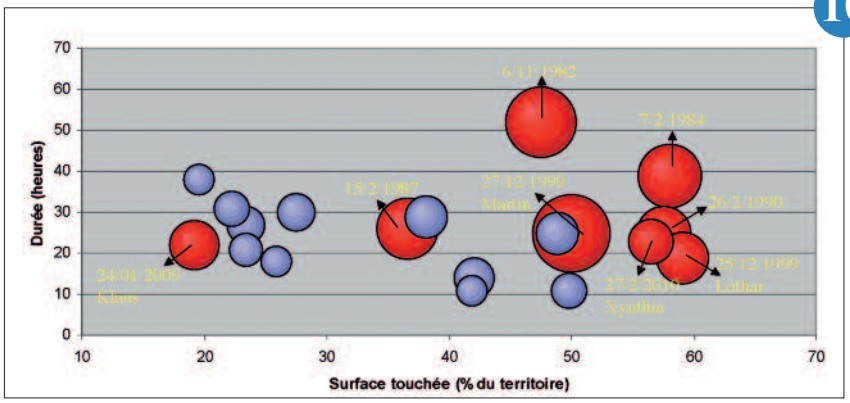
11

9



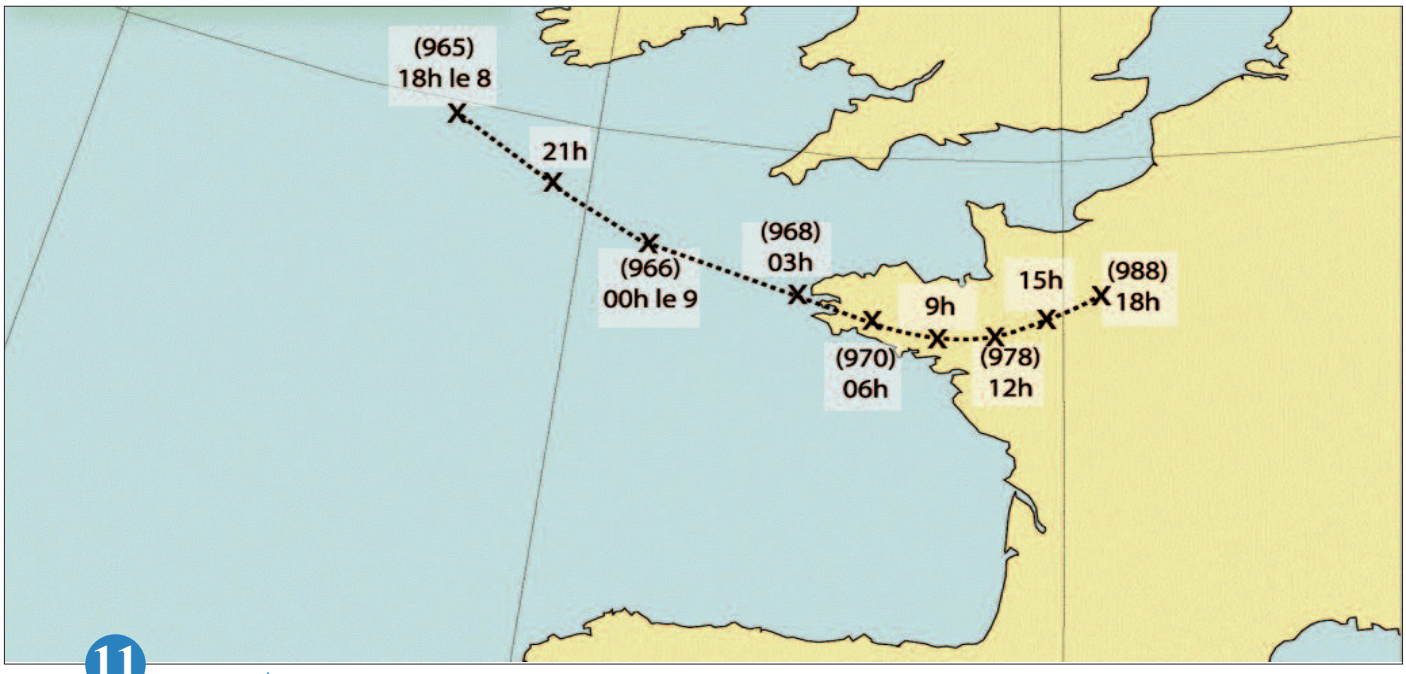
Pression réduite au niveau de la mer (surfaces colorées, hPa) obtenue avec la première (a) et la seconde méthode de descente d'échelle (b) le 26/12/1999 à 07 h TU.
Les observations (hPa) sont superposées et représentées par des carrés de couleur.

10



Caractérisation des tempêtes majeures en Métropole sur la période 1980-2013 selon le pourcentage de la surface du territoire touchée (abscisses), la durée en heures (ordonnées) et leur sévérité selon l'indice de Lamb (taille des bulles).
En rouge, les 8 tempêtes les plus fortes avec leur date et nom éventuel.

11



Trajectoire et intensité de la dépression des 8 et 9 janvier 1924, obtenues après expertise de documents ou données météorologiques de l'époque.

Rejeu de tempêtes passées avec le modèle de surcotes

La participation de la prévision marine de Météo-France au projet Vimers1 a consisté à faire tourner son modèle de surcotes opérationnel actuel sur des forçages de vent à 10 mètres et pression associés à des tempêtes passées présélectionnées, forçages obtenus grâce à des runs du modèle ALADIN, en descente d'échelle couplée à des ré-analyses ERA-INTERIM.

La figure « a » montre les courbes temporelles de surcote « calculée » par le modèle et de surcote « observée », à Brest, pour l'événement tempétueux rejoué du 25 février 1989. On peut voir que les courbes de surcote calculée et observée se ressemblent, le modèle surestimant ici néanmoins la surcote « observée » de 5 à 10 cm (surcote maximale calculée de 71 cm, pour 63 cm de pic « observé »). Le maximum de surcote de pleine mer, aussi bien « observé » que « calculé », voisin de 60 cm, survient le matin du 25 février (première pleine mer du graphe) et conduit ici à un niveau d'eau maximal de 7.11 m sur l'échelle de marée, c'est-à-dire 0.82 m en-dessous du niveau des Plus Hautes Mers Astronomiques locales (PHMA).

La figure « b » montre le graphe équivalent obtenu sur le même événement du 25 février 1989, avec le même forçage de vent et pression, mais en retardant juste « l'horloge » de 278 heures, de manière à faire coïncider le maximum de surcote avec la pleine mer de coefficient 116 du 9 mars 2009. Cette fois la surcote de pleine mer du 9 mars au soir (seconde pleine mer du graphe) atteint 68 cm, qui, en coïncidence avec les 7.66 m de la plein mer de « marée astronomique » de coefficient 116, conduit à un niveau d'eau total calculé de 8.34 m sur l'échelle de marée, excédant donc le niveau PHMA de 0.41 m.

On voit ici comment une même tempête peut avoir des conséquences extrêmement différentes, en terme de submersion, suivant que son paroxysme (du point de vue de la surcote) survient ou non en phase avec une pleine mer de fort coefficient, sur les côtes atlantiques françaises, même dans le cas d'une surcote certes forte mais non exceptionnelle. On a aussi vérifié que, sur cet événement et dans le cas de Brest, l'interaction marée/surcote est assez faible, ce qui n'est pas le cas pour la plupart des sites de Manche et Mer du Nord par exemple.

12

Climatologie de l'intensification rapide des cyclones du sud-ouest de l'océan Indien

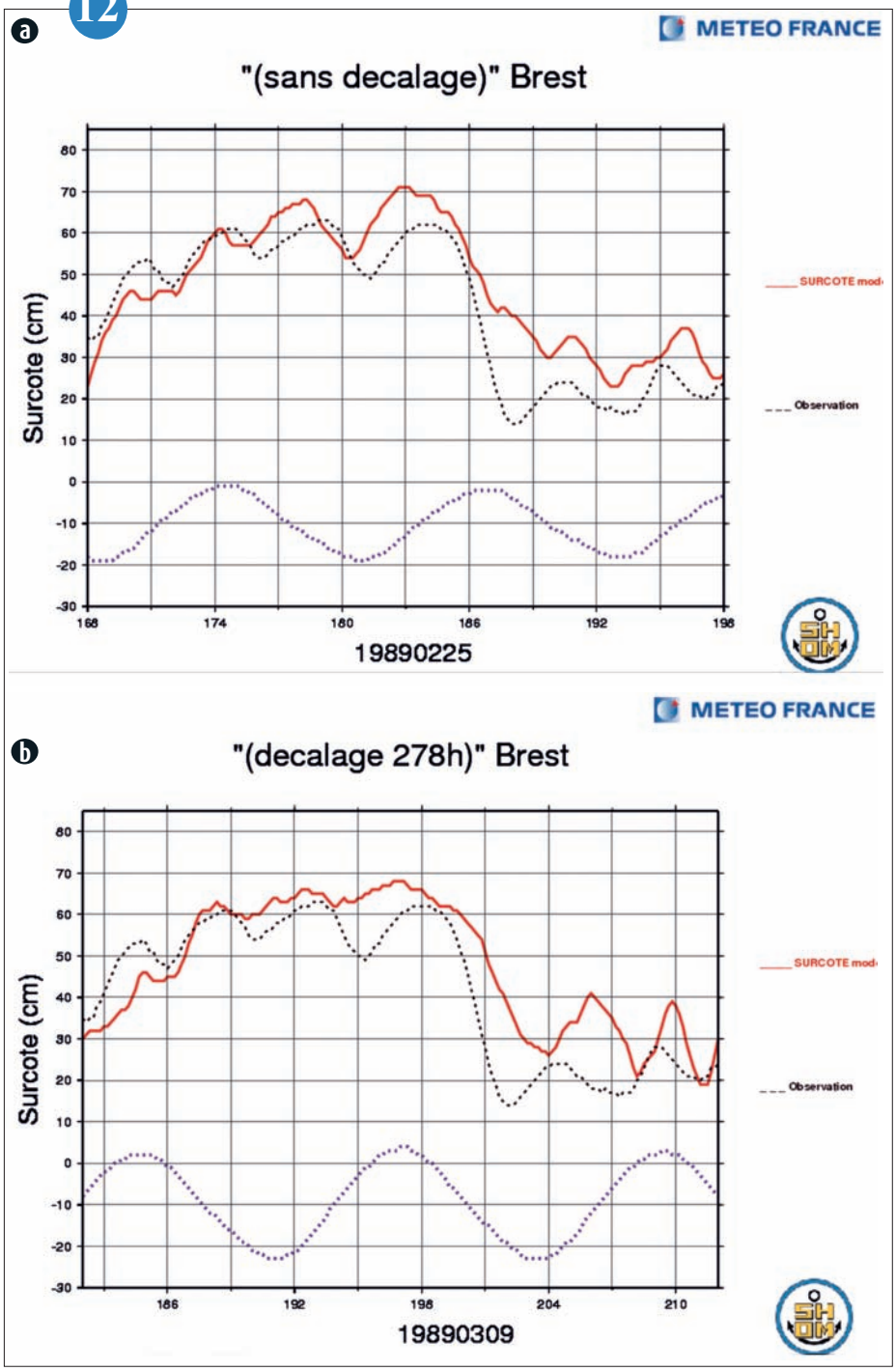
Une étude climatologique a été réalisée en lien étroit et privilégié avec les prévisionnistes du CMRS de la Réunion responsables du suivi cyclonique du sud-ouest de l'océan Indien. L'objet de l'étude est de situer notre bassin sur la scène internationale en lui attribuant des caractéristiques propres déjà définies dans deux autres bassins cycloniques. Les 177 systèmes tropicaux analysés sur la période 1999-2014 se répartissent en 3 catégories : 39 dépressions, 64 tempêtes, et 74 cyclones (stade maximal atteint par les systèmes au cours de leur cycle de vie). L'intensification rapide (IR) peut être définie sur notre bassin comme une variation d'intensité strictement supérieure à 13,9 m/s sur 24 heures, un seuil associé au 95^{e} percentile de la distribution des changements de vitesse maximale du vent sur 24 h pour tous les systèmes tropicaux évoluant sur mer. Cette valeur est inférieure au seuil officiel de 15,4 m/s établi sur l'Atlantique Nord par la même méthodologie.

L'histogramme des fréquences des changements d'intensité sur 24 heures est illustré pour chaque catégorie de système (cf. Figure). On constate que les tempêtes ont plus de chance de subir une IR (queue droite de la distribution) puisqu'elles sont plus loin de leur potentiel maximal d'intensification, tandis que davantage de cyclones se comblent rapidement (partie gauche de la distribution) puisqu'ils sont globalement à des latitudes plus sud (océan plus froid), qu'ils ont plus de chance de toucher des terres dans notre bassin et sont plus proches de leur intensité potentielle maximale.

On montre aussi que 36,2% de l'ensemble des systèmes tropicaux (resp. 75,7% des systèmes parvenant au stade maximal de cyclone) subissent au moins une période d'intensification rapide dans leur cycle de vie. L'étude a enfin permis de localiser dans le bassin les zones privilégiées d'IR pour chaque catégorie de système (dépression, tempête, cyclone).

13

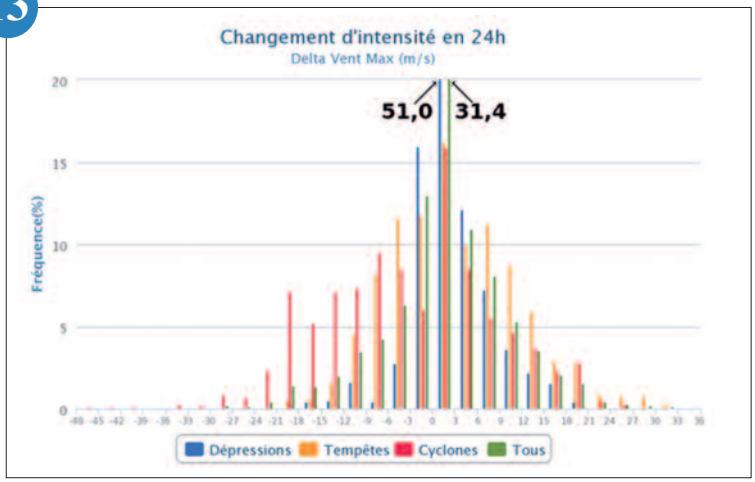
12



(a) : Graphe temporel de surcote pour Brest lors de la tempête du 25 février 1989 (comparaison modèle et observation, la courbe modèle en trait continu rouge, et avec une courbe de marée du jour représentée à échelle réduite, en pointillé mauve dessous, pour localiser le moment des pleines mers et basses mers).

(b) : Graphe temporel de surcote pour Brest pour une reconstitution avec la « marée fictive » du 09 mars 1989, de coefficient 116 décalée de 278 heures, et les conditions de vent et pression de la tempête du 25 février 1989 (courbe de la marée fictive « réduite » en pointillé mauve dessous).

13



Distribution de fréquence des changements de la vitesse maximale sur 24 heures pour chaque catégorie de système selon leur intensité initiale : dépressions (Vmax < 17 m/s), tempêtes (17 m/s ≤ Vmax ≤ 34 m/s), cyclones (Vmax > 34 m/s), ou tous systèmes tropicaux confondus.

Climat

Au cours de l'année 2014, les analyses des simulations climatiques réalisées dans le cadre du projet international CMIP5 se sont poursuivies. Cela concerne notamment une étude du rôle respectif des processus physiques et dynamiques sur l'augmentation future de la variabilité inter-journalière et diurne en été et en Europe. Cette année est aussi une année de transition vers les nouvelles configurations des modèles climatiques qui seront utilisés dans les prochains exercices internationaux. Une première simulation continue de 6 mois sur le sud-est de la France réalisée avec AROME montre ainsi la capacité de ce modèle à simuler les pluies les plus intenses aux échelles climatiques. Mais avant l'aboutissement de ces travaux, quelques études se sont aussi focalisées sur la variabilité climatique et la capacité des configurations existantes des modèles à la simuler, à l'interpréter, voire à la prévoir. C'est notamment le cas pour une étude menée en collaboration avec l'IPSL et récemment publiée, montrant la possibilité de prévoir les variations naturelles de la productivité primaire du phytoplancton jusqu'à de 2 à 5 ans à l'avance. Une autre étude a permis d'améliorer la représentation des processus de surface liés au cycle du carbone au-dessus de la forêt amazonienne. Concernant la prévision saisonnière, une étude a exploré l'influence de la taille des ensembles de prévision sur les scores pour différentes variables. Le champ de recherche de la prévision saisonnière s'est d'autre part étendu à la fois vers les plus petites échelles et, en aval, vers les applications des prévisions, y compris dans un contexte de service climatique.
Les recherches et développement dans le domaine de la climatologie ont porté sur la collecte de données anciennes destinées à alimenter la reconstruction du climat au cours du 20e siècle préparée par le CEPMMT. Un nouveau jeu de données de températures homogénéisées, bien plus complet que le précédent, a par ailleurs été produit sur la période de 1950 à 2013. Son analyse permet de conclure à la détection du réchauffement climatique en France métropolitaine non seulement en moyenne, mais aussi à l'échelle locale sur l'ensemble du territoire. Dans le domaine de la production climatologique en France, l'application d'une nouvelle méthode d'estimation des extrêmes de précipitations à l'échelle régionale, s'avère supérieure aux méthodes utilisées jusqu'ici.

1

Modélisation du climat et du changement climatique

Evolution des températures européennes estivales dans la génération CMIP5 des projections climatiques

L'Europe se réchauffe, et cette tendance est particulièrement marquée en été. D'ici 2100, l'amplitude du réchauffement estival est estimée entre 0.1 et 8 °C d'après les projections CMIP5 (Figure).
L'incertitude importante vient d'abord du choix du scénario socio-économique (RCP), puis du choix du modèle de climat, et, dans une moindre mesure, de la variabilité interne du système que l'on peut apprécier via la réalisation de simulations d'ensemble. Associée à ce réchauffement moyen, les projections futures suggèrent une augmentation des variations (i) jour à jour et (ii) diurnes des températures estivales européennes, avec là encore de fortes incertitudes liées au scénario, au modèle et à la variabilité interne. A noter que, contrairement au réchauffement moyen, l'augmentation de la variabilité est spécifique aux étés européens, puisqu'elle n'est pas constatée systématiquement dans les autres régions et/ou saisons. Le réchauffement moyen et, de façon plus marginale, l'augmentation de variabilité des températures contribuent à rendre les vagues de chaleur plus fréquentes, plus intenses, plus persistantes et plus étendues.
Réduire les incertitudes associées à ces tendances est donc crucial, notamment pour les études d'impacts. Les recherches menées à GMGEC ont permis de quantifier comment, à scénario donné, le réchauffement et l'augmentation de variabilité sont modulés par la réponse de la circulation atmosphérique sur l'Atlantique Nord, et la réduction de couverture nuageuse et l'assèchement des sols en Europe. Les travaux actuels portent sur la mise en évidence de liens entre les réponses futures des modèles et leur comportement en climat présent, dans un but de contraindre les projections par les observations.

2

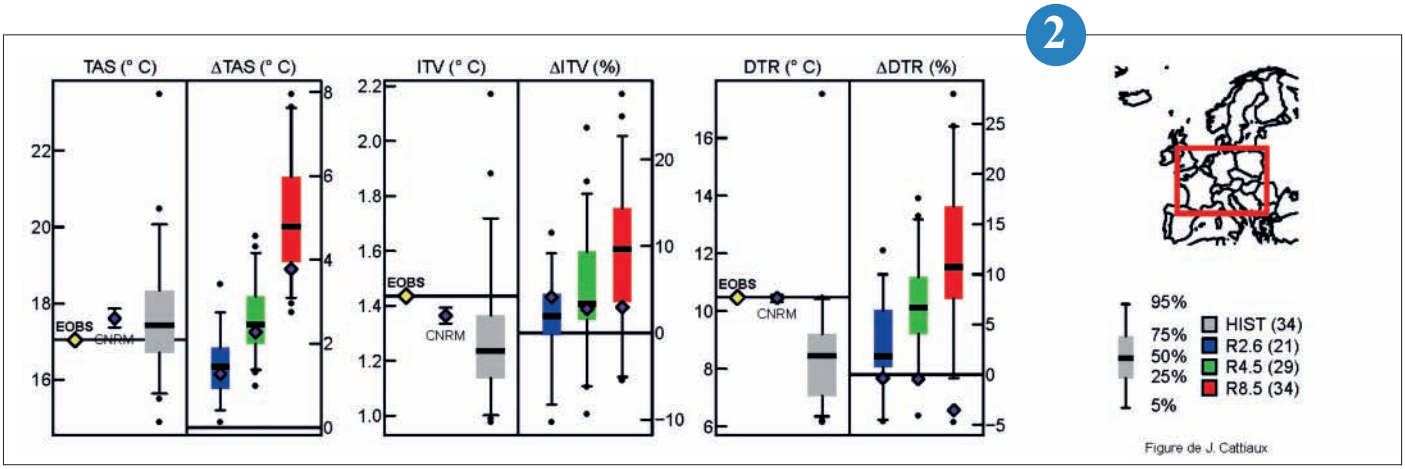
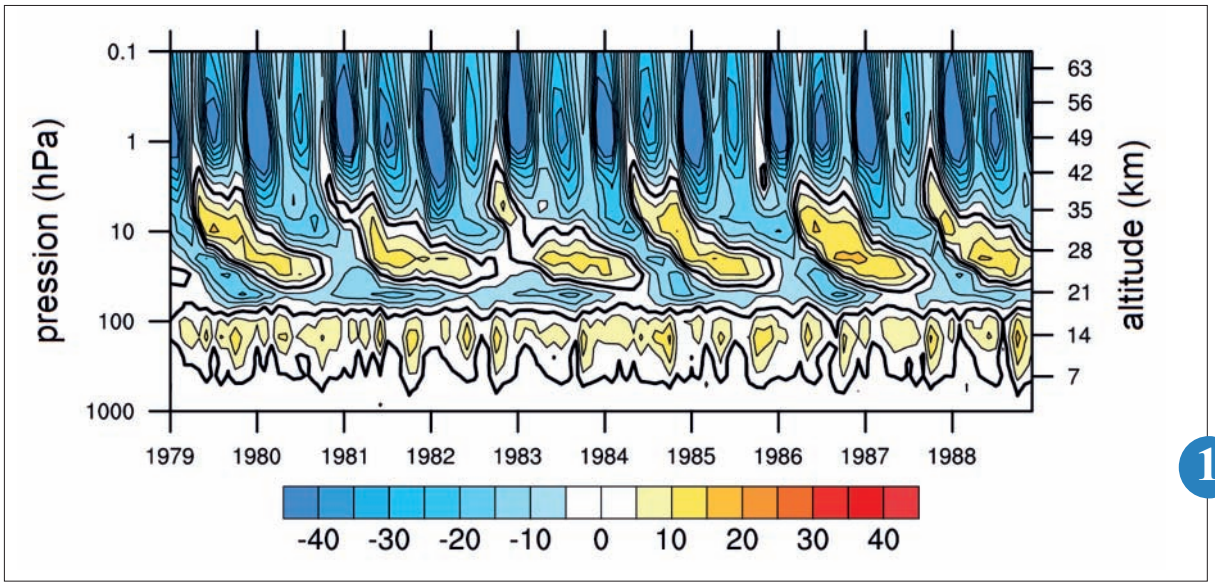


Figure de J. Cattiaux



1

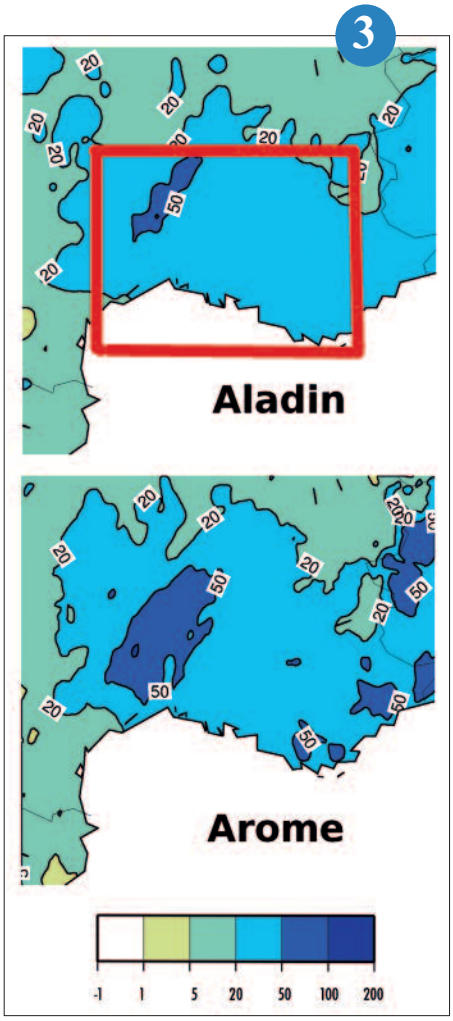
Coupe temps-altitude de la moyenne zonale du vent zonal équatorial (5S-5N) simulée par ARPEGE-Climat T63 à 91 niveaux verticaux, incluant la paramétrisation des ondes de gravité non-orographiques, et forcé par ERA-Interim. La figure montre la capacité du modèle à simuler l'Oscillation Quasi-Biennale (QBO).

Première tentative de simulation climatique avec AROME

L'étude des impacts du réchauffement climatique demande une précision spatiale supérieure à celle qu'offrent aujourd'hui les modèles du GIEC. Avec les modèles ARPEGE à résolution variable, puis ALADIN, Météo-France a tenté de répondre à cette demande depuis le milieu des années 1990. Nous avons successivement utilisé des résolutions horizontales de 50 km, 25 km et 12 km à mesure que les moyens de calcul le permettaient. Nous avons ainsi pu décrire avec un certain succès les caractéristiques du climat français ou européen et leur évolution possible dans le cadre d'un réchauffement global. Cependant ces modèles représentent les phénomènes de convection, qui produisent de fortes pluies, par des relations empiriques plus ou moins complexes qu'on appelle paramétrisations. Les phénomènes cévenols y sont représentés très grossièrement (élévation de la masse d'air par le relief sous la poussée du flux moyen).

Le modèle AROME, utilisé depuis quelques années à Météo-France en prévision à court terme, possède, avec sa résolution de 2,5 km et ses équations non-hydrostatiques, la capacité à appréhender ce phénomène. La figure illustre ceci avec une simulation continue (pas une série de prévisions) juillet-décembre 1994. ALADIN, piloté par la grande échelle observée sur le bassin méditerranéen, pilote à son tour AROME sur le Sud-Est de la France. Nous avons retenu les 10 jours les plus pluvieux, qui, à une exception près, sont les mêmes pour les deux modèles. On voit que si ALADIN localise grossièrement les zones de précipitation intense, AROME produit des précipitations localement plus abondantes. La perspective est de valider ce modèle sur les 20 dernières années, et de simuler un changement climatique issu du GIEC.

3



Précipitations (mm/jour) moyennes des 10 jours les plus pluvieux de juillet à décembre 1994. Le critère est la pluie moyenne dans le rectangle rouge. A gauche le modèle ALADIN, à droite le modèle AROME.

Moyenne et variabilité des températures européennes estivales. Gauche : température moyenne. Milieu : variabilité jour à jour. Droite : amplitude diurne. Pour chaque panel sont tracées les valeurs estimées sur la période 1979-2008 (observations en jaune, gamme du modèle CNRM-CM5 en violet, et boîte à moustache grise pour le multi-modèle CMIP5), et les différences entre les périodes 2070-2099 et 1979-2008 selon trois scénarios climatiques (boîtes à moustaches bleue, verte et rouge pour le multi-modèle CMIP5 en scénario RCP26, RCP45 et RCP85, respectivement, avec le modèle CNRM-CM5 en violet). Les changements de variabilité sont exprimés en pourcentages par rapport aux valeurs présentes. La région étudiée, la signification des boîtes à moustaches et le nombre de modèles utilisés pour chaque ensemble sont indiqués en légende.

Vers une prévision pluriannuelle des fluctuations de la production biologique dans le Pacifique Équatorial

Le Pacifique équatorial est l'une des plus grandes régions de pêche au monde, où plusieurs millions de tonnes de poissons sont capturées chaque année à des fins commerciales. Ces prises varient fortement d'une année à l'autre, notamment en lien avec les fluctuations climatiques El Niño/La Niña. Lors des phénomènes La Niña, les eaux profondes, froides et riches en nutriments, remontent à la surface. La production primaire du phytoplancton (NPP), base des chaînes trophiques marines, augmente alors significativement, ce qui conduit à des stocks de poissons importants. A l'inverse, le phénomène El Niño appauvrit l'océan de surface, entraînant une diminution drastique de certains stocks de poissons. Ce stress environnemental s'ajoute alors à la pression anthropique liée à la pêche. Malgré son grand intérêt, peu de travaux ont réellement étudié la possibilité de prévoir les variations pluriannuelles de la NPP, dans la mesure où l'horizon de prévisibilité des phases El Niño et La Niña est limité à 6 mois/1 an.

À l'aide d'un modèle de climat incluant une représentation simplifiée de l'écosystème marin, nous avons évalué la prévisibilité potentielle des variations naturelles de la NPP dans le Pacifique équatorial observées par satellite depuis 1997. Nos résultats montrent que la capacité de notre modèle à prévoir ces variations atteint 2 à 5 ans, contre seulement un an pour la température de surface de l'océan. Même s'il ne s'agit que d'une démonstration conceptuelle réalisée avec un seul modèle, nos résultats ouvrent des perspectives jusque-là inexplorées, plaidant pour la mise en place de stratégies de pêche raisonnée pluriannuelles à partir d'un outil de prévision.

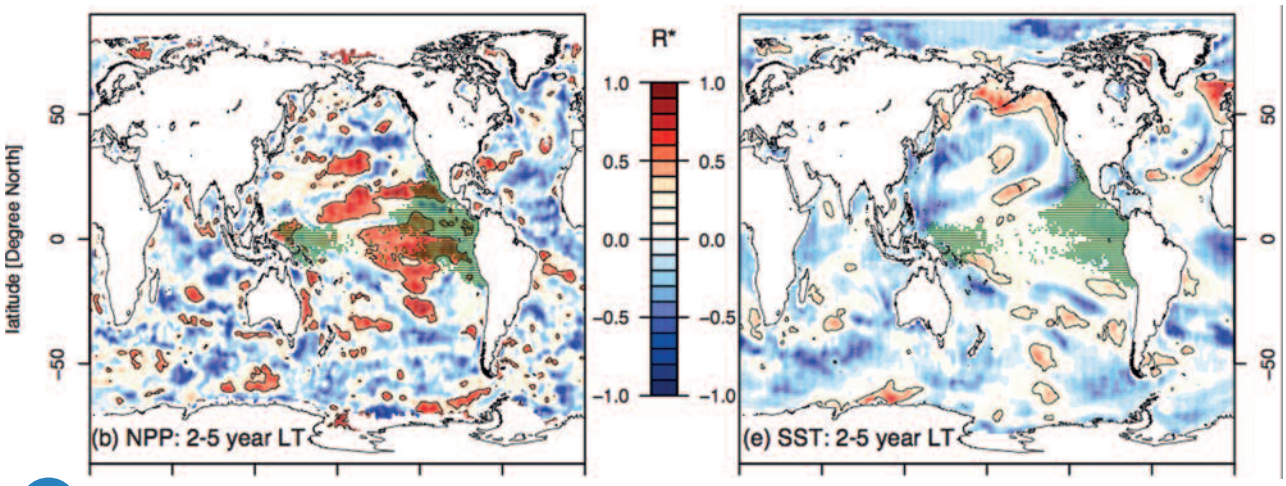
4

Représentation des échanges de carbone et d'eau entre la forêt amazonienne et l'atmosphère

La forêt amazonienne joue un rôle essentiel dans le système climatique en régulant les cycles de l'eau et du carbone à l'échelle de la planète. Elle recycle 25 à 35 % des précipitations qui tombent sur le bassin et contient 10 % des réserves globales de carbone dans la végétation. Le biome amazonien absorbe plus de carbone qu'il n'en rejette et constitue actuellement un puits de carbone, mais lors des deux sécheresses majeures de 2005 et 2010, ce puits a été fortement réduit. Or, les simulations climatiques réalisées pour le dernier rapport du GIEC tendent à prévoir pour le XXI^{e} siècle un allongement et une intensification de la saison sèche, ce qui risque de réduire la capacité de l'écosystème à absorber du carbone et donc d'amplifier l'effet de serre.

Il est donc nécessaire pour un modèle de climat de représenter correctement les processus qui interviennent dans les échanges de carbone et d'eau en Amazonie. Nous avons évalué le modèle de surface continentale ISBA_CC du CNRM-GAME en vue de son utilisation dans le modèle de climat CNRM-CM6. La comparaison avec les mesures de cinq tours de flux du réseau « FLUXNET » et les résultats de deux expériences d'assèchement artificiel en Amazonie et Guyane française nous ont conduits à modifier la paramétrisation de l'évapotranspiration, de la respiration et de la sensibilité de la végétation au stress hydrique. Le modèle a ensuite été testé sur tout le bassin en utilisant des données de débits, des reconstructions d'évapotranspiration et d'assimilation de carbone, ainsi que des observations spatiales de variations de stocks d'eau et de fluorescence chlorophyllienne. Finalement la sensibilité de la paramétrisation d'ISBA_CC au changement climatique a été explorée avant une utilisation dans le modèle de climat CNRM-CM6.

5

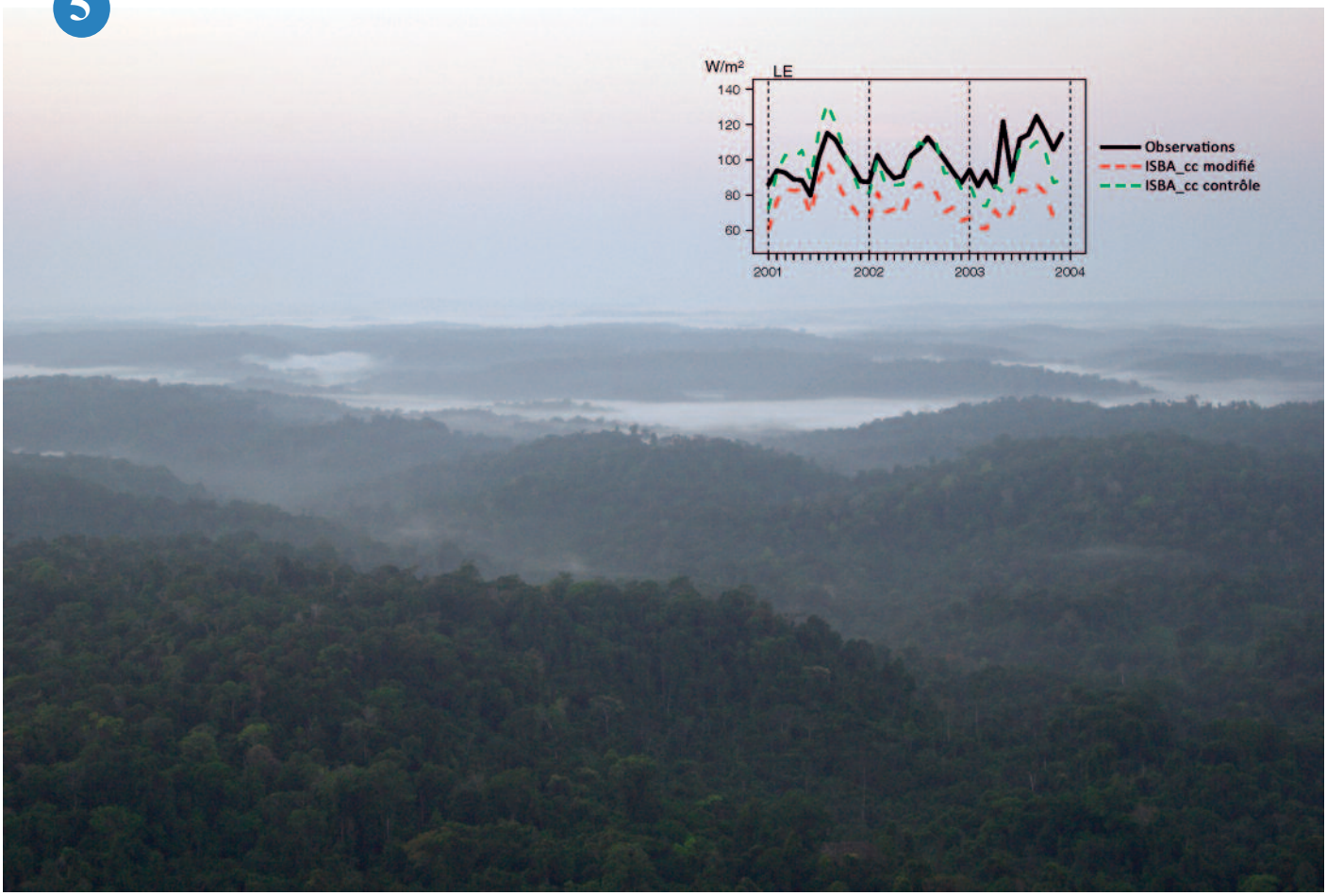


4

Évaluation des prévisions de 2 à 5 ans pour la productivité primaire (NPP) et la température de surface de l'océan (SST) sur la période 1998-2008 en terme de corrélation (i.e. où les valeurs positives indiquent une bonne capacité à prévoir les variations naturelles). Les régions hachurées en vert montrent les zones de pêche pour une seule espèce de thon sur la période 1991-2011.

Lever de soleil sur la forêt tropicale humide en Guyane française.
Moyennes mensuelles de 2001 à 2004 du flux de chaleur latente (LE) observé (en noir, Goulden et al., 2004) et simulé par la version de contrôle d'ISBA_CC (rouge) et la version modifiée (vert) pour le site de Tapajos, km83 (Brésil).

5



Prévision saisonnière et climatique

Prévision saisonnière : utilisation de très grands ensembles

Le caractère probabiliste d'une prévision météorologique s'accroît au fur et à mesure de l'échéance. A l'échéance de quelques mois, on ne peut pas se contenter d'une intégration unique du modèle, aussi bon soit-il. On construit divers « scénarios » supposés équiprobables et appartenant à une distribution probabiliste dont on espère que le temps observé sera une réalisation. La question de la taille des ensembles, limitée par les ressources de calcul, est une question ouverte.
Dans les années 2000 (e.g. projet européen ENSEMBLES), on considérait que des ensembles de 10 membres étaient un bon compromis. Dans les prévisions en temps réel d'EUROSIP, on en produit 51, mais seulement 10 pour les prévisions rétrospectives. La multiplication des processeurs disponibles et la capacité d'explorer plus de situations par l'application de perturbations stochastiques nous ont encouragés à produire, pour les 34 dernières années, des ensembles de prévisions de 215 membres avec le modèle de Météo-France. En tirant aléatoirement un sous-ensemble d'une taille donnée, et en répétant l'opération, on peut estimer ce que nous apporte en termes de score, mais aussi de précision de score, l'accroissement de la taille d'un ensemble. La figure montre les scores de précipitation tropicale (PT), de géopotentiel 500 hPa sur l'hémisphère Nord (ZHN) et d'indice d'oscillation Nord-Atlantique (NAO). Le comportement est différent. Les scores de PT sont robustes et se stabilisent dès 20 membres. Les scores de ZHN se stabilisent avec 50 membres et sont assez robustes pour pouvoir comparer deux versions du modèle. Les scores de NAO semblent se stabiliser avec 50 membres mais restent très fluctuants, même avec 100 membres.

6

Descente d'échelle statistique pour la prévision saisonnière en Europe

Malgré les progrès constants de la modélisation, qui profitent également à la représentation de l'évolution climatique (période passée et scénarios futurs), les gains mesurés par les scores objectifs pour les prévisions à quelques mois d'échéances restent modestes : la prévisibilité saisonnière aux moyennes latitudes est en effet limitée.
Sur l'Europe, que ce soit en termes de températures ou de précipitations, les modèles actuels n'apportent finalement qu'une plus-value très limitée par rapport à une information purement climatologique. Si l'on ajoute à cela une résolution faible (de l'ordre de 150 km pour la plupart des modèles), on comprend les difficultés à développer des applications.
C'est pourquoi il est nécessaire de développer des descentes d'échelle des prévisions saisonnières. A l'image des adaptations statistiques mises en œuvre à courte ou moyenne échéance, et des régionalisations des scénarios climatiques, leur objectif est de fournir des données à plus fine résolution, tirant le meilleur parti de l'information de grande échelle et cohérentes d'un point de vue climatologique.
Une descente d'échelle simple à résolution 8km a été développée pour la prévision hydrologique sur la France dans le cadre du projet EUPORIAS (cf. article EUPORIAS). La Direction de la Climatologie, en collaboration avec l'équipe GMME du CNRM, a souhaité tester d'autres méthodes, basées sur les régimes de temps. Cette approche vise à exploiter l'information de grande échelle (ce qui est réellement « vu » par le modèle) pour ensuite le traduire en impact de fine échelle, connaissant les liens statistiques entre la circulation générale et le climat local. Les résultats sur la saison d'hiver sont encourageants et ouvrent des perspectives opérationnelles.

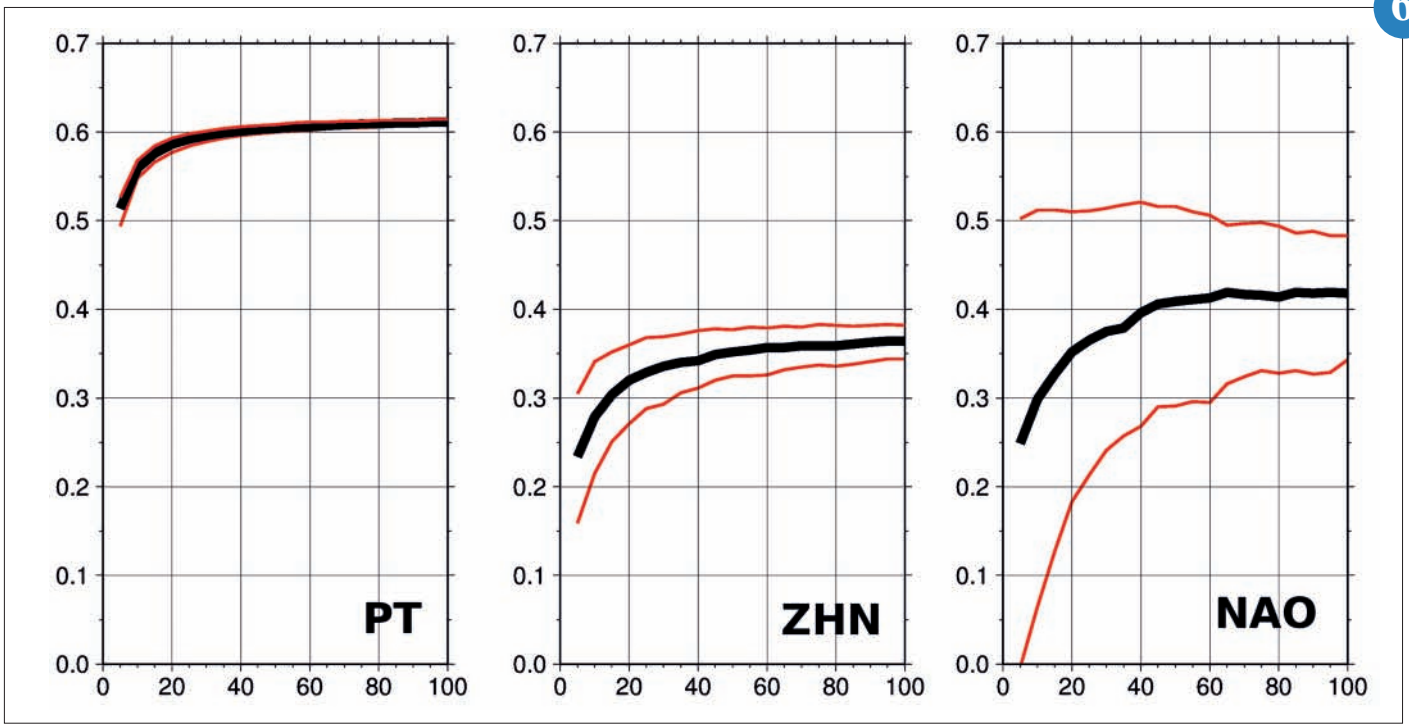
7

Application à l'agriculture de la prévision saisonnière et évaluation à l'échelle de la France

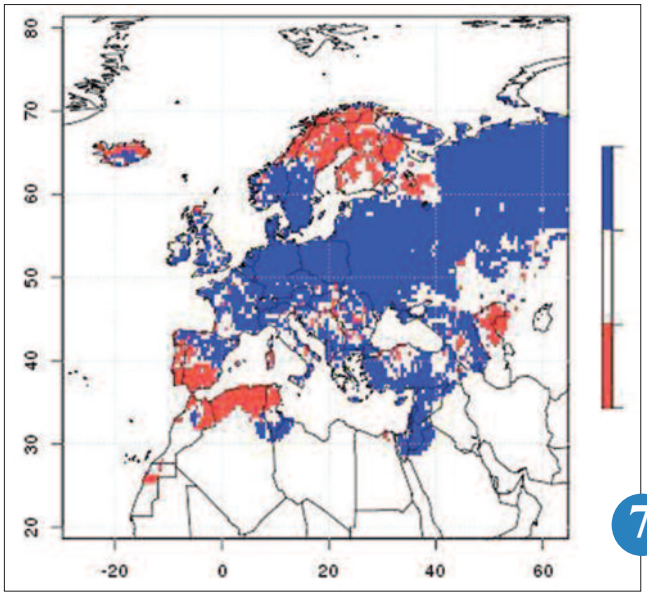
En 2014, un travail de doctorat (Nicolas Canal) en partenariat entre Météo-France et Arvalis-Institut du Végétal s'est terminé. L'objectif a été d'évaluer comment l'utilisation de la prévision saisonnière du temps pour forcer un modèle de croissance du blé sur la France permet d'anticiper l'évolution des variables agro-météorologiques de cette culture.
Les prévisions saisonnières produites pendant le projet européen ENSEMBLES sur la période 1981-2005 ont été utilisées pour alimenter le modèle de culture Panoramix d'Arvalis – Institut du Végétal. Les analyses ont été conduites sur la prévision des principaux stades phénologiques, du bilan hydrique, et des sommes de température. Il a été montré qu'un ensemble de scénarios de prévision saisonnière donne de meilleures estimations de ces variables que l'utilisation d'une méthode climatologique couramment utilisée en agronomie. Les meilleures prévisions sont généralement obtenues dans le nord de la France. Enfin, la prévisibilité est rallongée avec une approche ensembliste de la prévision saisonnière du temps, par rapport à une approche restreinte à l'utilisation de la médiane des scénarios fournis par le système de prévision.
En parallèle, des méthodes statistiques de prévision basées sur des indicateurs issus du modèle de surfaces continentales ISBA-A-gs et d'observations satellitaires de la végétation ont été évaluées. Le modèle ISBA-A-gs s'est montré capable de représenter la variabilité interannuelle des productions de céréales et de prairies. Le potentiel de prédiction de la fin de leur cycle de croissance à partir de l'humidité du sol simulée par le modèle et du LAI satellitaire est généralement plus grand pour les prairies que pour les cultures.

8

6



Prévisions rétrospectives des hivers de 1979 à 2013 : scores de corrélation pour, de gauche à droite, les précipitations 30°N-30°S (PT), le géopotentiel 500 hPa 30°N-90°N (ZHN) et l'indice d'oscillation Nord-Atlantique (NAO). L'abscisse indique la taille de l'ensemble de prévision. La courbe noire indique la médiane et les courbes rouges les quantiles 5% et 95%.

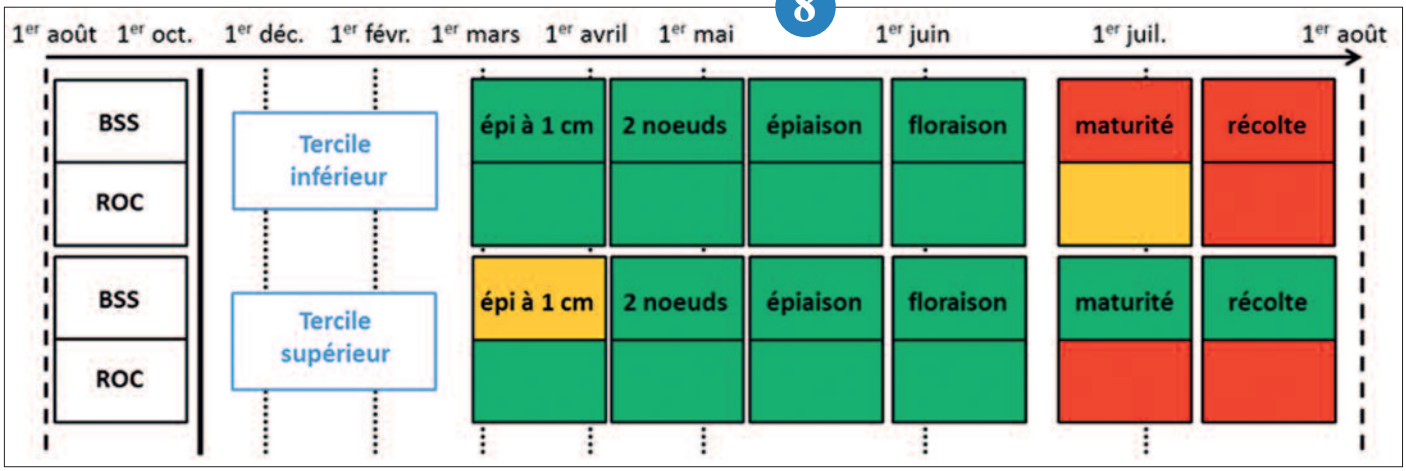


7

Scores de la prévision de température pour Décembre-janvier-février, pour le tercile inférieur. En bleu la descente d'échelle est significativement plus performante que le modèle ARPEGE, en rouge ARPEGE est significativement meilleur. En blanc, pas de différence significative.

Evaluation comparatives des prévisions ensemblistes de différents stades du cycle de culture du blé réalisées avec la prévision saisonnière du temps et une prévision climatologique. Les prévisions des dépassements de tercile inférieur et supérieur sont évaluées selon deux types de score le Brier Skill Score (BSS) et le Receiver Operator Characteristics (ROC). Un rectangle vert indique que l'utilisation de la prévision saisonnière donne un meilleur score que l'utilisation de la prévision climatologique. Un rectangle orange indique que les différences entre les deux approches ne sont pas significatives. Un rectangle rouge indique que l'utilisation de la prévision climatologique donne un meilleur score.

8



Prévision saisonnière et services climatiques : le projet EUPORIAS

La prévision saisonnière est en train de prendre toute sa place dans le monde des services climatiques. En effet, elle apparaît de plus en plus comme la première étape nécessaire à l'adaptation aux changements climatiques futurs.
Dans ce contexte, Météo-France participe à un projet européen entièrement dédié aux services climatiques : le projet EUPORIAS (http://www.euporias.eu), projet qui complète le projet SPECS lui plutôt tourné vers l'amélioration des modèles de climat.
Les principaux objectifs d'EUPORIAS sont :

- Développer et fournir un système (fiable et sure) de prévisions d'impacts pour un petit nombre d'études de cas (soigneusement sélectionnées).
- Établir et documenter les déficits clés de connaissances et les vulnérabilités des secteurs importants (ex : eau, énergie, santé, transport, agriculture, tourisme), ainsi que les besoins d'utilisateurs spécifiques dans ces secteurs.
- Développer un protocole de connaissance partagée nécessaire à la promotion de l'utilisation des ces nouveaux produits (y compris l'utilisation des incertitudes).
- Établir et documenter la valeur marchande actuelle des services climatiques en Europe.

Dans ce cadre, Météo-France s'intéresse plus particulièrement au secteur de la ressource en eau ainsi qu'à celui de l'énergie sur le territoire métropolitain. Nous poursuivons donc les développements entrepris autour de la prévision saisonnière hydrologique en travaillant en collaboration avec des utilisateurs volontaires pour nous accompagner sur le projet. Outre EDF, partenaire incontournable, nous travaillerons avec des agences de bassin représentant différents enjeux, telles que l'établissement Public Seine Grands Lacs (bassin de la Seine) et le SMEAG (bassin Adour-Garonne).
Nous avons développé des produits spécifiques basés sur les prévisions de débit des rivières correspondantes. Un travail sur la calibration des prévisions, en regard des données utilisés par nos utilisateurs dans leurs processus de décision, a été réalisé avec en conclusion le choix d'une correction quantile/quantile. Enfin, un protocole particulier et original leur a été proposé pour évaluer l'impact de l'utilisation des informations préparées sur leurs processus de décision. Il s'agit d'un protocole de type Placebo comprenant la fourniture de 2 jeux de prévisions, l'un correspondant aux prévisions saisonnières et l'autre au Placebo. Ces données seront testées en « aveugle » par nos utilisateurs, si possible sur la longueur du « hindcats » fourni (30 années).
L'ensemble de ce travail devrait déboucher sur l'évaluation de l'utilité de ces informations et, au-delà, sur la mise en opérationnel de cette chaîne de prévision, très attendue dans le milieu de la ressource en eau mais aussi dans celui de l'énergie ou encore de l'agriculture, et des services climatiques associés.

9

Diagnostic et détection d'évolution climatique

Un nouveau jeu de référence pour l'analyse de l'évolution des températures en France depuis les années 1950s

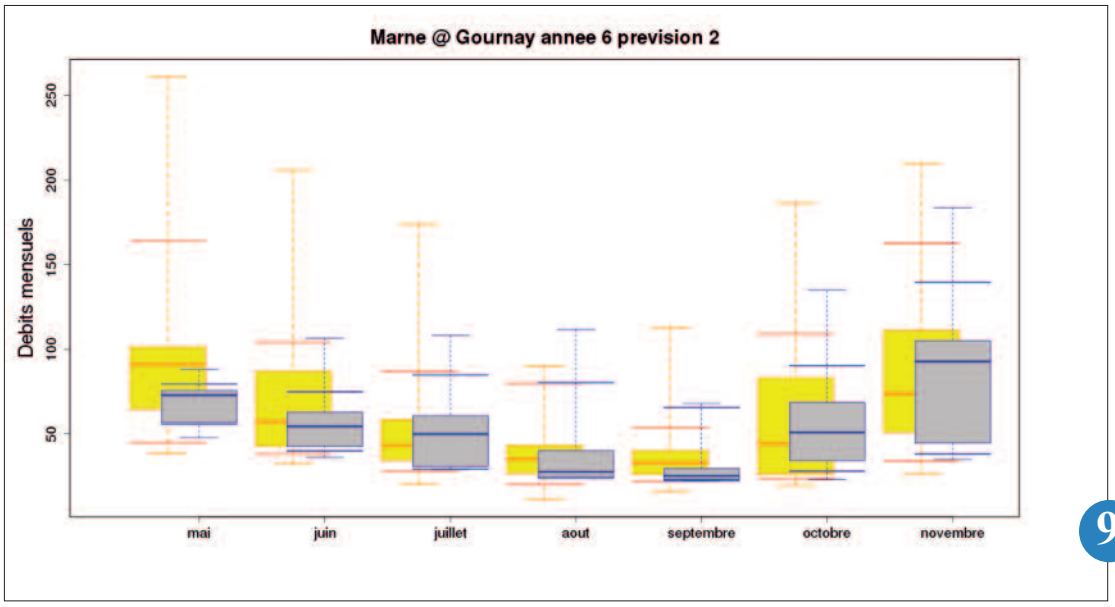
Les séries observées ne peuvent pas être directement utilisées pour étudier les évolutions du climat. En effet, les conditions de mesure changent au cours du temps, et cela peut provoquer des ruptures d'homogénéité du même ordre de grandeur que le signal climatique : par exemple, l'amplitude d'une rupture dans une série de température peut atteindre 1°C, comparable à l'augmentation de la température en France au XX^{e} siècle. L'homogénéisation est un traitement statistique qui permet de détecter et de corriger les biais présents dans les séries de données observées, liés à ces changements, pour ne conserver que le signal climatique.
En 2013, Météo-France a terminé l'homogénéisation d'un premier jeu complet de séries mensuelles homogénéisées de températures, depuis les années 50 jusqu'à nos jours. 228 séries de température minimale et 251 séries de température maximale couvrent tout le territoire métropolitain avec une qualité et une densité inégalées. Des séries homogénéisées de température sont également disponibles pour 3 départements d'Outre-Mer. Le réchauffement moyen annuel sur la France est d'environ +0,3°C par décennie sur la période 1959-2009, et s'explique principalement par l'augmentation des températures au printemps et en été. Il est nettement plus fort que la tendance de +0.1°C par décennie précédemment établie sur tout le XX^{e} siècle, à cause d'une accélération depuis les années 1970.
Ces séries homogénéisées seront régulièrement réactualisées, afin de proposer un diagnostic à jour. Un premier jeu de séries homogénéisées de précipitations sera également disponible fin 2014.

10

Estimation du changement climatique à l'échelle locale

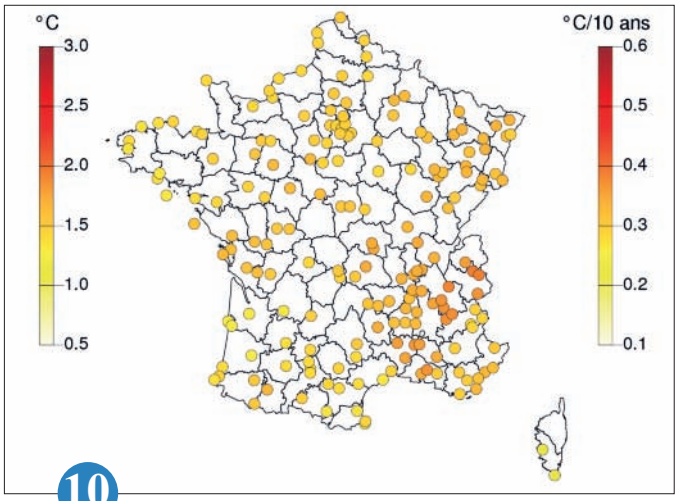
Le jeu de séries homogénéisées de température présenté dans l'article précédent constitue un outil précieux pour quantifier le réchauffement observé au cours des dernières décennies, à l'échelle locale.
Différentes techniques statistiques peuvent être envisagées pour estimer de combien la température moyenne s'est élevée, et l'incertitude associée. Une méthode simple et couramment utilisée consiste à ajuster aux observations une tendance linéaire, et à assimiler la variabilité interne à un bruit blanc en temps. Les travaux menés pour évaluer la pertinence de cette approche montrent que, pour cette variable et cette période de temps, l'utilisation d'une tendance linéaire est raisonnable. En revanche, différents indices suggèrent que la variabilité climatique présente une certaine mémoire, même si elle est limitée. La prise en compte de cette propriété élargit les intervalles de confiance d'environ 20%.
Les résultats obtenus suggèrent que la température moyenne en France a augmenté d'environ 1,5°C +/- 0.5°C entre 1959 et 2009. Ce résultat peut également être interprété d'un point de vue de détection du changement climatique. Dans la mesure où l'intervalle de confiance estimé n'inclut pas la valeur zéro, les observations sont incompatibles avec la variabilité interne seule, et on peut véritablement parler de changement climatique. Les figures montrent que ce résultat reste vrai pour chacune des séries de température, indiquant que le réchauffement est désormais détectable à l'échelle locale, sur tout le territoire métropolitain.

11



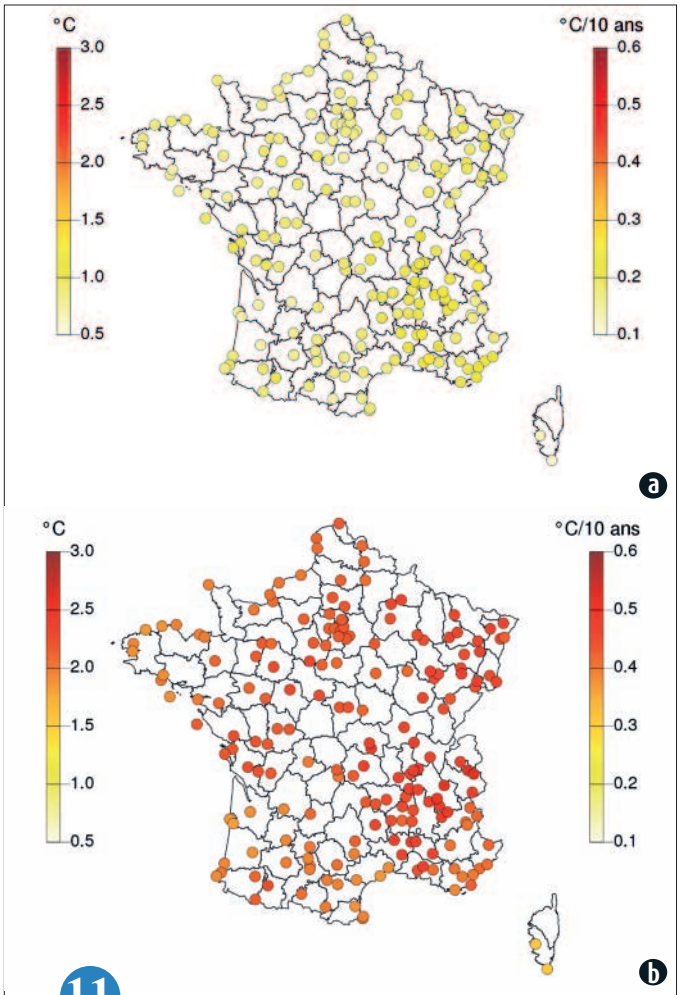
9

Exemple de prévision de débit mensuel (en m^3/S) à la station de Gournay sur la Marne. En jaune, la climatologie 1979-2007 des débits observés, en bleu la prévision pour la saison d'étiage 2007. Les boites et le trait gras représentent respectivement l'écart interquartile et la médiane, les moustaches correspondent aux min/max.



10

Augmentation (en °C, échelle de gauche) et tendance (en °C par décennie, échelle de droite) de température moyenne calculées à partir des séries homogénéisées sur la période 1959-2009. Les cercles noirs indiquent les tendances significatives.



11

Borne inférieure (a) et supérieure (b) des intervalles de confiance à 95% associés à la carte précédente : augmentation de la température moyenne (en °C, échelle de gauche) et tendance (en °C par décennie, échelle de droite) calculées à partir des séries homogénéisées sur la période 1959-2009.

Estimation des valeurs pluviométriques extrêmes à partir de méthodes régionales

Météo-France assure une production climatologique de l'estimation des pluies extrêmes sur l'ensemble des postes de Métropole et Outre-Mer pour des pas de temps allant de 6 minutes à 10 jours. La méthode utilisée jusqu'à présent s'appuie sur les lois issues de la théorie des valeurs extrêmes (Coles, 2001) appliquées aux séries locales sélectionnées selon des critères de longueur de séries et de qualité.

Le projet ANR ExtraFlo d'inter-comparaison des méthodes d'estimation des valeurs extrêmes de pluie et débit, a démontré la supériorité des approches régionales sur les approches purement locales, en termes de justesse et de robustesse.

Dans le cadre d'un partenariat de recherche, la Direction de la Climatologie a engagé le portage de la méthode régionale d'estimation des extrêmes pluviométriques développée au pas de temps journalier par le laboratoire d'Hydro-Sciences Montpellier (Luc Neppel et Julie Carreau) ainsi que le développement de son extension aux pas de temps infra quotidiens.

L'approche régionale vise à enrichir les observations d'un site donné, avec l'ensemble des séries disponibles dans un rayon de l'ordre de 50 km, satisfaisant différents tests d'homogénéité. L'échantillon régional indépendant sur lequel sont calculées les durées de retour est constitué par tous les épisodes pluvieux de ce voisinage, normalisés par un « index-value » propre à leur station d'appartenance. Cette méthode a été appliquée en 2014 dans le cadre d'un stage Master sur le territoire du Grand Lyon et sur une partie des Cévennes.

Les méthodes régionales ont l'avantage de réduire la variabilité d'échantillonnage en augmentant la taille des observations. Elles améliorent également la fiabilité des quantiles obtenus en élargissant le domaine spatial.

12

La recherche des observations météorologiques en altitude pour le projet ERA-CLIM 2

Météo-France est impliqué, depuis 2011, dans le projet international ERA-CLIM1 , poursuivi de 2014 à 2016 sous le nom ERA-CLIM 2. Ce projet, coordonné par le CEPMMT2, vise à reconstruire les évolutions de l'atmosphère tout au long du XX^{e} siècle et à produire un ensemble de ré-analyses utilisant un modèle couplé océan-atmosphère.

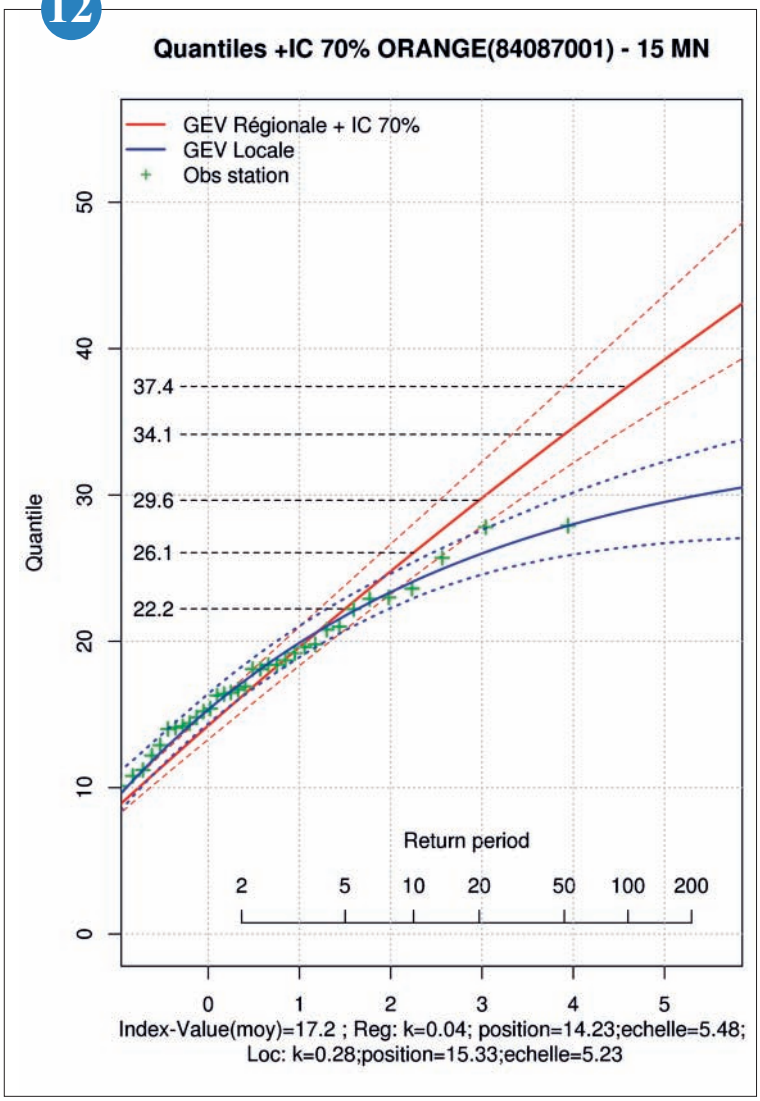
L'engagement de l'établissement dans ce projet porte sur un méticuleux travail de recherche, d'inventaire, de numérisation et de saisie de données d'observations en altitude antérieures à 1957, inscrit dans le cadre de l'action Data Rescue. La contribution apportée par la France se révèle essentielle de par l'importance et la richesse des archives climatologiques disponibles pour la métropole, l'outre-mer et les anciennes colonies.

Une première recherche pour la métropole a permis de sélectionner quinze longues séries d'observations de vents en altitude (direction, vitesse) depuis 1920 et cinq séries de radiosondages depuis 1937 (pression, température, humidité). Pour ERA-CLIM 2, les stations françaises des régions polaires et tropicales, particulièrement recherchées pour leur position géographique, seront ciblées. Météo-France y a relevé vingt-deux longues séries de vents en altitude, réparties entre les territoires d'outre-mer (depuis 1936) et les terres australes (depuis 1950). Fin 2014, 1,4 million d'observations de vent en altitude ont déjà été insérées dans la base de données climatologiques de Météo-France.

Une fois numérisées, saisies, contrôlées et qualifiées, ces séries de données en altitude seront utilisées par les systèmes d'assimilation des modèles de ré-analyse du XX^{e} siècle.

13

12



Distribution des fréquences « régionale GEV », « locale GEV » et pluies extrêmes observées en 15MN à la station d'Orange.

Lancer de radiosondage à Mururoa dans les années 1980.

13

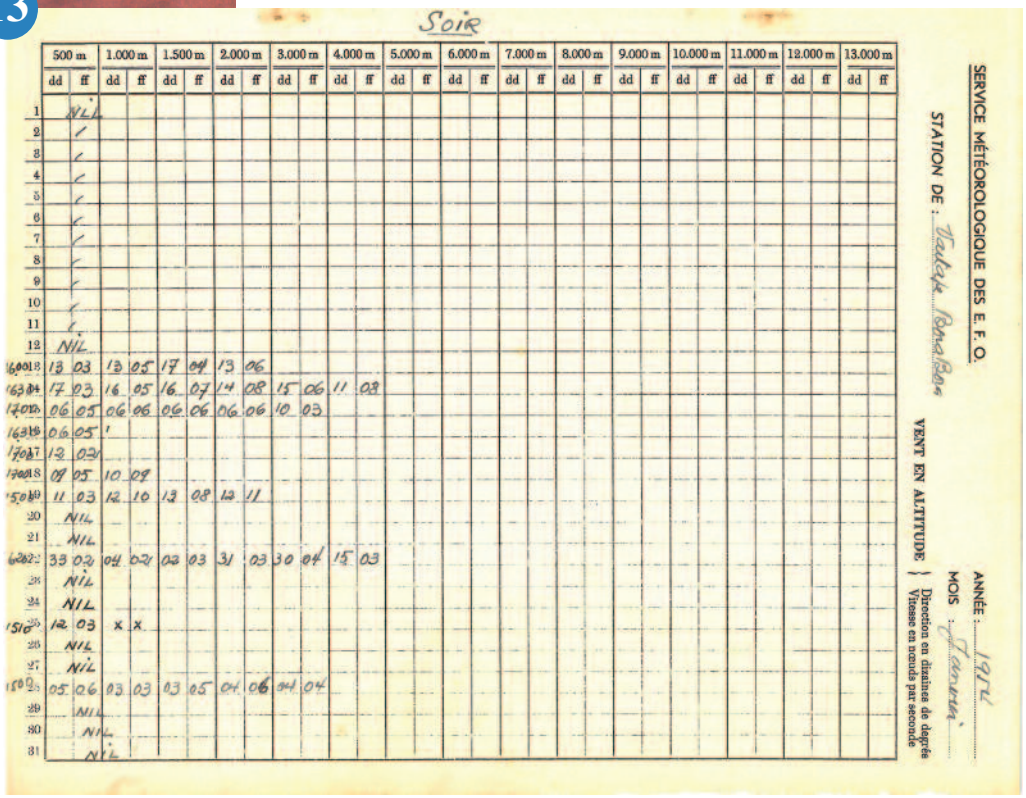


Tableau d'observations en altitude à Bora Bora de janvier 1954.

Chimie, aérosols et qualité de l'air

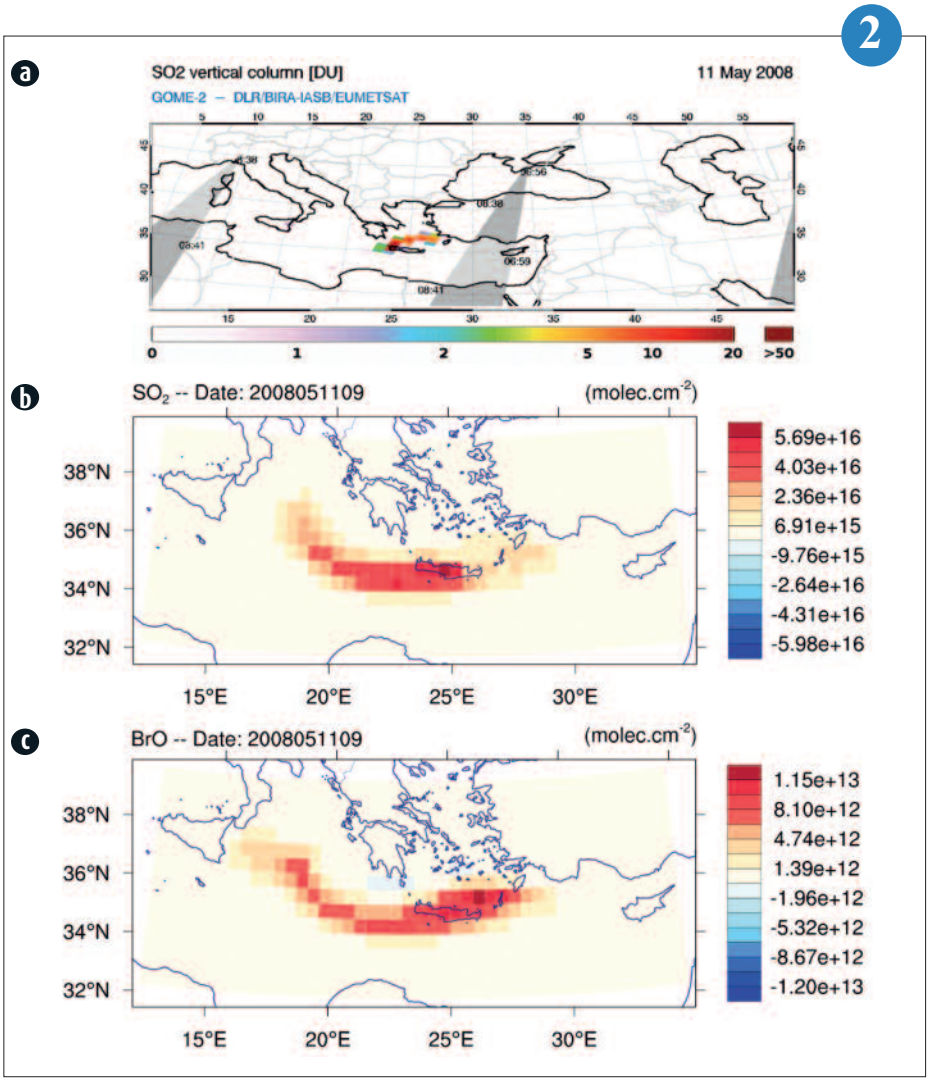
L'année 2014 a été marquée par les travaux de mise en place opérationnelle, à la direction de la production de Météo-France, de la chaîne de prévision d'ensemble de la qualité de l'air sur l'Europe développée au CNRM dans le cadre du projet MACC. Cette année, des progrès importants ont aussi été réalisés dans la prise en compte des aérosols, à la fois dans le modèle de prévision de la qualité de l'air, et dans les modèles utilisés pour les études de variabilité climatique aux échelles globales et régionales. Concernant le modèle de chimie-transport MOCAGE, un nouveau cycle chimique a été introduit afin d'étudier l'effet des halogènes volcaniques à l'échelle globale, testé sur le cas d'une éruption de l'Etna. D'autres développements, permettant la prise en compte des aérosols inorganiques secondaires et leurs rétroactions sur la chimie gazeuse, ont été introduits dans ce modèle.
Concernant les modèles globaux et régionaux de climat, un schéma d'aérosols pronostiques a été introduit montrant la capacité des deux modèles à reproduire les principales structures spatio-temporelles des épaisseurs optiques des aérosols. Sur le volet des observations, un élément marquant est la restitution des épaisseurs optiques des aérosols sur de longues périodes grâce au traitement des données du satellite géostationnaire MSG. Par ailleurs, une campagne aéroportée nommée CHemCallnt a été réalisée, permettant une inter-comparaison d'instruments de mesures chimiques embarquées avec les équipements correspondants installées en surface.

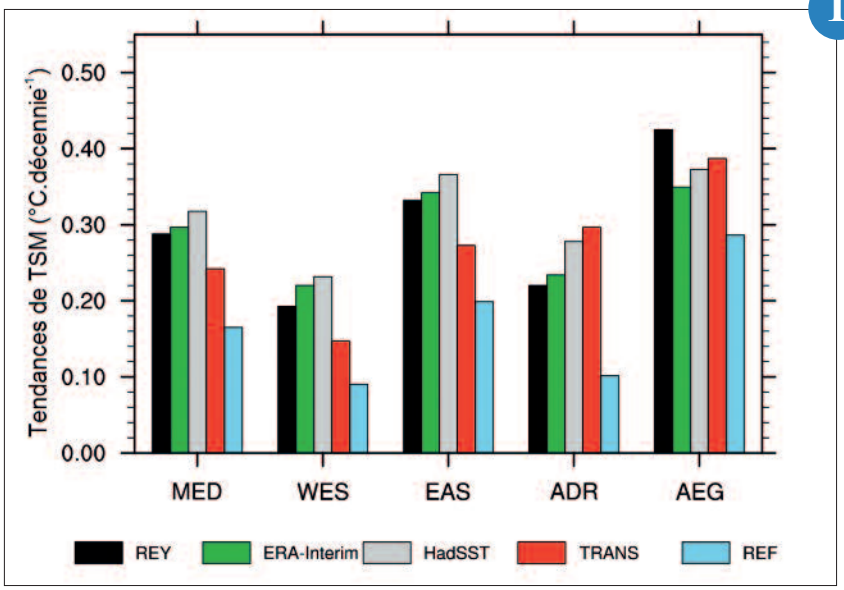
1

Modélisation atmosphérique 3D des halogènes d'origine volcanique

L'impact des espèces halogénées sur la chimie atmosphérique reste une source d'incertitude importante, en particulier sur le cycle de l'ozone stratosphérique. Les volcans peuvent contribuer au bilan de ces espèces, mais les processus d'évolution des concentrations des différentes espèces d'origine volcanique demeurent encore mal connus. Des halides (HCl et HBr) sont directement émis par les volcans, mais, en raison de leur forte solubilité, ils peuvent être rapidement éliminés de l'atmosphère par la pluie. A contrario, le monoxyde de brome (BrO), moins soluble, peut être détecté dans les panaches volcaniques puis transporté sur de longues distances.
Dans l'objectif d'étudier l'effet des halogènes volcaniques à l'échelle globale, le modèle numérique global 3D MOCAGE a été adapté pour représenter le cycle chimique produisant BrO. C'est une avancée importante puisque la plupart des précédentes études de ce type ont été réalisées à des échelles seulement locales à l'aide de modèles 1D. Pour le cas de l'éruption de l'Etna du 10 mai 2008, MOCAGE modélise de façon réaliste un panache de SO2 et de BrO. La localisation du panache du 11 mai 2008 est légèrement déplacée vers l'ouest à cause d'incertitudes sur la hauteur du panache (cf. figure). Cette première étude a montré l'importance des informations de l'émission comme le profil vertical du panache, la composition gazeuse et les quantités émises. Les simulations avec une résolution régionale ou globale donnent des quantités de BrO qui sont très proches. À partir de cette première analyse, la prochaine étape sera une étude sur une longue période de temps de l'influence de l'ensemble des halogènes volcaniques dans l'atmosphère.

2





1

Deux simulations, TRANS et REF ont été réalisées avec le modèle régional du système climatique CNRM-RCSM sur le domaine méditerranéen, respectivement avec et sans évolution temporelle des épaisseurs optiques des aérosols sur la période 1982-2012. La figure montre une évaluation des tendances de température de surface de la mer en °C décennie-1 sur la période, moyennées sur différents domaines (MED = mer méditerranée, WES = ouest du bassin, EAS = est du bassin, ADR = mer Adriatique, et AEG = mer Egée) pour les observations (REY pour la ré-analyse de Reynolds et al., la ré-analyse ERA-Interim du CEPMMT, et le jeux de données HadSST du Hadley Center) et pour les simulations REF et TRANS.

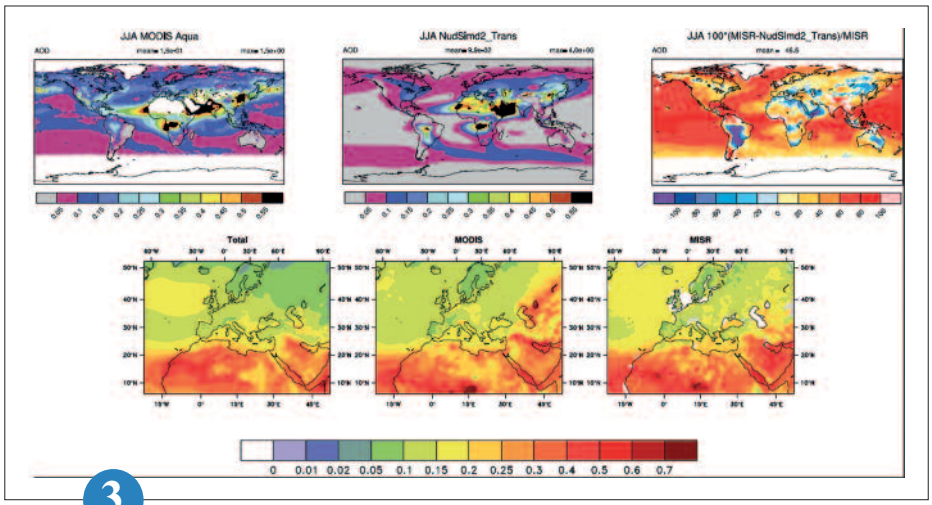
Les aérosols pronostiques dans les modèles de climat du CNRM

Le 5ème rapport du GIEC a souligné l'importance des aérosols au sein du système climatique, et les incertitudes encore liées à leur modélisation. Dans ce contexte, un schéma d'aérosols pronostiques a été introduit dans les modèles global et régional de climat du CNRM, les aérosols étant jusqu'ici prescrits à l'aide de climatologies mensuelles d'épaisseur optique.

Ce schéma, dérivé de celui utilisé dans le modèle de prévision numérique du temps du CEPMMT, décrit les évolutions physiques (émissions, arrachement dynamique des aérosols naturels, transport, dépôts sec et humide, sédimentation) des principaux aérosols troposphériques (carbone suie, matière organique, sulfates, poussières désertiques, et sels marins). L'évaluation de ce schéma a été menée parallèlement aux échelles globale et régionale (sur un large bassin méditerranéen), en s'appuyant sur des simulations climatiques réalisées respectivement avec CNRM-CM et CNRM-RCSM, qui partagent le même code informatique. Les épaisseurs optiques simulées ont été comparées à celles observées par différents capteurs satellitaires (cf. figure), à des climatologies de référence, ainsi qu'aux observations du réseau de stations sol AERONET.

Cette évaluation montre la capacité des deux modèles à reproduire les principales structures spatio-temporelles de l'épaisseur optique des aérosols. Les quelques défauts identifiés seront corrigés en améliorant la représentation des émissions de sels marins, ainsi que le cycle du soufre qui génère des aérosols sulfatés. Ces travaux de modélisation, qui se poursuivront par une évaluation des effets radiatifs des aérosols pronostiques sur le climat global, entrent dans le cadre de la préparation du modèle au prochain exercice du GIEC.

3



3

1ère ligne : épaisseur optique totale des aérosols, en JJA (2003-2012) pour les données satellitaires MODIS Aqua, la simulation CNRM-CM, et leur différence relative.
2ème ligne : épaisseur optique totale des aérosols (2003-2012) pour la simulation CNRM-RCSM, et les instruments satellitaires MODIS et MISR.

Carte représentant la contribution du panache volcanique du Mont Etna le 11 mai 2008 vers 9h00 UTC environ. (a) : Observations de SO_2 par le satellite GOME2. Ce sont des colonnes obliques. (b) : Panache volcanique de SO_2 modélisé par MOCAGE, en utilisant une résolution régionale (0.5°× 0.5°) et obtenu en faisant la différence entre une simulation avec éruption et une autre sans éruption. Ce sont des colonnes troposphériques. (c) : Similaire à (b) mais pour BrO.

Introduction des aérosols inorganiques secondaires dans MOCAGE : vers une meilleure modélisation des épisodes de pollution aux particules en France

Les aérosols, particules en suspension dans l'air, jouent un rôle important dans un grand nombre de domaines: réduction de la visibilité, influence sur la météorologie et le climat ou encore impact sanitaire. Les aérosols inorganiques secondaires sont formés dans l'atmosphère à partir des précurseurs gazeux que sont le dioxyde de soufre, l'ammoniac et les oxydes d'azotes. Ces aérosols sont composés de sulfates, nitrates et ammoniums. Ils jouent un rôle important, puisqu'ils contribuent en moyenne à 30% de la masse totale des aérosols dont la taille est inférieure à 2.5 microns, appelés PM2.5.

Le modèle MOCAGE développé au CNRM est un modèle de chimie-transport notamment utilisé pour réaliser quotidiennement des prévisions de qualité de l'air dans le cadre de la plateforme Prev'Air. Récemment des développements permettant la prise en compte de ces aérosols inorganiques secondaires et leurs rétroactions sur la chimie gazeuse ont été introduits dans MOCAGE. Cela permet d'enrichir la représentation des aérosols dans MOCAGE.

La figure représente les concentrations moyennes des aérosols inorganiques secondaires simulées en Europe pour l'année 2010 à l'aide du modèle MOCAGE. Les sulfates sont essentiellement présents sur l'Europe de l'est alors que les nitrates surtout au niveau du Benelux et de la vallée du Po. Les ammoniums sont présents en quantité plus faibles et équivalentes sur l'ensemble du continent.

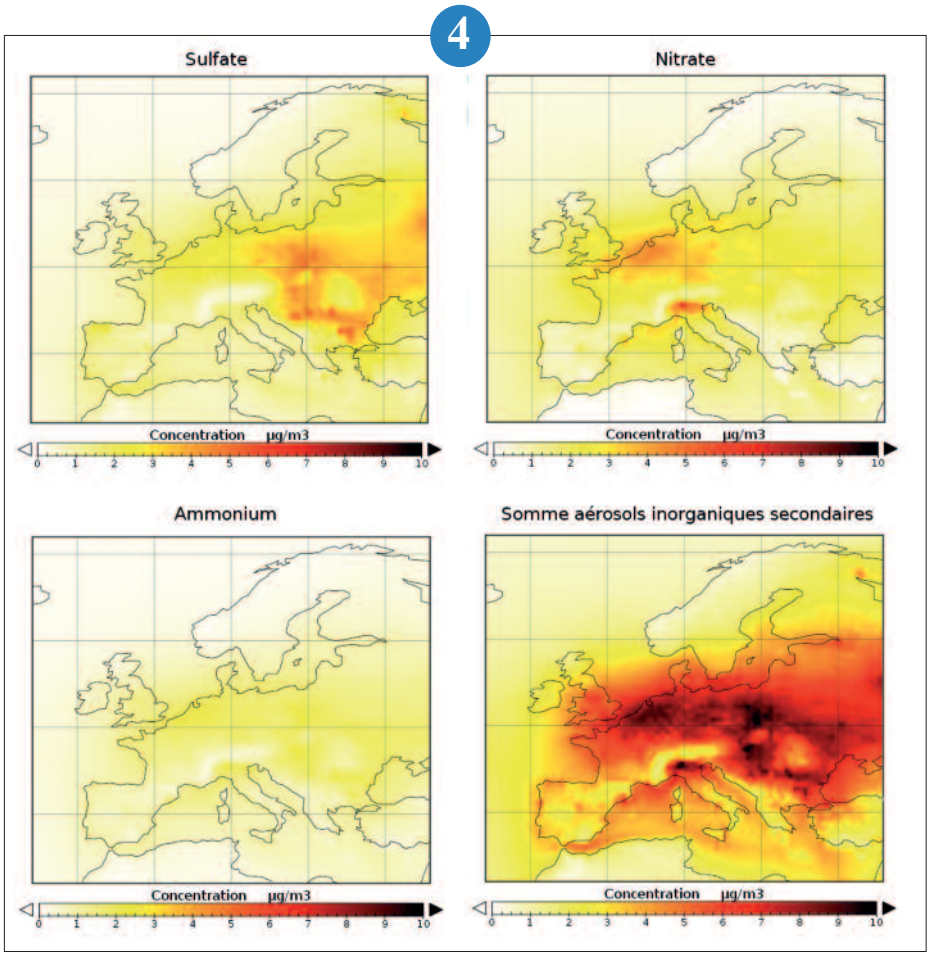
Ces développements seront utilisés d'une part, dans le cadre des prévisions opérationnelles de qualité de l'air effectuées à Météo-France sur la France et l'Europe et d'autre part, pour réaliser des études, notamment concernant le bilan des aérosols dans la zone méditerranéenne.

4

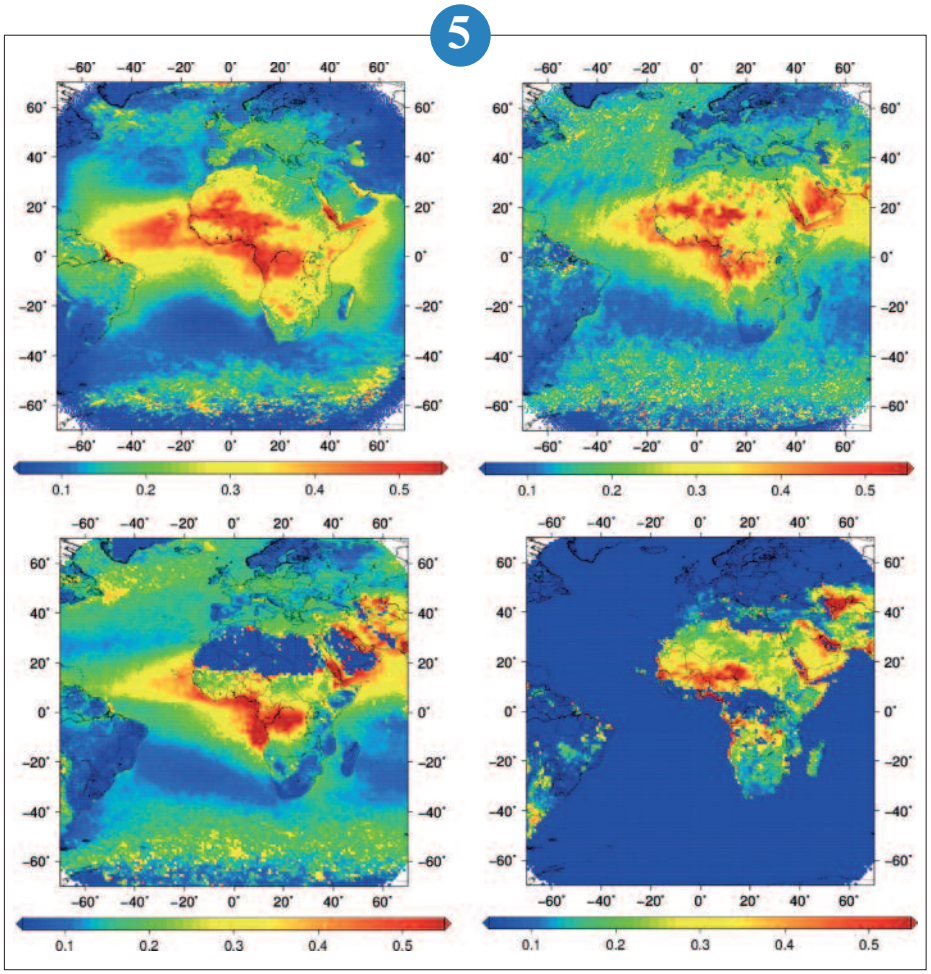
Télédétection des aérosols par le satellite géostationnaire MSG

Un nouveau produit d'épaisseur optique des aérosols (AOD) est distribué en temps réel à la communauté scientifique par le centre ICARE de production et de diffusion de données. Le produit AERUS-GEO (Aerosol and surface albEdo Retrieval Using a directional Splitting method – application to GEOstationary data) utilise les observations du satellite géostationnaire Meteosat Seconde Generation (MSG) couvrant l'Europe, l'Afrique, une partie de l'Asie et de l'Amérique du Sud. La méthode de restitution exploite l'information directionnelle contenue dans les séries de 96 observations que délivre par jour MSG sur le disque planétaire pour en déduire une estimation journalière d'AOD. Les performances de ce produit sont similaires à celles des produits satellitaires AOD les plus connus : MODIS DT (Dark Target), MODIS DB (Dark Blue) ou MISR. Il est important de signaler qu'AERUS-GEO fournit plus de 10 fois plus d'estimations d'AOD que MISR (2 à 3 fois plus que MODIS DT et DB), ce qui devrait permettre de fournir de meilleures estimations d'AOD sur de longues périodes temporelles. La figure montre des performances satisfaisantes du produit AOD proposé quelque soit le type de surface, contrairement aux produits AOD dérivés de MODIS.

5



Moyenne annuelle de l'année 2010 des concentrations en aérosols inorganiques secondaires et leurs différents composants (sulfate, nitrate et ammonium) modélisées à l'aide du modèle de chimie transport MOCAGE sur l'Europe.



AOD moyenne du 1er Décembre 2012 au 30 Novembre 2013 : AERUS-GEO (en haut à gauche), MISR (en haut à droite), MODIS DT (en bas à gauche), et MODIS DB (en bas à droite).

Transition vers la phase opérationnelle du projet MACC

Le projet MACC, volet atmosphère du programme européen COPERNICUS, a pour objectif la surveillance et la prévision de la qualité de l'air, à l'échelle du globe et de l'Europe. Depuis 2010, Météo France est responsable d'une prévision d'ensemble multi-modèles de qualité de l'air sur l'Europe et de la mise à disposition des résultats, au public, sous forme de cartes et données brutes. L'enjeu, cette année, était de préparer le passage opérationnel de cette chaîne de production.

Quatre jalons principaux marquent cette transition vers une phase opérationnelle. La mise en production de la filière MOCAGE-MACC en mode prévision, forcée par les champs météorologiques du modèle du Centre Européen (IFS) a été effective en juillet 2014. La chaîne d'analyse sera, elle, opérationnelle en décembre 2014. D'ici la fin de l'année, les différentes tâches liées à la récupération des résultats des modèles partenaires, au calcul de l'ensemble et à la fabrication des produits graphiques seront progressivement passées en mode pré-opérationnel. Enfin, un important travail est en cours de réalisation pour la conception du portail d'accès à ces résultats. L'IHM du site de visualisation a été développé et une démonstration en a été faite en septembre lors d'une évaluation du projet. En ce qui concerne le site de téléchargement, la définition des métadonnées a été finalisée en conformité ISO 19115 (Normes Inspire) et son architecture se base sur une instance OpenWis.

Sur la base des briques qui se mettent en place de manière pré-opérationnelle, Météo-France démontre ainsi sa capacité à accueillir cette production et pourra se positionner sur la problématique Atmosphère dans le cadre des appels d'offre COPERNICUS à venir.

6

CHemCalInt : Campagne de calibration et d'inter-comparaison de l'instrumentation aéroportée de chimie en phase gazeuse de la communauté nationale

L'exploration de la composition chimique de l'atmosphère par les moyens aéroportés reste aujourd'hui incontournable car elle permet une description des gradients horizontaux et verticaux des concentrations des polluants mais reste complexe à cause des conditions d'opération extrêmes.

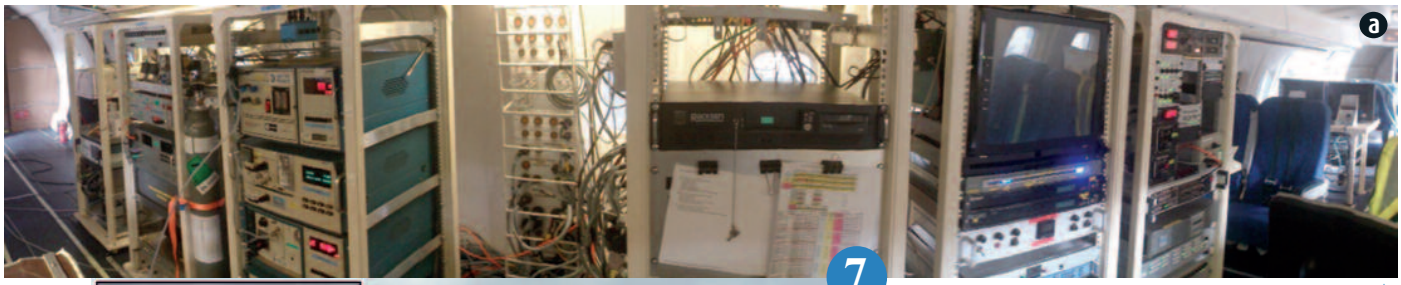
Afin de pouvoir s'assurer de la cohérence des mesures et de leur performance une campagne aéroportée nommée ChemCalInt a été réalisée en mai 2014 avec l'ATR exploité par SAFIRE et la participation de nombreux laboratoires français (LISA/IPSL, LA, LaMP, LiPhy, LPC2E, LSCE, Mines Douai). A son bord, un dispositif instrumental combinant différentes techniques de mesures optiques, spectroscopiques et de chimiluminescence des principaux photo-oxydants atmosphériques (ozone, CO, NO, NO_2, NOy) et gaz à effet de serre (CH_4, CO_2, H_2O) ont été installés. Ces équipements ont été soient développés par des laboratoires (ex. MONA pour la mesure de NO, NO_2 et NOy, MOZART pour la mesure de CO et d'ozone et SPIRIT pour la mesure de CO et NO_2) ou sont des analyseurs commerciaux reconnus ou en tests (ex. SARA, PICARRO). Ils ont pu être inter-comparés également avec des équipements installés dans les observatoires de mesure de surface survolés.

La communauté scientifique dispose ainsi d'un ensemble d'analyseurs aéroportés cohérents qui sera un atout majeur pour les futures campagnes.

7

6

Pages d'accueil du site de visualisation et du site de téléchargement des données mis en place dans le cadre du projet MACC.



7

Le dispositif expérimental à bord de l'ATR. (Crédit Estelle Tanniou)

L'ATR42 vu du CRA de Lannemezan durant un vol d'inter-comparaison entre l'instrumentation embarquée de l'avion et l'instrumentation sol. Crédit Solène Derrien (LA)

Surfaces continentales

Dans le domaine de la modélisation des surfaces continentales, l'année 2014 a été consacrée à préparer une nouvelle version de la plateforme de modélisation des surfaces continentales SURFEX intégrant des avancées scientifiques du modèle de surfaces naturelles ISBA sur la représentation du sol, de la neige et une meilleure représentation du bilan d'énergie à l'interface sols (nu ou enneigé)-végétation-atmosphère, ainsi que la représentation de nouveaux processus dans le modèle de ville TEB, avec la prise en compte de l'irrigation et des panneaux solaires par exemple. Cette version devrait être publiée courant 2015 sous licence libre Cecill C.
La plateforme de modélisation SURFEX est utilisée couplée aux modèles de prévision numérique du temps et de climat de Météo-France, mais aussi en mode forcé par des analyses ou prévisions météorologiques à la surface. Ainsi, en 2014, dans le cadre du projet européen EURO4M, des simulations SURFEX sur l'Europe forcées par la ré-analyse régionale MESCAN ont été produites sur une période 3 ans. Cet effort sera poursuivi dans le projet suite UERA afin de produire une ré-analyse des surfaces continentales sur une longue période. SURFEX, et en particulier le modèle hydrologique ISBA-TOP dédié aux crues rapides des bassins méditerranéens, est aussi utilisé pour évaluer avec le SCHAPI des ensembles de précipitations prévues par le modèle AROME, en préparation de la mise en opérationnel de la prévision d'ensemble AROME.
Dans le domaine de l'utilisation et de l'élaboration de produits satellitaires pour caractériser les surfaces continentales, de nouveaux algorithmes de produits albédo et rayonnement ont été conçus, notamment pour tirer parti du nouveau satellite PROBA-V (en remplacement de SPOT-VGT) et des futurs satellites Sentinel (Figure).

1

Ré-analyse des propriétés de surface à échelle fine sur l'Europe de 2007 à 2010. Projet EURO4M

Un nombre croissant d'utilisateurs a besoin de connaître l'évolution des variables de surface (sol et paramètres de surface) à échelle fine (inférieure à 10 km) sur de longues périodes (plusieurs décennies). Le projet européen EURO4M s'inscrit dans l'effort général pour la constitution de telles séries de données.
Météo-France a travaillé en collaboration avec le service météorologique suédois pour développer un nouveau système d'analyse des conditions météorologiques près de la surface à partir du savoir-faire développé dans les deux services depuis de nombreuses années. Météo-France a validé ce système sur la France, puis l'a mis en œuvre à l'échelle de l'Europe pour produire toutes les données nécessaires pour alimenter le modèle de surface SURFEX : température, vent, humidité près de la surface, rayonnements solaire et infrarouge incidents, précipitations. SURFEX a pu produire de nombreux champs de surface (température, humidité du sol, couverture neigeuse, ...) sur l'Europe à la résolution de 5.5 km de 2007 à 2010 (figure). Les données ont été validées par comparaison avec des observations de hauteur de neige et des flux en différentes stations.
L'objectif pour les années à venir est de poursuivre cette activité de ré-analyse en produisant des champs sur 50 ans (c'est l'objet du projet européen UERRA), d'améliorer la qualité et le nombre de paramètres produits et de se préparer à contribuer aux initiatives future du programme européen COPERNICUS dans ce domaine.

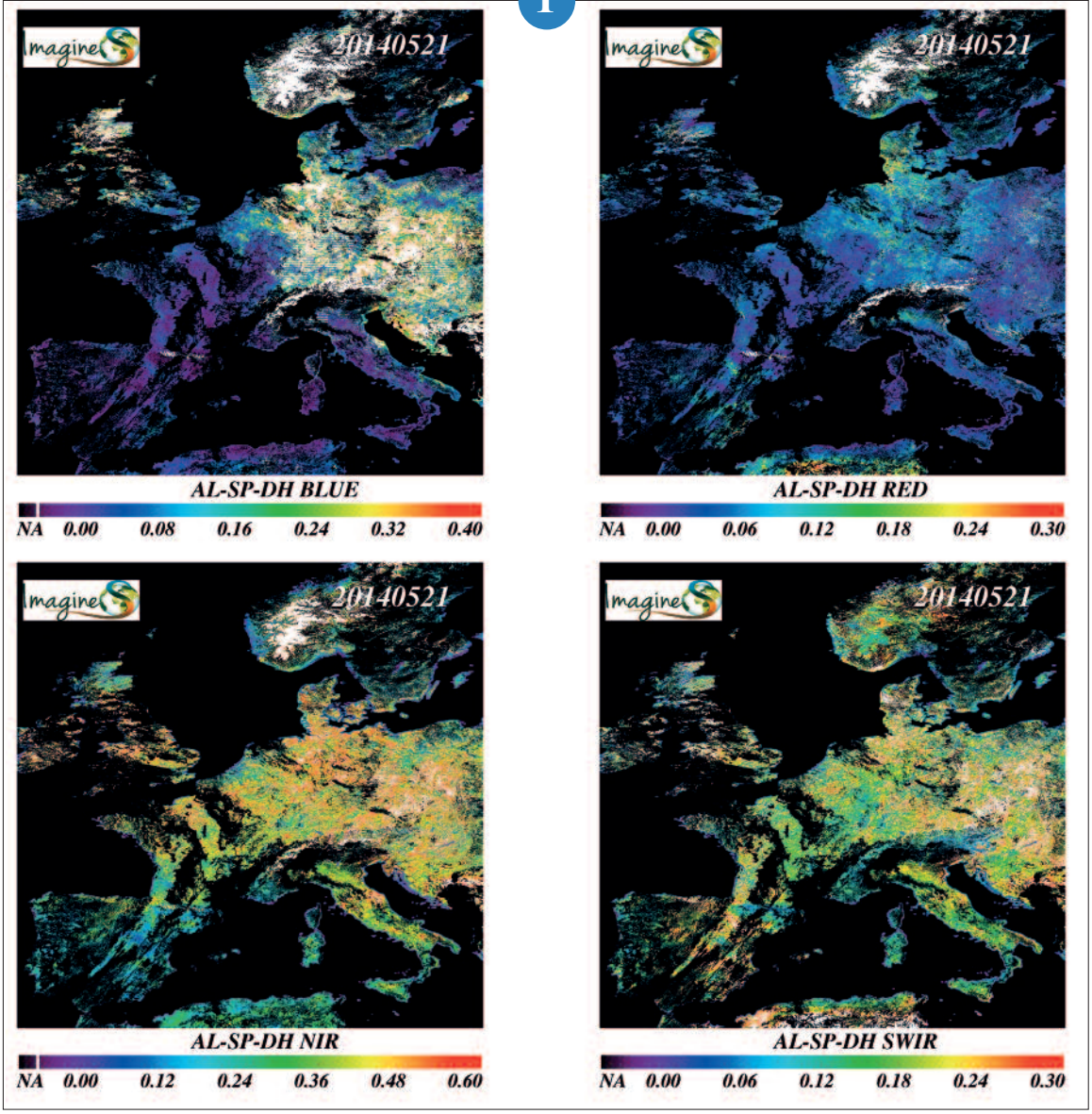
2

Le projet CHROME : une prévision d'ensemble hydrologique pour une meilleure anticipation des crues rapides

Le projet CHROME vise à améliorer la Vigilance Crue et la prévision hydrologique en contexte méditerranéen sur trois bassins cévenols connexes : le Gardon, l'Ardèche et la Cèze (500 à 2000 km²).
Il est mené conjointement par le SCHAPI et Météo-France et s'appuie sur 4 modèles hydrologiques distribués forcés par un ensemble de précipitations AROME.
Les scénarios de précipitations sont générés selon une méthode de perturbation en localisation et intensité établie par l'équipe GMME/MICADO du CNRM.
La chaîne hydrométéorologique produit un ensemble de prévision de débits horaires jusqu'à 30 heures d'échéance.
En 2013, la modélisation temps réel a été mise en place et des visualisations graphiques multi-modèles ont été développées.
En 2014, l'intérêt de l'approche multi-modèle pour la représentation des incertitudes hydrologiques a été vérifié sur 13 épisodes rejoués à partir des pluies observées (ANTILOPE). Le bilan de cette analyse montre que chaque modèle hydrologique apporte de l'information à l'ensemble et que la moyenne de l'ensemble est particulièrement performante. L'évaluation de l'intérêt opérationnel du système de prévision ainsi conçu a été réalisée par le Service de Prévision des Crues Grand Delta qui a montré l'apport des prévisions CHROME tant pour la Vigilance Crues que pour la production de prévisions quantitatives des débits.
L'expérimentation temps réel a été relancée début octobre 2014, permettant de produire des simulations pour les crues de ce mois.
Une évaluation complémentaire sera établie en 2015 en confrontant la prévision d'ensemble hydrologique avec les débits observés de crues passées.

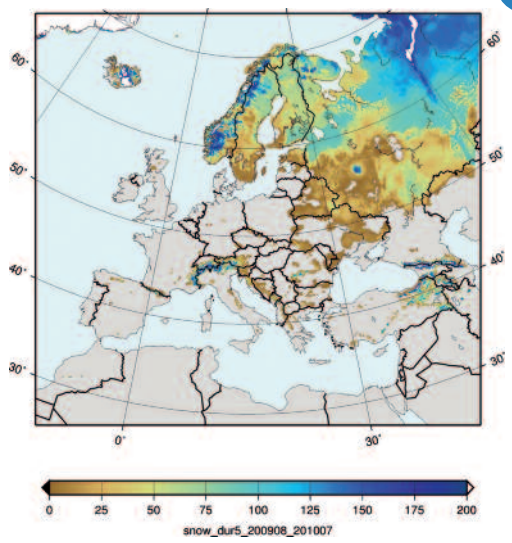
3

1



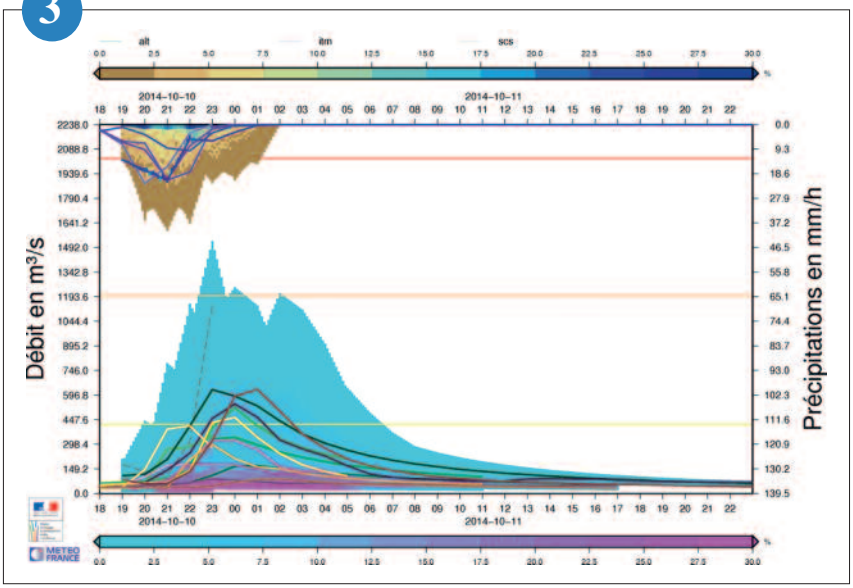
Albédos spectraux directionnel-hémisphériques PROBA-V à la résolution 300M générés par la chaîne de développement. Il s'agit d'un produit de synthèse à 20 jours pour la date du 21 mai 2014 et l'heure de passage du satellitaire polaire.

2



Durée de l'enneigement (en jours), simulée par SURFEX pour l'hiver 2009/2010 (nombre de jours où la hauteur simulée est supérieure ou égale à 5 cm.

3



Densité de débit et de précipitations – Résultats issus de la simulation en temps réel pour le 10 octobre 2014 sur le Gardon à Anduze.

Evaluation de l'amélioration des schémas explicites multicouches de sol et de neige dans SURFEX

La modélisation réaliste du manteau neigeux et des transferts d'énergie dans le continuum neige-sol aux hautes latitudes de l'hémisphère Nord est importante pour la prévision saisonnière et les projections climatiques. Il est donc apparu crucial d'améliorer les schémas de sol (DF : sol DiFfusion) et de neige (ES : Explicit Snow) présents au sein du modèle de surface continentale SURFEX du CNRM et d'évaluer leur capacité à modéliser ces processus. Pour le sol, une discrétisation utilisant 14 couches sur une profondeur de 12 m a été adoptée. Les propriétés hydrodynamiques et thermiques du sol ont été affinées grâce à la prise en compte de la quantité de carbone organique présent dans le sol (SOC : Soil Organique Carbone). Pour la neige, une discrétisation utilisant 12 couches a été préférée à l'ancienne version n'utilisant que 3 couches. La représentation de certains processus clefs du manteau neigeux comme sa viscosité, son tassement due au vent, son age et son albédo sur les spectres visible et proche infrarouge ont été améliorés en important et simplifiant des paramétrisations issues du schéma de neige très détaillé Crocus du CEN.

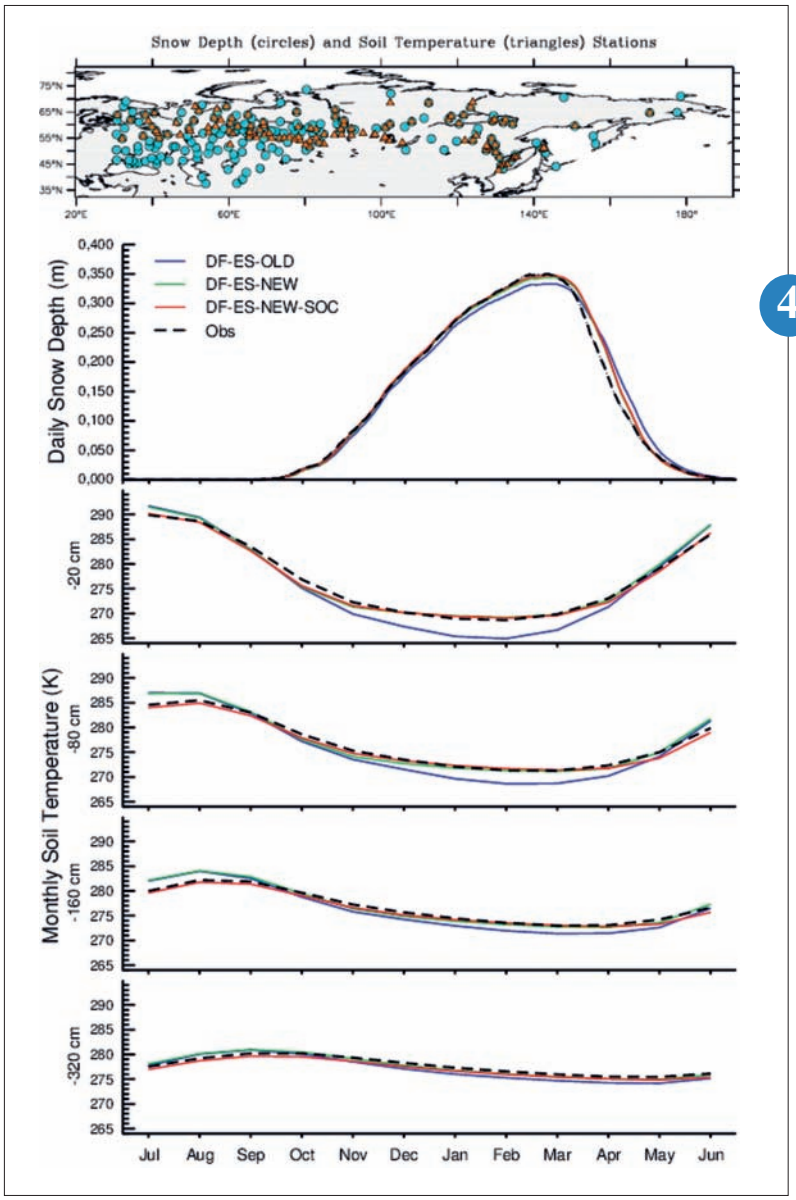
La validation a été effectuée sur la Sibérie où il existe un vaste jeu de donnée de hauteur de neige (186 stations) et de températures dans le sol (119 stations) sur zones dépourvues de végétation. 3 simulations forcées par les réanalyses ERA-interim ont été effectuées sur la période 1979-1993. Les résultats montrent que la physique du manteau neigeux est de première importance pour simuler des températures de sol réalistes en hiver alors que la bonne représentation des températures estivales est liée à la prise en compte du carbone organique du sol. Ces nouveaux schémas seront bientôt évalués dans le modèle de climat du CNRM.

4

Impact du changement climatique sur les agrosystèmes et les forêts

La construction de stratégies d'adaptation de l'agriculture au changement climatique dépend de la connaissance des impacts et des incertitudes qui leurs sont associées. Dans le cadre du projet ANR ORACLE, le CNRM a réalisé des simulations de 150 ans (1950-2100) sur la France de la biomasse de divers types de végétation (céréales à paille, prairies, forêts de feuillus et de résineux) et du contenu en eau du sol associé à chacun des types de végétation.
Treize simulations climatiques du 4e rapport d'évaluation du GIEC, régionalisées à une résolution spatiale de 8 km par 8 km, ont été utilisées pour piloter le modèle du système sol-plante ISBA-A-gs, sur 191 points de grille représentatifs des régions agricoles et forestières françaises. Des méthodes statistiques ont été employées pour quantifier l'impact du changement climatique et l'accord entre modèles climatiques sur cet impact, entre le futur proche (FP) (2020-2049), le futur lointain (FL) (2070-2099), et une période de référence passée (1970-1999).
Partout en France, la durée des périodes de sécheresse augmente et la durée des périodes de conditions humides baisse (jusqu'à + ou - 30 j/an en FP). Pour tous les types de végétation, le début du cycle végétatif et la date du maximum annuel de LAI sont plus précoces. Par contre, de fortes disparités régionales apparaissent pour la phase de sénescence (par exemple plus précoce dans l'ouest et le sud pour les feuillus et plus tardive dans l'est), aussi bien en FP qu'en FL. La durée du cycle est souvent plus incertaine en FL qu'en FP à cause de différences entre modèles de climats. Ces simulations seront étendues à la zone Euro-Méditerranée et couplées avec un modèle hydrologique. Les nouvelles simulations du GIEC seront utilisées pour compléter ce travail.

5

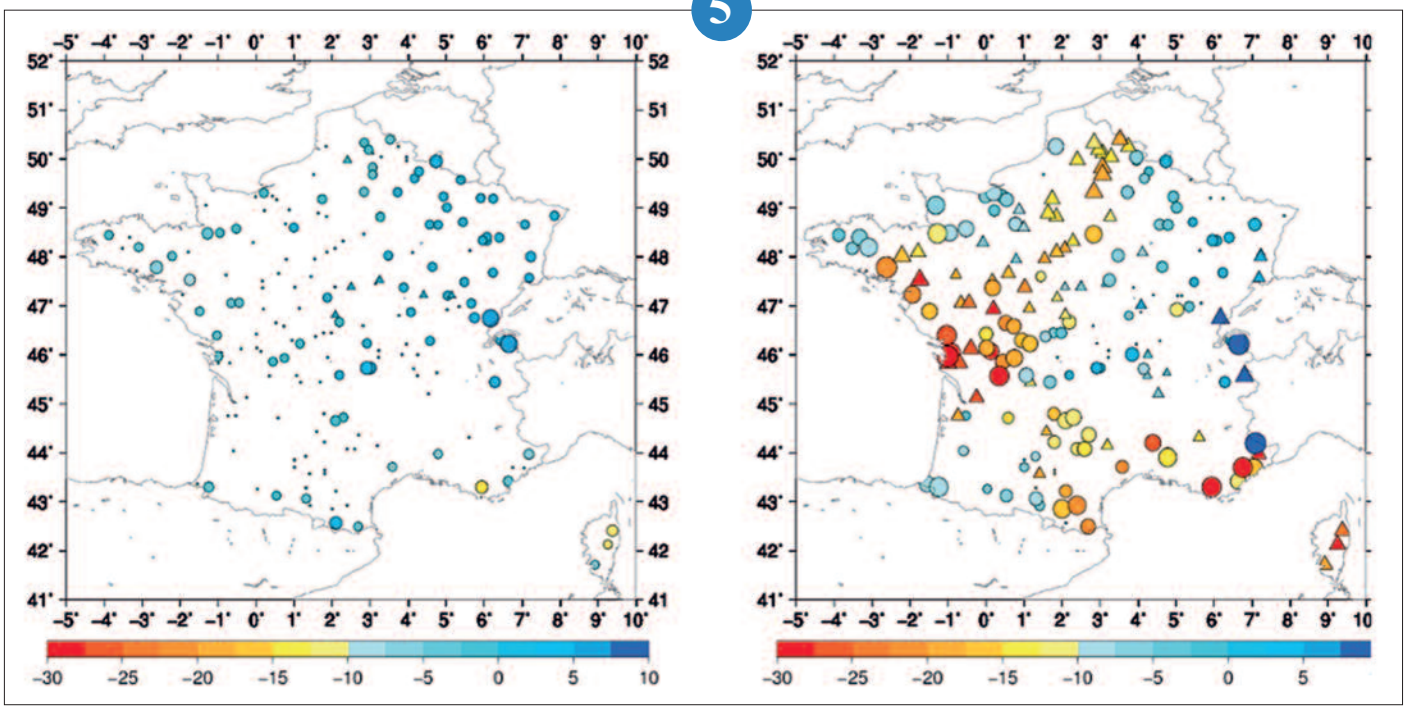


4

Distribution spatiale des stations sibériennes de mesures de hauteur de neige (cercle cyan) et de températures du sol (triangles de couleur orange), et comparaison des cycles saisonniers climatologiques observés et simulés. Les cycles saisonniers journaliers pour la neige et mensuels pour les températures sont obtenus en moyennant toutes les stations sur la période 1979-1993. Les températures sont observées à 4 horizons de sol différents (-20, -80, -160 et -320 cm). Les observations (Obs) sont représentées en noir, l'ancienne version du modèle (DF-ES-OLD) en bleu, la nouvelle version (DF-ES-NEW) en vert, et la prise en compte du carbone organique présent dans le sol (DF-ES-NEW-SOC) en rouge.

Différences de dates de fin de cycle pour les forêts de feuillus simulées par ISBA-A-gs, (à gauche) en futur proche et (à droite) en futur lointain. La taille des symboles est proportionnelle au nombre de modèles climatiques induisant un impact significatif. Les triangles indiquent qu'au moins un modèle de climat génère un impact différent des autres.

5



Neige

La recherche sur le manteau neigeux et les avalanches couvre plusieurs thématiques scientifiques, telles que les interactions neige-atmosphère, l'étude des propriétés physiques de la neige et la télédétection du manteau neigeux, pour lesquelles les contributions de ce chapitre montrent quelques uns des progrès accomplis cette année.
Les premières simulations du manteau neigeux à haute résolution alimentées par AROME ont été réalisées, montrant notamment leur apport pour caractériser la variabilité spatiale du manteau neigeux. Une première étude de prévisions d'ensemble du risque d'avalanche basée sur les prévisions d'ensemble ARPEGE (PEARP) a démontré la supériorité de cette approche par rapport à un calcul déterministe, pour des échéances atteignant 4 jours. Les travaux menés ces dernières années sur l'exploitation des images MODIS pour caractériser les propriétés de surface du manteau neigeux ont trouvé une application originale au travers de la mise en évidence de l'assombrissement du Groenland, lié à la pollution de la neige de surface par des aérosols atmosphériques.
Des travaux innovants ont aussi été menés sur le lien entre micro- et macro-échelles concernant les propriétés du manteau neigeux : des techniques d'homogénéisation ont été appliquées au transport de chaleur et de masse au sein du manteau neigeux, ouvrant la voie à l'amélioration des paramétrisations des modèles de neige utilisés pour la prévision du risque d'avalanche et la simulation des interactions neige-atmosphère. Durant cette année, un effort important a été accompli pour porter en opérationnel la chaîne SAFRAN-SURFEX-MEPRA, dont les résultats sont utilisés par les nivologues de Météo-France depuis fin 2014. Enfin, on notera la participation du CEN au projet international d'intercomparaison des mesures des précipitations solides SPICE piloté par l'OMM.

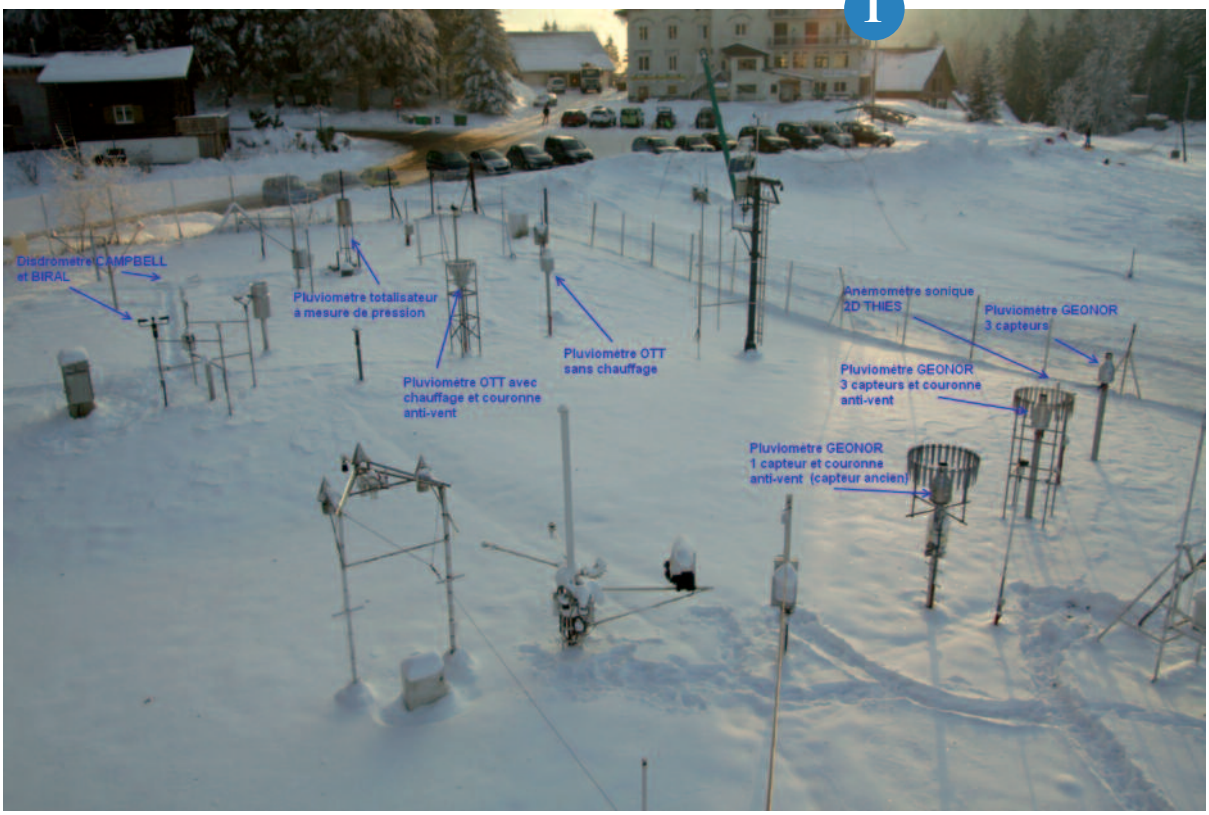
1

Homogénéisation du transport de chaleur et de masse dans la neige sèche : de la description microscopique à la description macroscopique des phénomènes impliqués

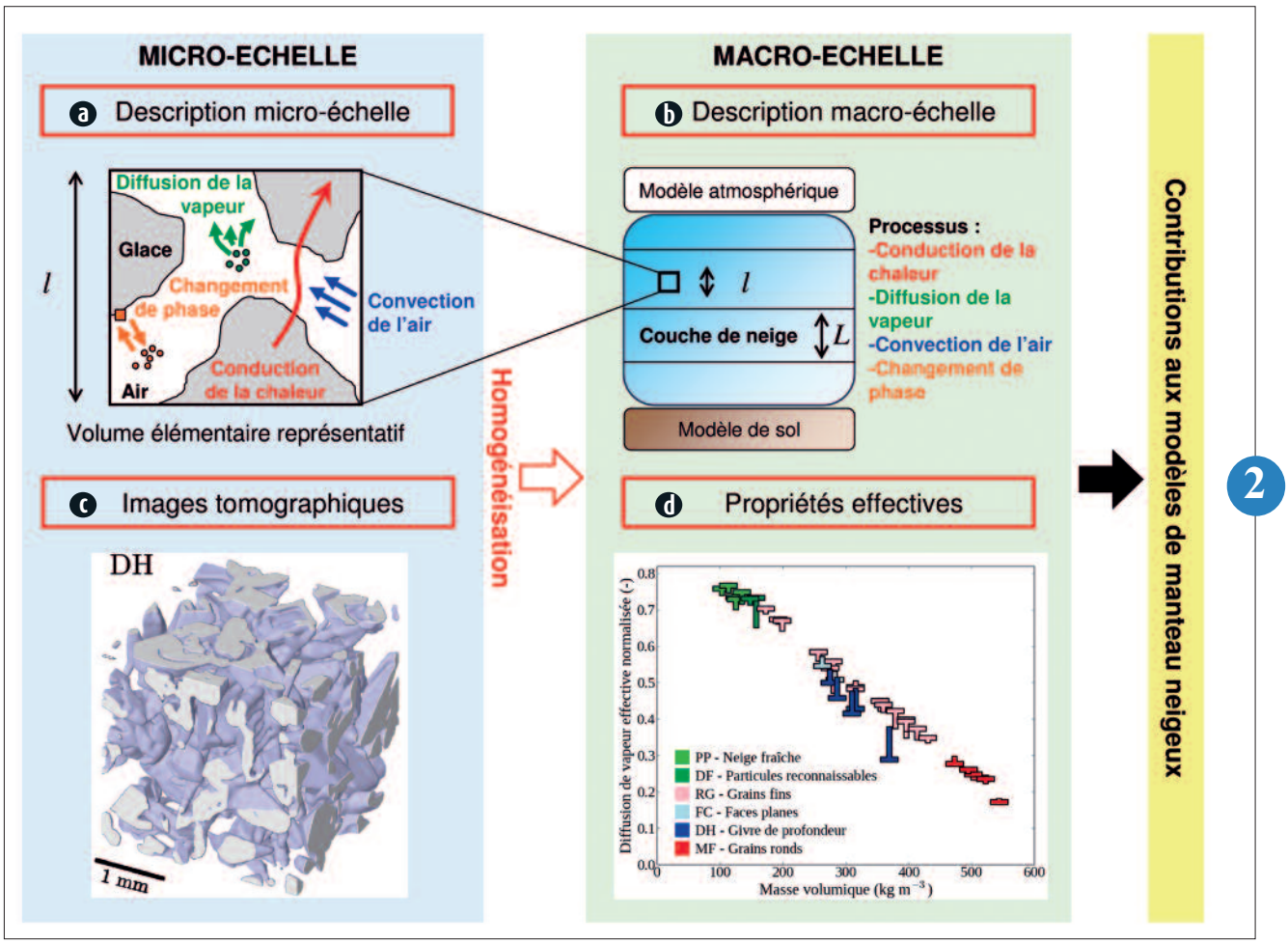
Une fois déposée au sol, la neige forme un milieu poreux complexe, principalement constitué d'air et de glace et dont la microstructure ne cesse d'évoluer sous l'effet des sollicitations physiques imposées par son environnement. Ces évolutions microstructurelles de la neige impactent fortement l'évolution temporelle de ses propriétés macroscopiques et doivent être prises en compte pour une bonne modélisation du manteau neigeux.
Nous avons ainsi mené une étude théorique basée sur la méthode d'homogénéisation par développements asymptotiques à échelles multiples afin d'obtenir une description macroscopique du transport de chaleur et de vapeur dans la neige sèche à partir des phénomènes physiques intervenant à micro-échelle (conduction de la chaleur, diffusion de la vapeur, convection forcée et changements de phase). Le modèle macroscopique résultant est décrit par deux équations de diffusion couplées, faisant chacune intervenir un terme source qui découle du changement de phase à l'échelle des pores. La précision et la robustesse du modèle ont été illustrées par des simulations numériques en 2D. En outre, cette approche permet de calculer les propriétés effectives associées (tenseurs de conductivité thermique, de diffusion...) à partir de microstructures 3D obtenues par tomographie. La dérivation du modèle macroscopique a de plus confirmé que le coefficient effectif de diffusion de la vapeur n'est pas amplifié dans la neige par rapport à celui dans l'air.
L'approche multi-échelle utilisée ouvre de nouvelles perspectives pour la modélisation du manteau neigeux puisqu'elle permet d'obtenir la description macroscopique d'une couche de neige homogène, à partir de la physique et de la structure de la neige connues à micro-échelle.

2

Schéma de principe de l'approche utilisée : la description macroscopique et les propriétés effectives sont obtenues à partir des lois physiques et de la morphologie de la neige, connues à micro-échelle. (a) et (b) Description physique du transport de chaleur et de masse à micro et macro-échelle. (c) Image tomographique d'un échantillon de neige. (d) Estimations numériques de la diffusion effective de la vapeur à partir d'images tomographiques. L'extrémité verticale des formes en « T » ainsi que les barres horizontales représentent les composantes verticales et horizontales du tenseur de diffusion normalisé. Les résultats obtenus montrent une nette dépendance à la masse volumique ainsi qu'une anisotropie marquée pour certains types de neige. L'ensemble de l'étude a été réalisée en collaboration avec le laboratoire 3SR.



Site de mesures du Col de Porte (à 1320 m dans le massif de la Chartreuse).
Sont mentionnés les différents capteurs mesurant les précipitations, parmi lesquels figurent ceux spécifiquement installés pour SPICE (pluviomètres GEONOR 3 capteurs).



Prévision d'ensemble de l'enneigement et du risque d'avalanche

La prévision du risque d'avalanche résulte d'une analyse des conditions d'enneigement, des prévisions météorologiques pour les jours à venir, et de leur impact combiné sur l'état futur du manteau neigeux. La chaîne de modèles numériques S2M fournit opérationnellement aux prévisionnistes de Météo-France une estimation objective de l'état passé, présent et futur du manteau neigeux incluant sa stabilité mécanique.
Les prévisions météorologiques en entrée de S2M proviennent uniquement du modèle de prévision numérique du temps ARPEGE jusqu'à 2 jours d'échéance. L'incertitude inhérente à la prévision météorologique n'est donc pas prise en compte alors que la forte sensibilité du manteau neigeux aux conditions météorologiques et de nombreux effets de seuils rendent très difficile la prévision de son évolution. Un tout premier système de prévision numérique d'ensemble de l'enneigement et du risque d'avalanches a donc été mis en place utilisant en entrée de S2M les 35 membres de la prévision d'ensemble ARPEGE jusqu'à 4 jours d'échéance.
Les premières évaluations ont été réalisées sur les Alpes pour l'hiver 2013-2014. Le comportement du système a également été analysé sur des événements extrêmes au cours de l'exceptionnel hiver 2012-2013 dans les Pyrénées. Les résultats obtenus montrent que la prise en compte de l'incertitude de la prévision météorologique améliore significativement la performance et l'utilité de la chaîne de modélisation à toutes échéances, et que la prévisibilité du manteau neigeux avec cette approche ensembliste reste bonne jusqu'à 4 jours d'échéance. Cela autorise, dans un futur proche, à construire des indicateurs probabilistes du risque d'avalanches simulé en support aux activités de prévision opérationnelle.

3

Contribution de la présence d'impuretés dans la neige à l'assombrissement du Groenland depuis 2009

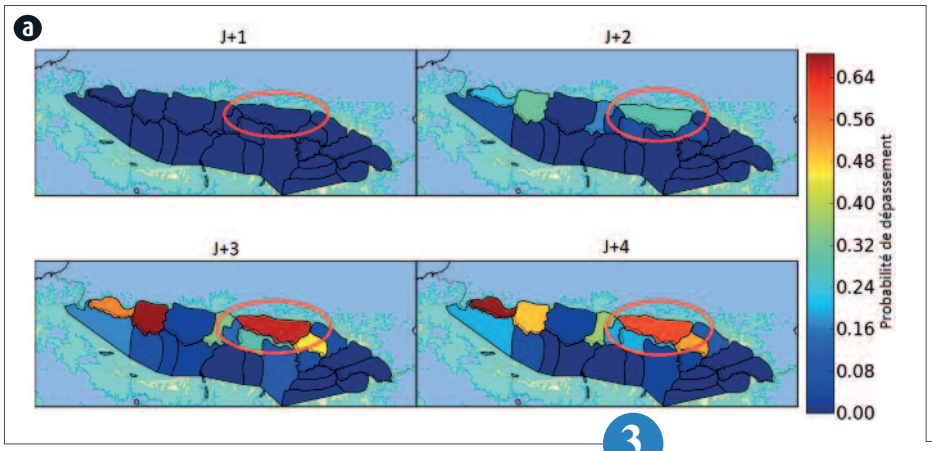
L'énergie solaire absorbée par la neige dépend de sa "blancheur" - ou albédo -, qui dépend essentiellement de ses propriétés physiques (regroupées communément sous le terme « taille de grain ») et de la quantité d'impuretés.
L'analyse de données récoltées par des satellites observant la surface du Groenland a mis en évidence que, depuis 2009, la neige de surface était moins blanche qu'auparavant, tant au printemps que l'été. De précédents travaux ont montré que l'assombrissement estival représente un maillon d'une "boucle de rétroaction positive" du système climatique : sous l'effet du réchauffement climatique, la température de la neige de surface augmente, ce qui entraîne un grossissement des grains de neige. Ce grossissement induit une diminution de l'albédo et donc une augmentation de l'absorption de l'énergie solaire par la surface qui amplifie le réchauffement.
La nouveauté des travaux menés au CNRM-GAME (CEN et GMGEC), en collaboration avec le LGGE, concerne le printemps : cette étude (Dumont et al., Nature Geosci. 2014) a montré que l'assombrissement est alors lié à la présence croissante d'impuretés dans la neige. Les images satellites révèlent par ailleurs des impuretés "colorées" et non noires comme le carbone suie, ce qui indique qu'elles pourraient être constituées de poussières minérales transportées par le vent depuis des zones déneigées de plus en plus précocement.
Des résultats de modélisation numérique révèlent que cet assombrissement printanier a pu contribuer à la récente accélération de la fonte du Groenland. L'augmentation possible du dépôt d'impuretés dans le futur doit donc être prise en compte dans les projections climatiques de l'évolution de l'état du Groenland et de son effet sur l'élévation du niveau des mers.
Ces travaux ont été soutenus par les projets ANR Jeune Chercheur MONISNOW, ANR NEEM et EU FP7 COMBINE.

4

Vers une nouvelle chaîne de simulation du manteau neigeux, AROME-SURFEX/Crocus

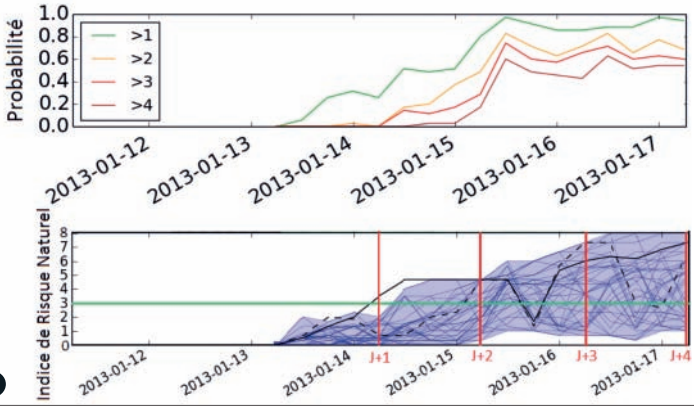
L'évolution des paramètres physiques et mécaniques du manteau neigeux est gouvernée par les conditions météorologiques. Il est donc primordial de bien prendre en compte la variabilité spatiale de ces conditions en zone de montagne, pour prévoir les conditions nivologiques et le risque d'avalanche.
Actuellement, le système d'analyse et de prévision SAFRAN fournit les variables météorologiques nécessaires au modèle de manteau neigeux SURFEX/Crocus, sur des massifs climatologiquement homogènes (800 km² en moyenne), par pas d'altitude de 300m. Cette représentation conceptuelle du relief limite la capacité du système actuel à reproduire la variabilité spatiale des conditions nivologiques. Les prévisions météorologiques du modèle AROME offrent une alternative à SAFRAN. Ces prévisions ont été jugées de bonne qualité en zones alpines pour alimenter SURFEX/Crocus. Ainsi, des simulations de l'enneigement ont été réalisées pour 5 saisons nivologiques (d'août 2009 à juillet 2014) à une résolution horizontale de 2,5 km sur l'ensemble des Alpes françaises. Les résultats obtenus ont été comparés aux mesures de hauteur de neige et à une simulation utilisant un forçage atmosphérique issu des ré-analyses SAFRAN (Fig.). L'utilisation d'AROME permet de mieux représenter la variabilité intra-massif de l'enneigement, notamment pour les massifs frontaliers. En revanche, la chaîne AROME-SURFEX/Crocus tend à surestimer les hauteurs de neige dans les Alpes du Nord.
La chaîne AROME-SURFEX/Crocus bénéficiera de l'arrivée des prévisions d'AROME à 1,3 km de résolution dès début 2015. L'application de méthodes de descente d'échelle adaptées au relief à ces prévisions permettra de simuler l'enneigement alpin à une résolution sous-kilométrique.

5



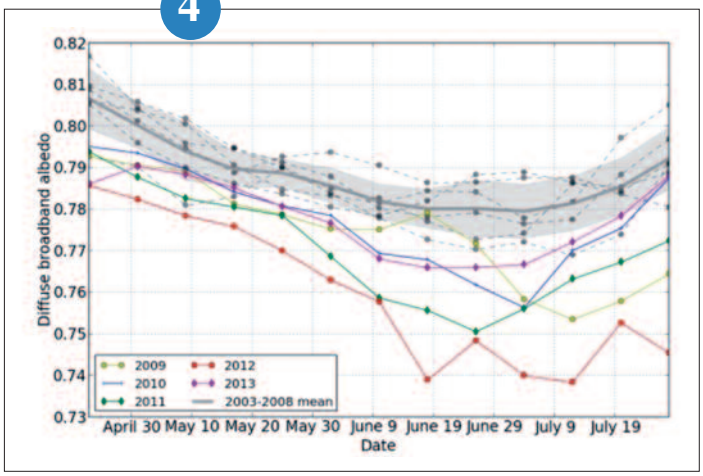
Prévision du système de prévision d'ensemble PEARP-S2M du 13/01/2013 à 06 heures jusqu'à 4 jours d'échéances en termes d'indice de risque naturel (IRN) d'avalanches à l'échelle du massif (indice variant de 0 à 8).
Les cartes des Pyrénées (a) fournissent des prévisions de probabilité de dépassement du seuil 3 pour l'IRN pour les échéances J+1, J+2, J+3 et J+4. De fortes probabilités d'événement avalancheux sévère sont prévues pour plusieurs massifs français à partir de J+3.
De nombreuses grosses avalanches se sont en effet produites ce jour là entraînant des coupures de route et d'importants dégâts.

3



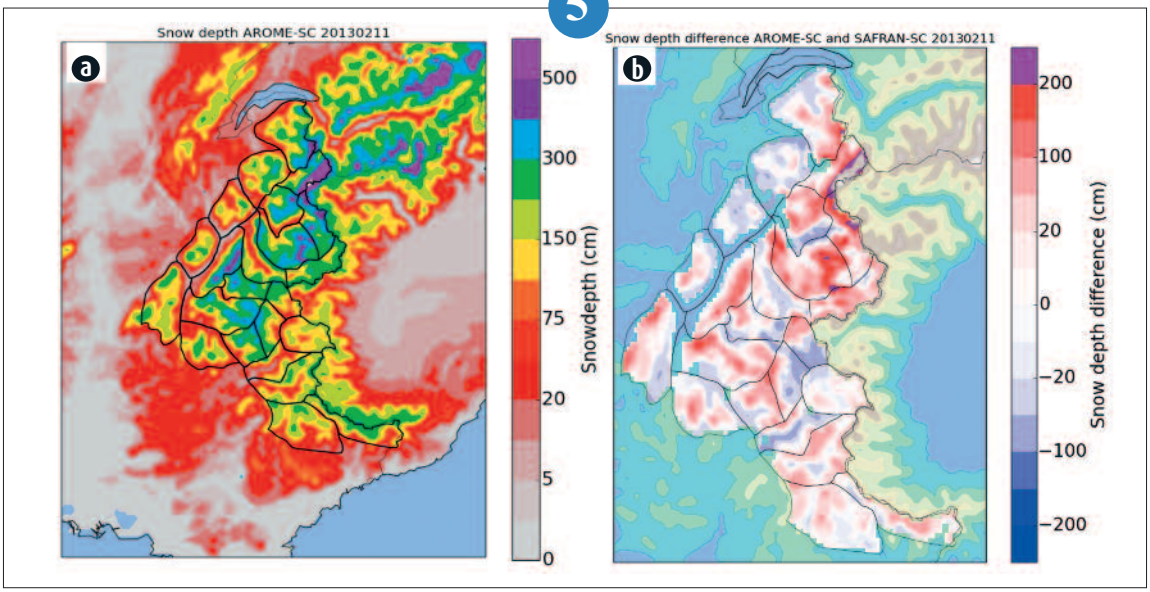
La figure (b) détaille ces prévisions pour le massif du Couserans avec l'évolution prévue des probabilités de dépassement pour différents seuils (haut) et le panache des 35 membres de la prévision en termes d'IRN (bas). Le nombre de membres de prévision au-dessus d'un certain seuil explique les probabilités calculées. La dispersion entre membres augmente avec l'échéance comme dans tout système de prévision d'ensemble. Le tireté noir représente la prévision déterministe et le trait plein noir est la référence (IRN ré-analysé a posteriori).

4



Évolution de l'albédo vue par les satellites depuis 2003 pour les points élevés (supérieurs à 2000 m d'altitude) de la calotte groenlandaise. Depuis 2008-2009, on observe une baisse de l'albédo. Au cours de l'été, celle-ci est attribuée au grossissement des grains et à l'élévation de température. Au printemps, ces travaux ont montré qu'elle est également due à une plus forte concentration en impuretés absorbantes dans la neige de surface.

5



(a) Hauteur de neige (cm) simulée par la chaîne AROME-SURFEX/Crocus le 11/02/2013 et (b) différence de hauteur de neige (cm) entre AROME-SURFEX/Crocus et SAFRAN-SURFEX/Crocus le 11/02/2013.

Océanographie

Les activités d'observation en mer pour les besoins de Météo France et de la communauté scientifique (soutien à la recherche, participation au programme inter-organismes CORIOLIS) sont pérennes pour le Centre de Météorologie Marine (CMM). A ce titre le CMM entretient trois bouées ancrées, plus deux en coopération avec le UK MetOffice. Il gère et diffuse les informations de près de 150 bouées dérivantes dont une centaine dans l'Atlantique Nord pour le compte d'E-SURFMAR (service opérationnel d'EUMETNET), les autres dans l'Atlantique Tropical et l'Océan Indien.
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 activités de recherche sur les interactions océan-atmosphère 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).
Cette année 2014 a été marquée par l'analyse et le contrôle des données HyMeX et spécialement celles des capteurs supplémentaires installés à l'occasion sur les bouées ancrées méditerranéennes. L'étude de l'impact de l'état de mer sur la simulation d'un événement précipitant intense à l'aide de simulations à échelle fine Méso NH utilise notamment ces données dans le cadre d'une thèse en cours au CMM.

1

Impact des vagues sur les flux turbulents dans les observations in situ HyMeX

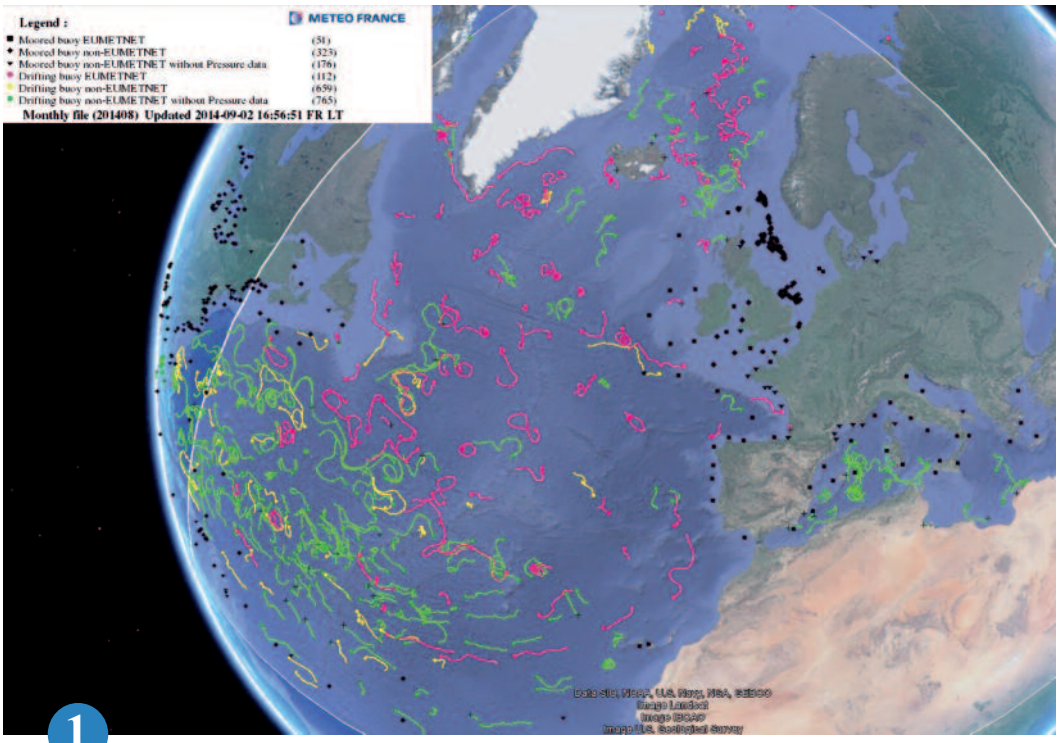
Pendant la SOP1 d'HyMeX, plusieurs sessions de mesures intensives en mer ont été effectuées, avec des observations simultanées des flux turbulents à l'interface air-mer et des conditions de mer. Les mesures haute-fréquences des flux ont été traitées par les méthodes d'eddy-covariance (la plus directe) et inertio-dissipative à l'aide d'un logiciel développé par l'IPSL et le MIO-IRPHE. Ce traitement intègre de nombreuses corrections et contrôles qualité, et donne accès aux flux de quantité de mouvement, de chaleur sensible et de chaleur latente, qui sont tous les trois proportionnels à la tension de vent. Cette tension de vent est une fonction directe de la rugosité de surface de l'océan, z0, exprimée en mètres, et bien sûr de la vitesse du vent. Elle correspond au frottement du vent sur la surface, donc au transfert d'énergie vers la mer qui est à l'origine de la formation des vagues, et au ralentissement du vent qui en résulte.
Plusieurs études sur des jeux de données in situ, et sur des mesures effectuées en laboratoire dans les années 1990, ont montré que pour un vent donné, cette rugosité de surface dépendait assez directement de l'âge des vagues. Ces observations ont été confirmées par des modèles physiques. L'âge des vagues est un paramètre traduisant l'état de développement de la mer du vent et s'exprime comme le rapport de la vitesse des vagues sur la tension de vent. Plus les vagues sont rapides par rapport au vent, plus l'âge des vagues est élevé. A vent égal, la rugosité de la surface est plus forte pour une mer jeune (également qualifiée de plus pentue) que pour une mer âgée, et c'est bien ce qui est observé sur les obser-vations de cette campagne HyMeX en Méditerranée.

2

Impact de l'état de mer sur la simulation d'un événement précipitant intense (HyMeX, POI16a)

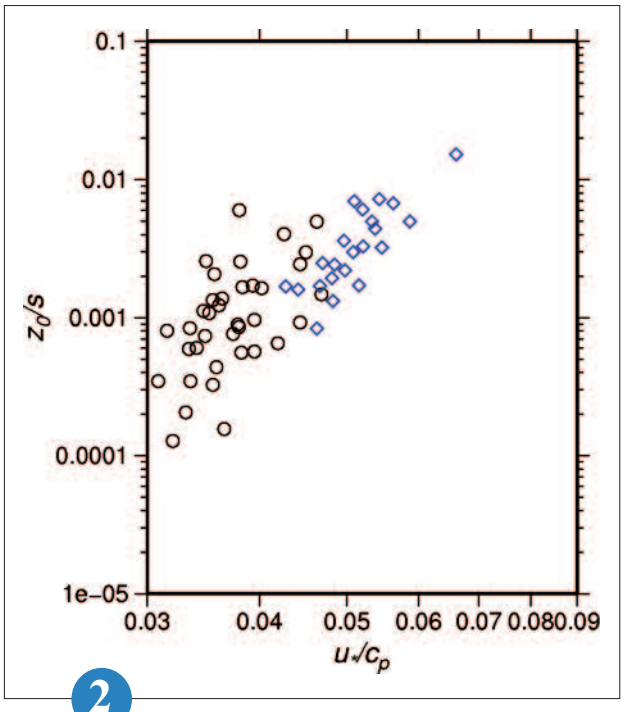
La simulation d'un événement précipitant intense (EPI) survenu pendant la POI 16a de HyMeX à l'aide du modèle haute-résolution non hydrostatique MesoNH a été prétexte à une étude de sensibilité sur l'impact des vagues sur les flux turbulents. Les vagues, à travers la rugosité de surface de l'océan, ont un impact sur la tension de vent et donc sur les flux turbulents atmosphériques dans les basses couches (quantité de mouvement, chaleur sensible et latente). Il est donc probable qu'elles aient un impact sur le champ de vent, et sur la chronologie des écoulements en basses couches résultant en un EPI.
L'étude de cas de la POI 16a qui est bien documentée dans le cadre de HyMeX (nombreuses observations in situ, plusieurs rejeux) et qui a résulté en plus de 100 mm de cumul de précipitations et 2 morts dans la région de Toulon, s'intéresse à cette question. L'événement est simulé sur une période de 36h, avec une résolution horizontale de 2.5 km et une configuration identique sauf pour ce qui est de la prise en compte de l'influence des vagues sur les flux turbulents. Dans un premier cas (NOWAV), les vagues ne sont pas prises en compte. Dans le second (WAM), la rugosité de surface est calculée en fonction de l'âge des vagues, obtenu grâce aux sorties des analyses du modèle de vagues de Météo-France (MF-WAM) pour la période de la simulation. La comparaison du flux de quantité de mouvement à la surface (figure, le 26/20/2012 à 14 h TU) montre clairement l'impact des vagues sur l'écoulement en basses couches qui remonte depuis le nord-ouest de la Sardaigne vers les côtes du sud-est de la France, et qui correspond aux systèmes convectifs qui ont alimenté l'EPI. Une augmentation de 100% du flux de quantité de mouvement entraîne ici un ralentissement du vent de surface de 30% environ.

3



1

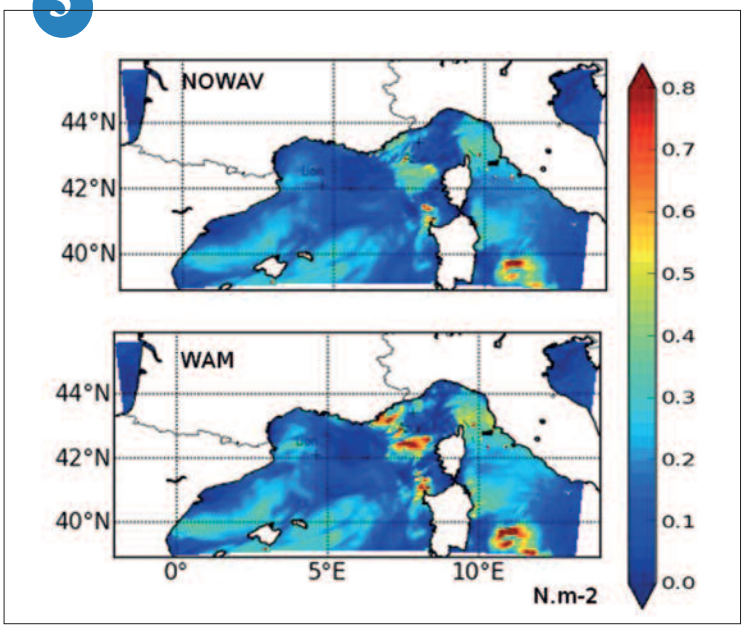
Positions et trajectoires des bouées sur l'Atlantique Nord pour le mois d'août 2014.



2

Rugosité adimensionnée de la surface de la mer (s est l'écart type de la hauteur des vagues) en fonction de l'inverse de l'âge des vagues u_*/c_p. Les observations correspondant à une mer du vent pure sont figurées en bleu, celles correspondant à une mer intermédiaire (incluant de la houle) en noir.

3



Comparaison du flux de quantité de mouvement (N m^{-2}) simulé le 26/10/2014 à 14h TU lors de la POI 16a d'HyMeX, sans impact de vagues (NOWAV, en haut) et avec l'impact des vagues de l'analyse du modèle MF-WAM (WAM, en bas).

Utiliser les courants HYCOM3D pour calculer les dérives en mer

Depuis 2012, le service de prévision marine de Météo-France et le SHOM travaillent en partenariat sur l'amélioration de la simulation des dérives en milieu marin. Ainsi, le modèle de dérive MOTHY opéré par les prévisionnistes du CNP a été interfacé avec les courants prévus par les maquettes opérationnelles du SHOM (modèle HYCOM).
MOTHY modélise les courants de surface en réponse au vent, à la pression et aux courants de marée. Deux solutions ont alors été retenues. Le premier mode (mode 1) utilise les courants océaniques modélisés par HYCOM comme un courant de « background » à rajouter à MOTHY. Ceci permet de prendre compte la circulation permanente, ainsi que la signature de processus supplémentaires internes à l'océan (comme par ex. la turbulence 3D, ce que ne représente pas MOTHY). Le second mode (mode 2) utilise directement l'intégralité du signal océanique d'HYCOM pour calculer la dérive. La stratégie de validation est de reproduire des trajectoires de bouées dérivantes mises à l'eau dans le Golfe de Gascogne (campagnes MOUTON 2012 du SHOM).
Les diagnostics Lagrangiens montrent que les courants totaux HYCOM donnent des résultats encourageants pour les prévisions des dérives, notamment pour celles soumises aux courants de marée. Un biais relatif aux courants levés par le vent est néanmoins mis en évidence, ce qui suggère des réglages à investiguer très prochainement.

4

Étude de la couche de mélange océanique pendant les SOPs HyMeX

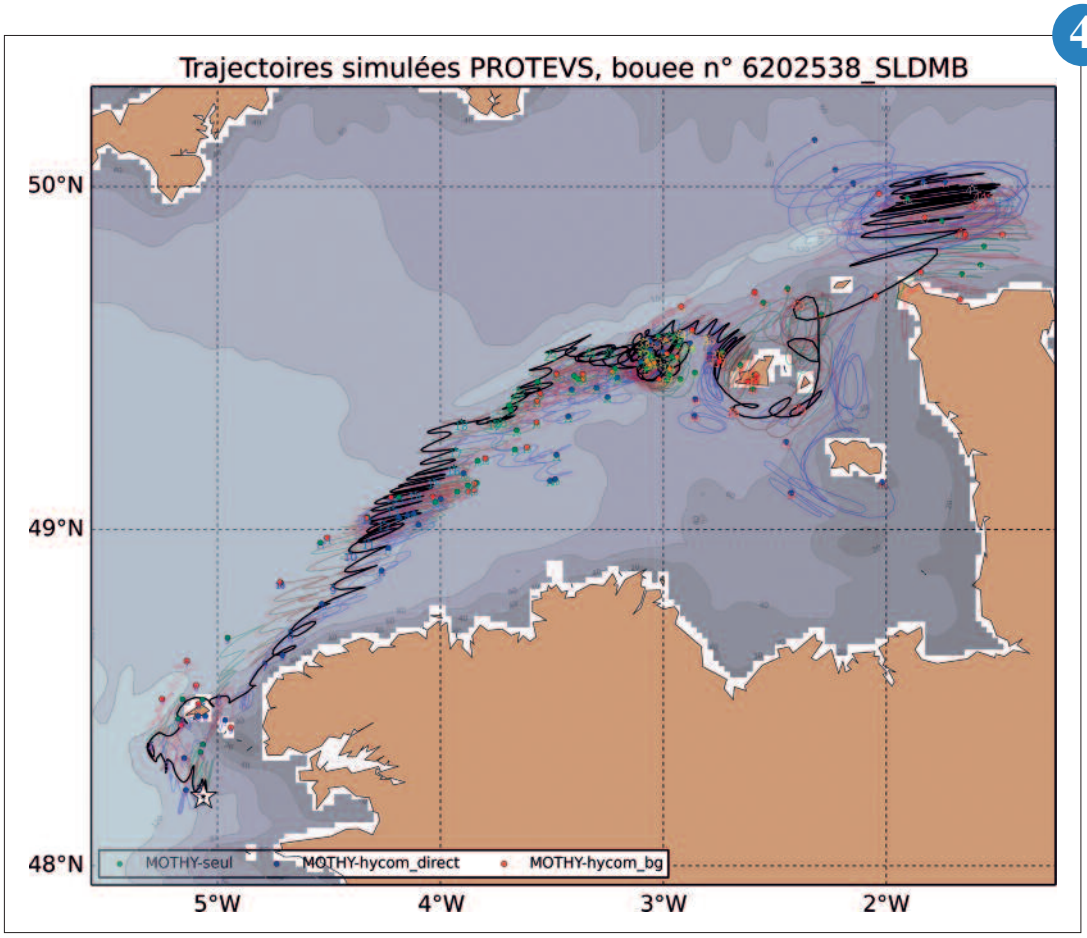
Les interactions air-mer jouent un rôle majeur pendant les évènements météorologiques intenses qui touchent fréquemment la région méditerranéenne. La couche de mélange océanique, en contact direct avec l'atmosphère, a des réponses de petite échelle, rapides et intenses sous ces évènements. Les deux campagnes (SOPs) du programme HyMeX constituent un jeu de données sans précédent permettant d'évaluer des simulations océaniques à méso-échelle en Méditerranée occidentale.
Forcé en surface par les prévisions à haute-résolution et à courte échéance (0-24 h) du système AROME-WMED, le modèle NEMO-WMED36 (~2.5 km de résolution) permet de représenter les structures océaniques fines et leurs variations rapides. Pendant la SOP1, à l'automne 2012, l'alternance entre évaporation et précipitations intenses en mer contraint fortement la salinité, la stratification et donc la profondeur de la couche de mélange (Figure a). La simulation océanique permet de comprendre les processus en jeu dans la réponse océanique. Elle a notamment permis de mettre en évidence le rôle important de la dynamique et la stratification verticale locales sur les tendances de la couche de mélange. La SOP2, en hiver 2013, est caractérisée par la formation d'eau dense dans le golfe du Lion, fortement contrainte par les épisodes de vent fort. Le modèle est capable de représenter la convection océanique profonde qui transporte les eaux les plus denses (≥29.11 kg/m^3) au fond et vers le Sud-Est, notamment grâce à des structures fines (de taille ≤50 km, Figure b).
Prochainement, l'utilisation du système couplé AROME-NEMO sur la Méditerranée occidentale (WMED) permettra de représenter, d'identifier et de mieux comprendre les processus couplés en jeu pendant les évènements intenses.

5

Une nouvelle version du modèle de vagues

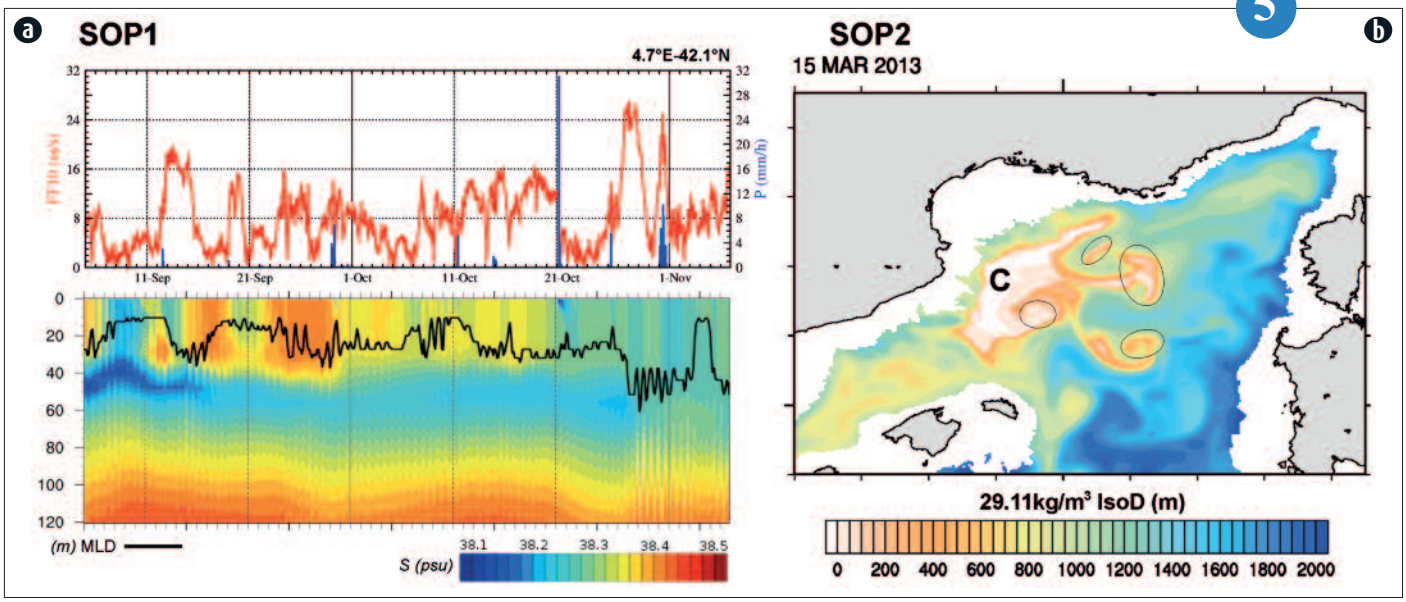
Le modèle de vagues de Météo-France, MFWAM, est une déclinaison du code WAM, comme pour le Centre Européen de Prévision, et utilise depuis quelques années une physique développée en collaboration avec l'IFREMER et le SHOM.
Le 23 avril 2014, les modèles globaux MFWAM ont été les premiers à assimiler en opérationnel les hauteurs de vagues fournies par les trois altimètres actuellement en vol : Jason-2, Saral et Cryosat-2. Cela permet ainsi au modèle MFWAM d'apparaître comme l'un des plus précis dans l'inter-comparaison mensuelle de modèles de vagues globaux opérationnels des centres météorologiques, réalisée par la JCOMM (cf. Figure). En novembre 2014, une nouvelle version du modèle MFWAM a été installée sur la chaîne opérationnelle, tirant partie des développements menés dans le cadre du projet européen MyWave. Les changements ont porté sur une bathymétrie améliorée, un meilleur masquage des îles, un nouveau schéma de propagation, une amélioration de la physique et un ajustement des interactions non-linéaires.
La validation du nouveau modèle MFWAM avec les données altimétriques a montré une amélioration globale de l'écart type normalisé de la hauteur significative des vagues de 5%. Cette nouvelle version a aussi permis de réduire le fort biais sur la hauteur significative des vagues dans l'hémisphère Sud et d'améliorer la tension du vent en surface.
Dès l'an prochain, ce modèle MFWAM servira pour forcer des modèles côtiers, aptes à reproduire la physique complexe des vagues, en eau très peu profonde.

6



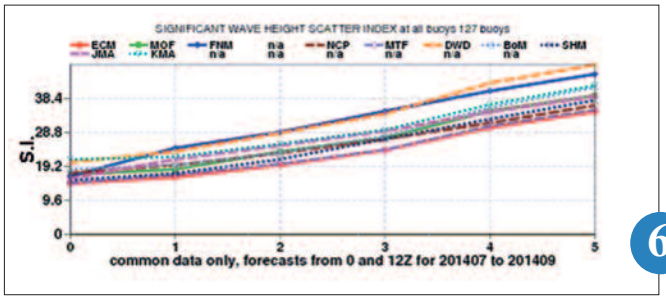
4

Ensemble de trajectoires prévues par les modèles comparé à la trajectoire réelle d'une bouée de l'expérience. Les trajectoires simulées sont en couleur, celle observée est en noire. La trajectoire de la bouée démarre par une étoile et une nouvelle simulation de dérive d'une durée de trois jours est lancée chaque jour en suivant son parcours.



5

Simulation NEMO-WMED36 : (a) Vent à 10m (m/s) et précipitations (mm/h) dans le forçage AROME-WMED pendant la SOP1 à 4.7°E-42.1°N (haut) et évolution simulée du profil en salinité (couleur, psu) et de la profondeur de couche de mélange (MLD, contour noir, m) (bas). (b) Profondeur de l'isopycne =29.11kg/m³ (IsoD, m) le 15 Mars 2013. « C » indique la zone de convection profonde. Les tourbillons de « nouvelle » eau dense sont marqués par des ellipses.



6

Ecart type normalisé de la hauteur significative des vagues (en %) de différents modèles de vagues globaux, en comparaison aux observations de bouées, pour les mois de juillet à septembre 2014, selon l'échéance de prévision des modèles. Le modèle MFWAM est indiqué par MTF (Météo France) et ses résultats apparaissent en tireté mauve à côté de ceux des autres services météorologiques (CEP, MetOffice, FNMOC, NCEP, DWD...), selon l'inter-comparaison de la JCOMM (OMM/COI).

Modélisation des vagues par vent fort

Les vagues générées par des tempêtes ou des cyclones peuvent provoquer des dégâts considérables sur les côtes. Le cas du cyclone Bejisa au début du mois de janvier 2014 a fait l'objet de plusieurs bulletins d'alerte rouge sur le phénomène de vagues/submersion. Ce cyclone a connu une intensification rapide et explosive avec des vents passant en 24 heures de 32 à 95 nœuds (du 29 au 30 décembre 2013). La trajectoire du cyclone Bejisa est passée à l'ouest de l'île de la Réunion générant des vagues de hauteur supérieure à 10 mètres (voir figure a). Les vents en surface de l'océan calculés par le modèle atmosphérique ALADIN-Réunion ont été sous-estimés. Par conséquent, le modèle de vagues MFWAM a prévu des hauteurs significatives des vagues légèrement plus faibles que celles fournies par l'altimètre SARAL de passage dans la zone du cyclone, comme l'illustre la figure b. L'apport de l'assimilation des données altimétriques permettant de corriger ces erreurs du modèle de vagues est donc capital pendant la saison cyclonique (voir également figure b).

Le mois de janvier de cette année a été très intense en termes d'activités de tempêtes générant de fortes vagues sur les côtes atlantiques françaises. Plusieurs alertes de vigilance vagues/submersion ont été émises. Le modèle de vagues MFWAM a bien prévu les paramètres de vagues pour ces évènements. La figure c montre la bonne concordance des hauteurs significatives des vagues du modèle MFWAM et de la bouée de Météo-France Brittany.

7

La prévision d'ensemble de surcotes

Estimer au mieux la variabilité des niveaux d'eaux est devenu un enjeu important pour la VVS (Vigilance Vague Submersion) mise en place depuis octobre 2011, suite à la tempête Xynthia. C'est dans le cadre du projet HOMONIM (Historique, Observation, MOdélisation des NIveaux Marins), qui a pour objectif d'améliorer les capacités de prévision des submersions marines, qu'une prévision d'ensemble de surcotes a été développée.

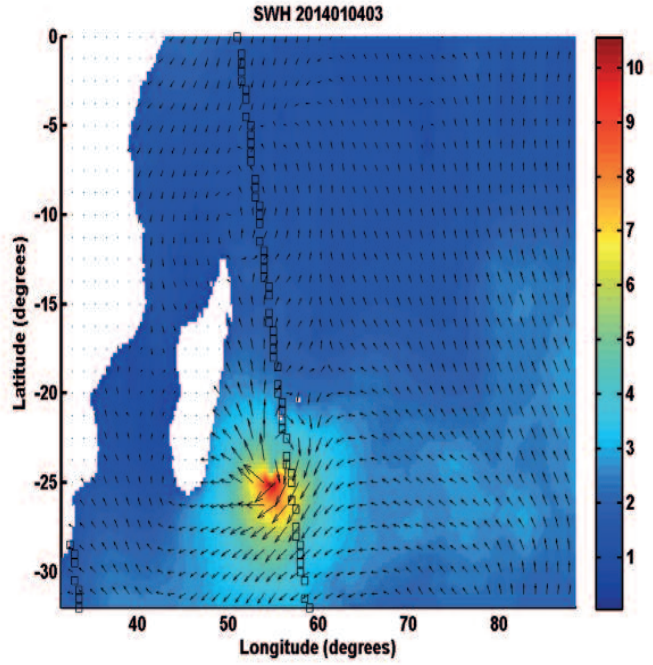
Pour y parvenir, les paramètres vent et pression de la Prévision d'Ensemble ARPege (PEARP, constituée de 35 scénarios) vont servir comme forçage atmosphérique à un modèle de surcote. Les sorties des simulations concernent une cinquantaine de sites en Atlantique et Méditerranée.

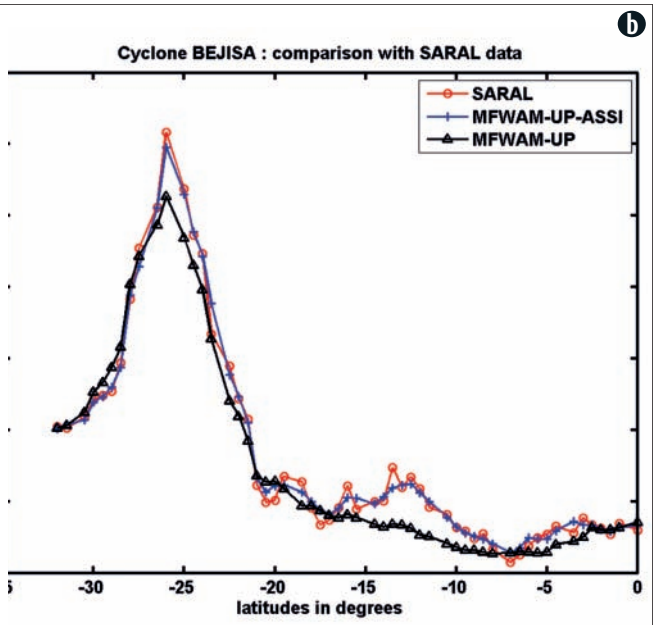
Une Interface Homme Machine permet de visualiser les résultats en chacun de ces sites sous forme de séries temporelles (cf. Figure), mais aussi sous la forme de carte de risque de dépassement de la PHMA (niveau de hauteur d'eau des plus hautes mers astronomiques, calculé en chaque site) en donnant les valeurs du quartile supérieur de la hauteur d'eau simulée.

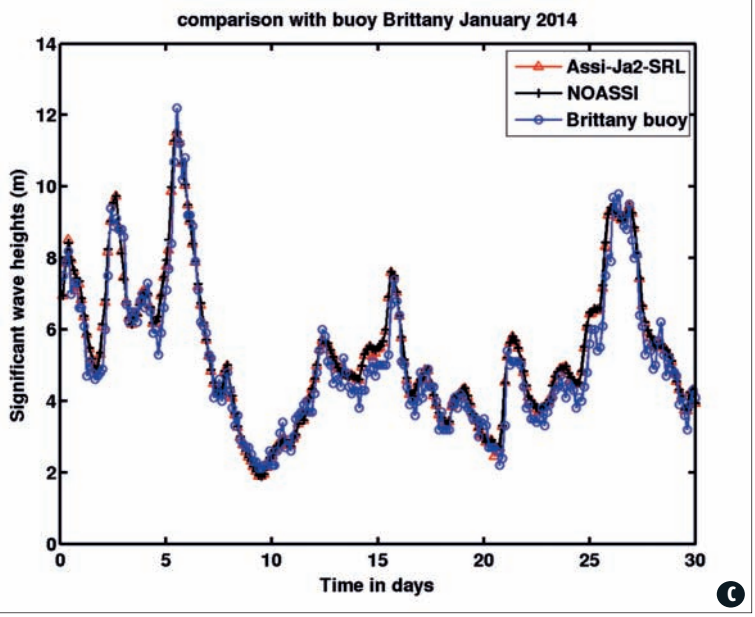
Ce nouvel outil devrait permettre au prévisionniste de se faire une idée de l'incertitude sur la surcote prévue en analysant la dispersion des valeurs de surcote selon les différents scénarios de la prévision d'ensemble.

Plusieurs études ont été menées : comparaison du nouveau modèle de surcote HYCOM2D à l'ancien modèle de Météo-France, choix du forçage atmosphérique (PEARP vs EPS du CEPMMT), et comparaison avec les résultats issus du modèle déterministe. Une évaluation statistique de la PE de surcotes est en cours afin entre autres de mieux évaluer le biais sur certains sites. La mise en opérationnel de cet outil est prévue en 2015.

8





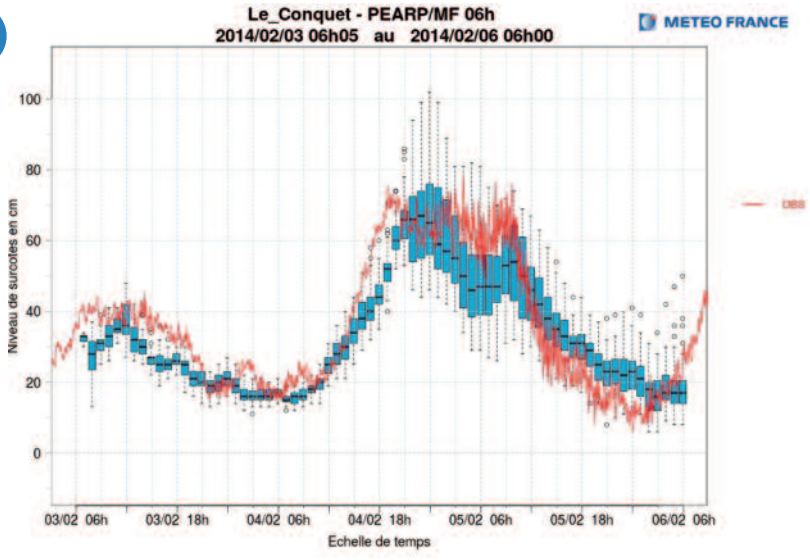


7

▲ (a) : Carte des hauteurs de vagues produites par le nouveau modèle MFWAM le 4 janvier 2014 à 3 :00. La trace du satellite SARAL est indiquée avec des carrés.
(b) : Variation de la hauteur significative des vagues le long de la trace de SARAL le 4 janvier 2014 à 3:00 (UTC). Les courbes rouge, bleue et noir indiquent respectivement les hauteurs significatives des vagues de l'altimètre SARAL, du nouveau modèle MFWAM avec et sans assimilation.

◀ (c) : Série temporelle de la hauteur significative des vagues pendant le mois de Janvier 2014. Les courbes bleue, rouge et noir indiquent respectivement les hauteurs de vagues de la bouée Brittany et du modèle MFWAM avec et sans assimilation des données altimétriques.

8



▶ Graphe temporel de prévision d'ensemble de surcote pour Le Conquet lors de la tempête Petra du 4 février 2014. Utilisation de la PEARP comme forçage et de l'ancien modèle de surcote de Météo France (MF). L'observation de la surcote est indiquée par la courbe en trait continu rouge, alors que la PE de surcotes est affichée sous la forme de boîtes à moustache.
NB : la boîte à moustache permet de représenter une distribution de valeurs sous forme simplifiée avec la médiane (trait gras noir), une boîte bleu s'étendant du quartile 0.25 au quartile 0.75, et des moustaches qui s'étendent par défaut jusqu'à la valeur distante d'au maximum 1.5 fois la distance interquartile, les valeurs restantes dites « anormales » sont représentées par un cercle.

Techniques, campagnes et produits d'observation

L'année 2014 a été très chargée pour l'Unité Mixte de Service SAFIRE. Opérant des avions de recherche en environnement pour Météo-France, le CNRS et le CNES, elle a participé à plusieurs campagnes de mesure dans le cadre du grand programme scientifique CHARMEX, et volé de nombreuses heures pour le compte du programme HAIC qui vise à améliorer la sécurité aérienne et qui impliquait les grands acteurs de l'aviation que sont l'EASA, la FAA, Boeing et Airbus.
Des améliorations ont été apportées à l'exploitation des données opérationnelles. La présence de deux radars météorologiques à La Réunion a été mise à profit par la mise au point d'une technique de restitution de champs tridimensionnels de réflectivité adaptée aux spécificités locales. Un travail a été conduit pour étendre l'analyse horaire CARIBOU des conditions de basse visibilité au domaine maritime intéressant la Marine.
De nouvelles techniques de mesure expérimentales ont été mises au point. Une nacelle de mesure de la turbulence sous ballon a été validée. Elle devrait devenir un outil de référence pour l'étude de la turbulence atmosphérique. Le système de double ballon libre permettant la récupération des charges utiles a été exploité pour valider un capteur innovant de chimie atmosphérique développé par le laboratoire GSMA de Reims.
Les techniques de mesure expérimentale prennent leur sens au sein des programmes de recherche. L'année 2014 aura été l'occasion de réaliser à Toulouse le troisième et dernier volet du programme EUREQUA sur la qualité environnementale des quartiers urbains. Avec une importante participation des sociologues, EUREQUA possède un caractère multidisciplinaire très marqué. Une étude exploitant des données spatiales a par ailleurs été conduite dans le cadre du programme TROPICO sur l'impact de la convection sur la variabilité de la vapeur d'eau dans la basse stratosphère.

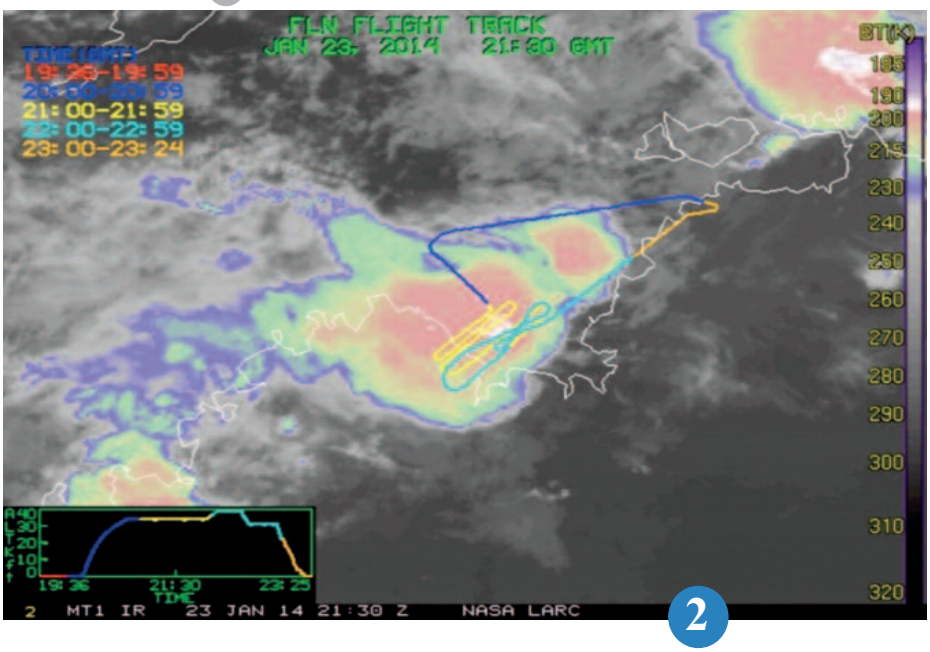
1

HAIC/High IWC : Etude des cristaux de glace en haute altitude pour améliorer la sécurité aéronautique

Depuis les années 1990, on observe que des incidents de réacteurs d'avion et des anomalies dans les mesures de vitesse aérodynamiques et de température se produisent à haute altitude et basse température, et n'ont pas pour cause le givrage classique déjà pris en compte dans le cadre des règles de certification des avions. L'étude approfondie des propriétés des cristaux de glace et des gouttelettes d'eau surfondues dans l'atmosphère s'avère ainsi de première importance pour la sécurité aéronautique. Les projets HAIC & High IWC, financés par l'Union Européenne, l'EASA & la FAA et coordonnés par Airbus et la NASA ont comme objectifs de contribuer à la révision des normes aéronautiques de définition de l'atmosphère à haute altitude, d'étudier les propriétés des zones à fort contenu en glace des nuages convectifs et de contribuer aux développements technologiques d'instruments de détection et d'évitement de ces zones dangereuses.
Ainsi, de janvier à mars 2014, une campagne expérimentale aéroportée basée à Darwin (Nord de l'Australie) a impliqué le Falcon 20 exploité par SAFIRE, avec l'expertise des laboratoires français LaMP/OPGC et LATMOS/IPSL. Le Falcon 20 était équipé de radars 95GHz qui permettait d'étudier les propriétés des zones à fort contenu en glace des nuages convectifs et de nombreuses sondes in situ innovantes qui permettait d'étudier les processus microphysiques qui se produisent dans ces zones.
Après plus de 70 heures de vols, l'analyse des mesures permettra de mieux comprendre les phénomènes de formation de cristaux de glace et ainsi d'améliorer la détection et l'évitement des zones où se produisent ces phénomènes. Néanmoins, d'autres heures de vols sont planifiées l'an prochain pour contribuer à l'évolution des standards de certification des avions et de leurs équipements.

Trajectoire du Falcon 20 lors d'un vol scientifique à l'ouest de Darwin, Australie (vol effectué le 23/01/2014). (Source NASA LARC par INSU)

2



Dispositif instrumental déployé pendant 3 ans au Cap Corse (jusqu'à juillet 2014) dans le cadre du programme CHARMEX-MISTRALS.

GLAM : Une campagne pour mesurer le gradient zonal de constituants chimiques au-dessus de la mer Méditerranée

Dans le cadre du vaste chantier CHARMEX-MISTRALS, le projet GLAM (Gradient in Longitude of Atmospheric constituents above the Mediterranean basin) vise à décrire finement la répartition des polluants au-dessus de la Méditerranée d'est en ouest, y-compris verticalement. SAFIRE a mis à disposition du projet son Falcon 20 pour 5 jours de mesures entre Francazal et Larnaka (Chypre) en alternant les mesures sur le trajet à des altitudes comprises entre 4 000 m et 12 000 m, et des sondages verticaux descendant jusqu'moins de 100 m au-dessus de la mer. Du 6 au 10 août 2014, un équipage de 7 personnes a donc accompli plus de 24 heures de vol scientifique, en 8 trajets. Cette expérience constitue pour SAFIRE une première très originale puisqu'elle s'est déroulée sans le soutien d'une base-appui pour l'instrumentation scientifique ou le traitement des données. Au-delà du bon déroulement des mesures effectuées, ses enseignements sont donc très précieux pour affiner l'offre de services répondant à une éventuelle demande du même type.

(a) : Le Falcon 20 décolle « long » car particulièrement rempli pour cette mission atypique. (Crédit SAFIRE/J.-C. Canonici)

(b) : Briefing matinal avant le grand départ. (Crédit SAFIRE/J.-C. Canonici)

Les campagnes de mesures EUREQUA

Le projet EUREQUA pose la question de la définition et de l'évaluation de la qualité environnementale des quartiers. La démarche adoptée repose sur le croisement de données observables caractérisant l'environnement physique et des perceptions des habitants de leur cadre de vie.
Une phase clef du projet est l'étape expérimentale, basée sur 3 campagnes de terrain menées à Marseille, Paris et Toulouse. En particulier, le quartier d'étude toulousain est la zone Borlongue-Papus-Tabar, enclavée entre la route de Seysses et le périphérique et soumise à de fortes nuisances sonores et de pollution atmosphérique. De janvier à juin 2014, des mesures météorologiques (température, vent, humidité) ont été collectées en continu pour caractériser la variabilité spatiale et temporelle du microclimat. Les scientifiques ont aussi arpentés les rues durant 3 jours successifs, en janvier, avril et juin, pour effectuer des mesures mobiles de microclimat, qualité de l'air et acoustique (Figure a). Enfin, lors de parcours commentés, les habitants ont répondu (simultanément aux mesures) à un questionnaire portant sur leur ressenti en termes de confort sonore et thermique et de qualité de l'air. Dans notre discipline, les premiers croisements montrent que les individus perçoivent, au sein du quartier, des variations de température ressentie en adéquation avec la mesure (Figure b). Mais la question plus globale du confort climatique reste très subjective.
Ce jeu de données devrait permettre d'établir une évaluation multicritère de la qualité environnementale. Elle pourra alors être appliquée à des scénarios de requalification des quartiers, étudiés grâce à la modélisation numérique. A terme, un guide de bonnes pratiques sera rédigé à destination des aménageurs urbains.

4

Mesures de profils de gaz à effet de serre à haute résolution sous ballons libres légers

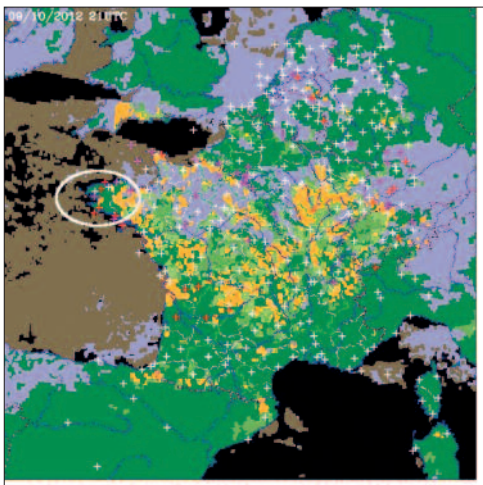
Le CNRM collabore avec le GSMA à la mise au point de méthodes de mesures de concentration de gaz à effet de serre entre la surface et la troposphère. Le GSMA a développé un nouveau senseur compact, léger et précis, appelé AMULSE « Atmospheric Measurements by Ultra Light SpEtrometer », afin de mesurer les gaz à effet de serre (dioxyde de carbone, méthane ...). Cet instrument est embarqué sous deux ballons libres légers du CNRM : le premier est porteur de la charge et est séparé a une altitude prédéfinie ou par une commande, le second ralentit la chute de l'instrumentation, une fois le premier ballon séparé. L'instrumentation est récupérée sur le terrain par un suivi GPS réalisé avec une radiosonde commerciale. La prévision de trajectoire du vol est réalisée à partir d'un profil de vent (mesuré ou prévu par les modèles AROME et ARPEGE) et permet de régler la zone de chute et de pré-positionner l'équipe de récupération de l'instrumentation.
Une campagne a été réalisée dans la région de Reims durant l'automne 2014 avec 17 vols, tous réalisés avec succès, et avec un seul instrument. 12 vols dépassaient 7 km d'altitude. Cette campagne a permis de qualifier l'instrument AMULSE à ces altitudes, de préciser la chaîne de vol et les méthodes de récupération. A terme, l'ensemble permettra la réalisation de sondages réguliers et fréquents pour des études de processus ou des validations de satellites.

5

Extension du produit CARIBOU au domaine maritime

CARIBOU fournit une analyse horaire du risque d'occurrence de brume ou brouillard, spatialisée sur la France métropolitaine. L'algorithme de décision, qui combine la classification nuageuse MSG, la lame d'eau PANTHERE et les analyses horaires VARPACK de l'humidité et de la force du vent, a été validé sur terre. Une évaluation de la version opérationnelle de CARIBOU menée en collaboration avec la Marine, a montré que le produit était moins performant sur mer et qu'une adaptation de l'algorithme sur ce domaine était donc nécessaire.
La base de données recueillies durant l'expérimentation a permis d'étudier l'apport de chaque paramètre d'entrée sur le domaine maritime. Il s'est avéré que les lames d'eau PANTHERE n'amélioraient pas les scores obtenus, elles ne sont donc pas utilisées sur mer. En revanche, la recherche de paramètres supplémentaires a montré que la différence entre la température du point de rosée et la température de surface de la mer, couplée à la classification nuageuse permettait d'améliorer et de pallier les manques de cette dernière. D'autres variables telles que la tendance horaire de chaque paramètre ont été étudiées sans toutefois se révéler déterminantes. Les seuils appliqués sur les paramètres d'entrée permettant d'exclure tout risque de brume ou brouillard ont été ajustés afin de fournir les meilleurs scores possibles. Enfin, les seuils d'humidité déterminant les niveaux de risque (faible, moyen, fort) ont été affinés pour ce nouveau domaine.
Une phase d'évaluation par les utilisateurs est actuellement en cours afin de décider du passage ou non en opérationnel de la nouvelle version de CARIBOU, adaptée au domaine maritime.

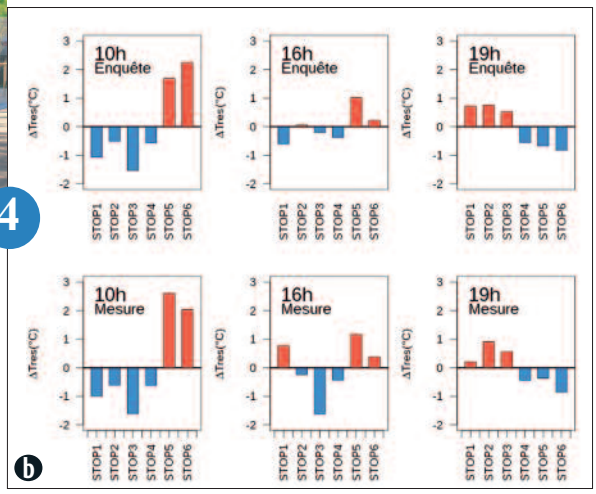
6



Analyse CARIBOU V1.3 opérationnel du 09/10/2012, 21UTC

a

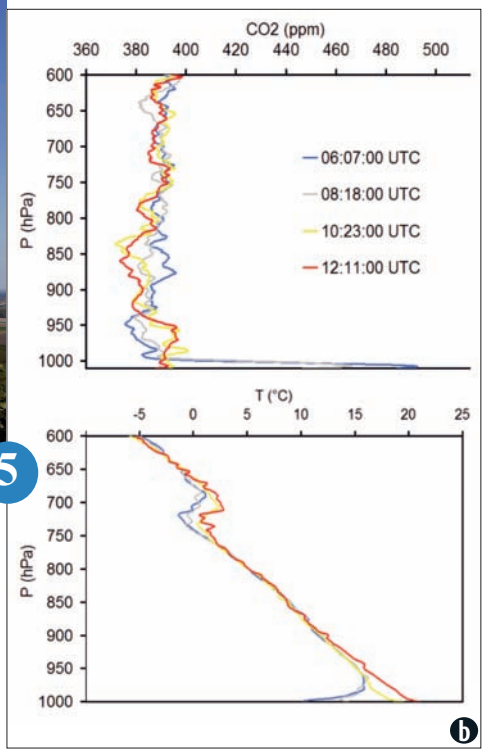
(a) : Gauche : Exemple de mesures mobiles collectées sur le quartier toulousain (ici l'anomalie de température, le 18 juin 2014 à 9h). Droite : photos des enquêtés (en haut) et des systèmes de mesures (en bas).



4

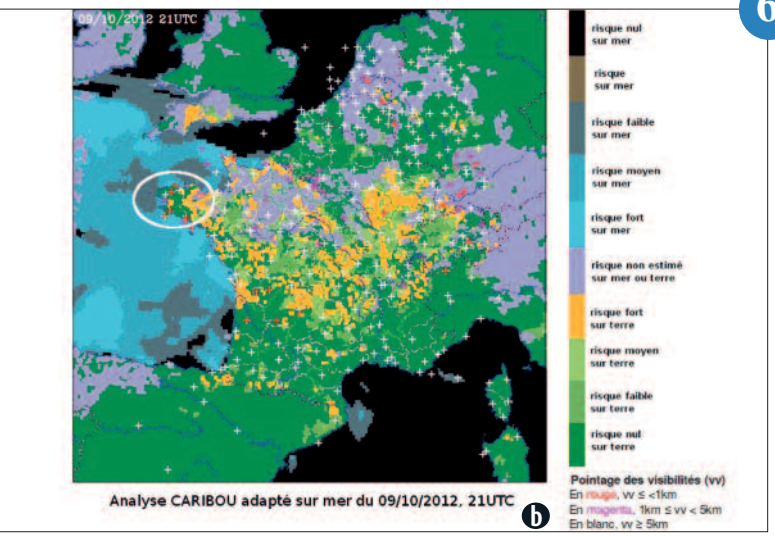
Différence par rapport à la moyenne des températures ressenties évaluées par les enquêtés en chaque point d'arrêt du parcours (en haut) et les indices de confort thermique calculés à partir des mesures mobiles enregistrées simultanément (en bas). Résultats pour les parcours commentés estivaux de 10 h, 16 h, et 19 h heure locale effectués à Toulouse.

(a) : Préparation d'un vol AMULSE. Photo Lilian Joly (GSMA).



5

(b) : Profils de dioxyde de carbone et de température mesurés pendant 4 vols consécutifs le 1er Octobre 2014 à Saint Hilaire le Grand (51).



6

Comparaison de la version opérationnelle de CARIBOU (a) à la version adaptée sur le domaine maritime (b), le 9/10/2012 à 21 UTC. Les observations pointées sur les côtes bretonnes montrent l'occurrence de brume voire de brouillard : la version opérationnelle indique un risque nul sur mer alors que la version adaptée détecte un risque allant de faible à fort.

Bilan de la Vapeur d'Eau à la Tropopause Tropicale

La haute troposphère-basse stratosphère tropicale (TTL, Tropical Tropopause Layer en anglais) est une région clé de l'atmosphère où la vapeur d'eau (H_2O) injectée de la troposphère vers la stratosphère influe sur l'équilibre radiatif de la Terre donc le climat.
Dans le cadre de l'ANR TRO-pico visant à étudier le bilan de la vapeur d'eau H_2O dans la TTL à différente échelles (du local au global), une étude (Carminati et al., 2014) s'est principalement focalisée sur le rôle de la convection profonde sur la variabilité de H_2O dans la TTL à l'échelle tropicale à partir de mesures spatiales. Les observations de H_2O, nuage de glace et température produites par l'instrument spatial Microwave Limb Sounder (MLS), à bord de la plateforme Aura, ont été analysées entre 2005 et 2012 dans les tropiques ainsi que sur des régions plus restreintes de l'Amérique du Sud, l'Afrique, etc. Une approche consistant à analyser la différence entre les mesures diurnes et nocturnes a permis de mettre en évidence les effets de la convection continentale comparée à la convection océanique (Figure a), ainsi que l'influence de l'hémisphère et de la saison.
Les résultats démontrent que la convection continentale est en grande partie à l'origine de la variabilité de H_2O dans la TTL grâce à l'injection de cristaux de glace qui, suite à leur sublimation, hydrate cette région de l'atmosphère. Ce phénomène est observé de la haute troposphère jusqu'à la basse stratosphère au plus fort de la saison convective et de manière plus marquée dans l'hémisphère Sud (Figure b). L'analyse se porte désormais sur des régions plus restreintes de l'Amérique du Sud (Amazonie vs. sud du Brésil) en utilisant mesures spatiales, campagne de lâchers de ballons, sorties de modèles et assimilation.

7

Mesure de la turbulence sous ballon captif

Au sein de l'atmosphère, la couche limite atmosphérique (CLA) nécessite une surveillance permanente car c'est la couche qui subit prioritairement l'influence des activités anthropiques. Ce sont les processus turbulents de la CLA qui sont principalement responsables des transferts de matière et d'énergie entre la surface et l'atmosphère. C'est dans ce contexte que l'observation sur la verticale des paramètres turbulents présente un intérêt. La sonde présentée sur la figure « a » a été construite afin de mesurer, sous ballon captif, les paramètres thermodynamiques à très haute fréquence (10Hz) pour les premières centaines de mètres de l'atmosphère. Cette sonde développée par l'équipe GMEI/4M est un outil innovant et complémentaire aux mesures sur mât et/ou sur avions de recherche lors de campagne de mesure dédiée à la CLA.
Pendant la campagne expérimentale du projet BLLAST (Boundary LayerLate Afternoon and Sunset Transition) cette sonde a été mise en œuvre. Trois ans après la campagne de mesure, les données de cette sonde ont contribué à trois volets du projet : (i) étudier l'évolution en fin d'après-midi de la structure turbulente de la CLA, (ii) évaluer les modèles numériques de prévision du temps et (iii) valider la mesure de la turbulence par lidar Doppler. La figure « b » illustre le second thème de recherche avec la représentation de l'évolution temporelle d'un paramètre caractéristique de la turbulence, l'énergie cinétique turbulente (TKE) à 4 altitudes différentes obtenue avec les diverses observations (haut) et simulée (bas) par le modèle numérique de prévision du temps AROME pour 2 journées consécutives.
Les projets d'évolution de cette sonde portent principalement sur l'estimation du profil de l'énergie cinétique turbulente en continu et sur l'ajout de nouveau capteur afin de mesurer à une fréquence similaire l'humidité.

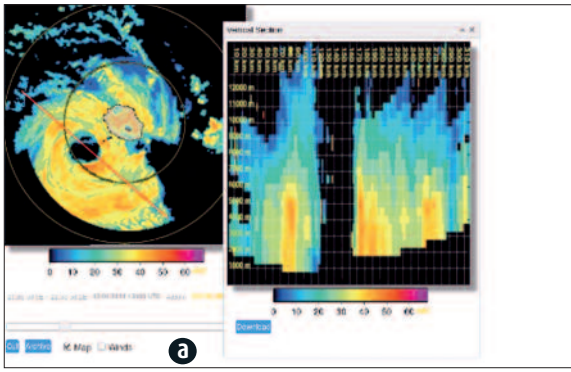
8

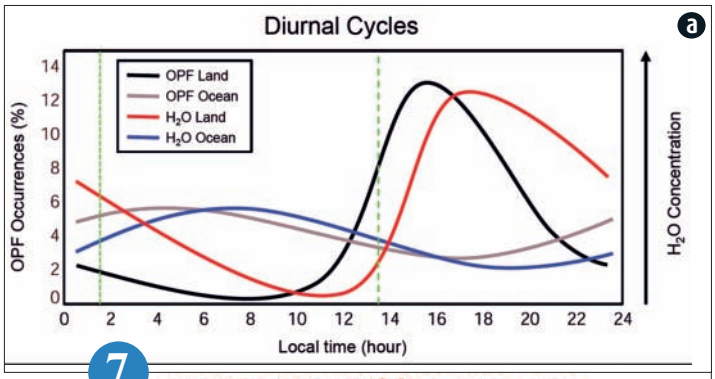
Exploitation de la donnée radar pour l'étude des cyclones tropicaux : la chaîne R2-3D

R2-3D, (Radar Réunion – 3 Dimensions) est une chaîne de traitement des données de réflectivité des deux radars météorologiques de Météo-France à la Réunion (radar du Colorado au nord de l'île, et radar de Piton Villers au centre-est de l'île).
R2-3D, mis au point par la Cellule de Recherche Cyclonique de Météo-France, effectue de manière automatique le désarchivage des données depuis la BDM (Base de Données Météorologique) et le traitement des fichiers en créant une mosaïque des données des 2 radars, visualisable en trois dimensions via un logiciel web interactif.
Les données 3D sont calculées sur une région de 400 km de côté, haute de 15 km, par pas horizontal de 1 km et vertical de 500 m. La méthode de calcul utilise les tours d'antenne réels comme base d'une interpolation particulière qui combine une interpolation par la méthode de Cressman et une interpolation verticale particulièrement bien adaptée aux phénomènes convectifs et aux cyclones tropicaux. La qualité relative de ce calcul, qui est évaluée toutes les heures, est mesurée par des méthodes de comparaison d'images et de reconnaissances de formes.
Au final, l'image 3D est vectorisée sur chacun des niveaux horizontaux dans un format géographique léger et universel (GeoJSON) et est archivée dans une base de données PostGis permettant l'exploitation de la donnée par d'autres outils et SIG standards. A court et moyen termes, cet outil sera appliqué aux sorties des modèles Méso-NH et AROME, afin de pouvoir rapidement et facilement visualiser les champs de vent, de précipitation ou de pression.

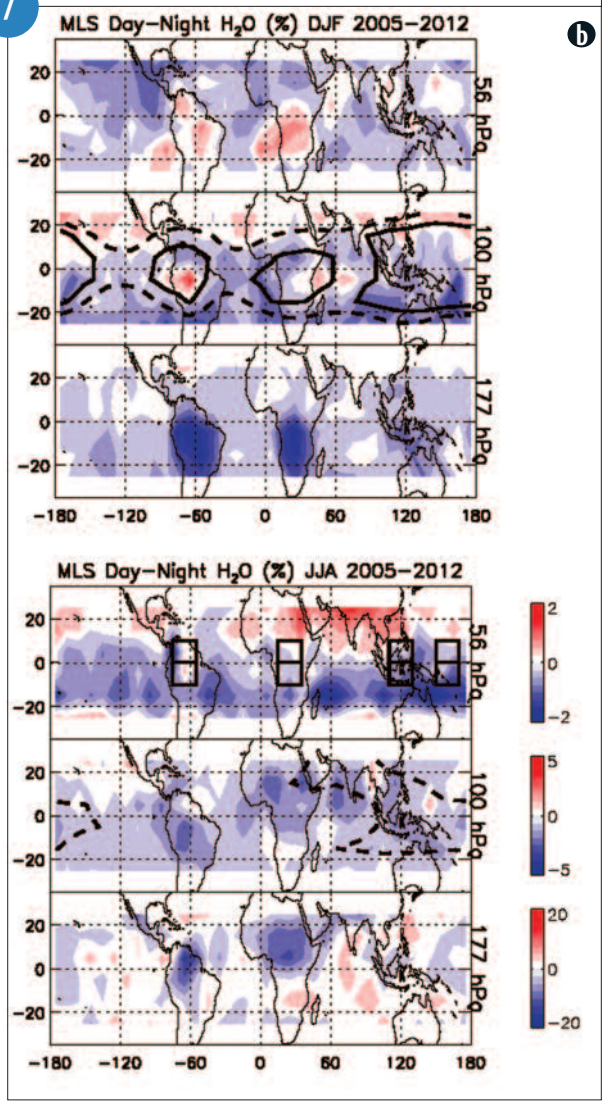
9

(a) : Coupe verticale de réflectivité radar R2-3D à travers l'œil du cyclone BEJISA (2 jan 2014).
(b) : Image web interactive 3D pendant le passage du cyclone BEJISA (limitée aux réflectivités supérieures à 35 dbZ).





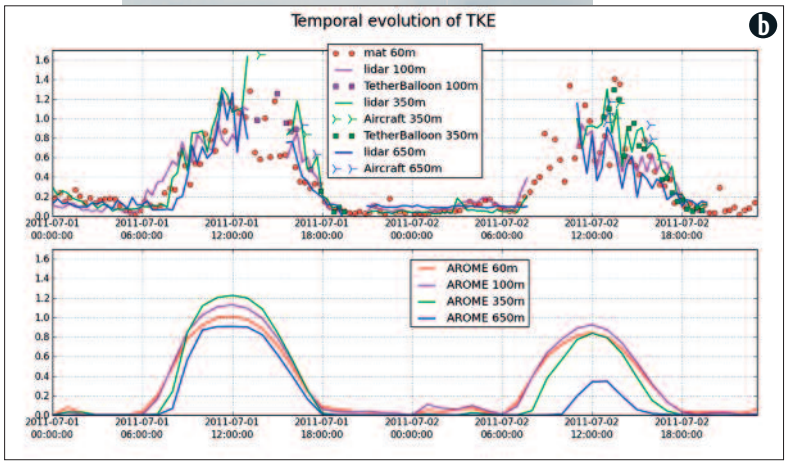
7



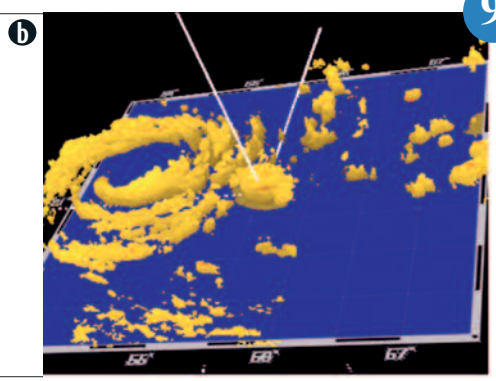
(a) : Représentation schématique du cycle diurne de la convection dans la haute troposphère au-dessus des continents (courbe noire) et au-dessus des océans (courbe grise) et du cycle diurne de H2O dans la haute troposphère au-dessus des continents (courbe rouge) et au-dessus des océans (courbe bleue). Les traits en pointillés verts représentent l'échantillonnage en heure locale des mesures de l'instrument spatial MLS.
(b) : (gauche, de haut en bas)
Différence en moyenne relative entre des mesures H_2O de l'instrument spatial MLS de jour (13h30 heure locale) et de nuit (01h30 heure locale) pour décembre, janvier et février sur 8 ans (2005-2012) dans la bande de latitude 25°N-25°S à 56, 100 et 177 hPa. Les contours de température à 192 K (ligne noire) et 195 K (ligne noire pointillée) sont représentés à 100 hPa.
(Bas)
Identique à la Figure de gauche mais pour juin, juillet et août.
Les huit boîtes noires à 56 hPa représentent les huit domaines d'étude; à savoir, le nord et le sud de l'Amérique tropicale, l'Afrique, le continent maritime et de l'ouest du Pacifique.

8

(a) : La sonde de turbulence construite autour d'un anémomètre sonique et d'un capteur couplé de mouvement inertiel/GPS.
(b) : Evolution temporelle de l'énergie cinétique turbulente (en [m^2s^{-2}]) observée (haut) et simulée (bas) au cours de deux journées de la campagne BLLAST pour 4 altitudes différentes.



9



Recherche et aéronautique

Des avions de recherche pour la météorologie, la recherche météorologique pour les avions.
L'avion instrumenté pour la recherche est un système d'exploration unique pour échantillonner l'atmosphère in-situ, suivre les phénomènes météorologiques lors de leur déplacement et analyser leur évolution. Météo-France, en partenariat avec le CNRS et le CNES, opère 3 avions instrumentés dans le cadre de l'Unité Mixte SAFIRE. Depuis 2000, Météo-France coordonne aussi le réseau européen EUFAR des avions de recherche sur l'environnement et après 13 ans de financement européen, la Commission attend que le consortium constitue une structure pérenne pour ce réseau d'infrastructures de recherche.
Météo-France participe aussi activement à la définition des nouveaux services météorologiques dans le cadre du volet R&D SESAR, initiative du Ciel Unique Européen. Après avoir collecté les exigences des utilisateurs aéronautiques, nous sommes entrés dans une phase de démonstration pour mesurer l'acceptabilité des nouveaux services et les affiner pour aborder la phase de validation qui précède leur déploiement.

1

Des avions de recherche pour la météorologie, la recherche météorologique pour les avions.

1

Vers une structure juridique pérenne pour EUFAR

EUFAR, projet et réseau européen d'infrastructures de recherche aéroportée pour l'environnement, a vocation à faciliter l'accès aux infrastructures les mieux adaptées aux besoins des scientifiques en Europe. EUFAR soutient les scientifiques, les forme, facilite l'échange d'expertises et vise à harmoniser les pratiques de recherche.
Depuis sa création en 2000, EUFAR a évolué en activité, taille et budget. Après 3 contrats successifs portés financièrement par la Commission Européenne, celle-ci finance l'actuel EUFAR2 à hauteur de 6 M€. Grâce aux 12 opérateurs du consortium EUFAR2, constitué en totalité de 24 partenaires, ce sont 18 avions de recherche et 3 instruments de télédétection mis à disposition des scientifiques à échelle transnationale. La coordination du projet EUFAR était, jusqu'à ce jour et ce depuis le premier contrat, intégralement confiée au CNRM. EUFAR2 est aujourd'hui co-coordonné avec le MET Office.
A ce stade du projet, la constitution d'une structure juridique pérenne pour EUFAR, permettant d'assurer la continuité du projet et a minima son autonomie financière partielle, est un objectif clé.
L'examen des différentes formes juridiques possibles penche en faveur de l'établissement d'une association internationale sans but lucratif (AISBL) de droit belge. Une telle structure juridique, couplée à "l'Open Access"- partage des ressources favorisant la mobilité du personnel à travers l'Europe envisagé dès 2016 -, élargirait considérablement les cibles utilisateurs tout en mobilisant des ressources supplémentaires. En effet, cela scellerait la position d'EUFAR comme le portail clé pour la recherche aéroportée en Europe.

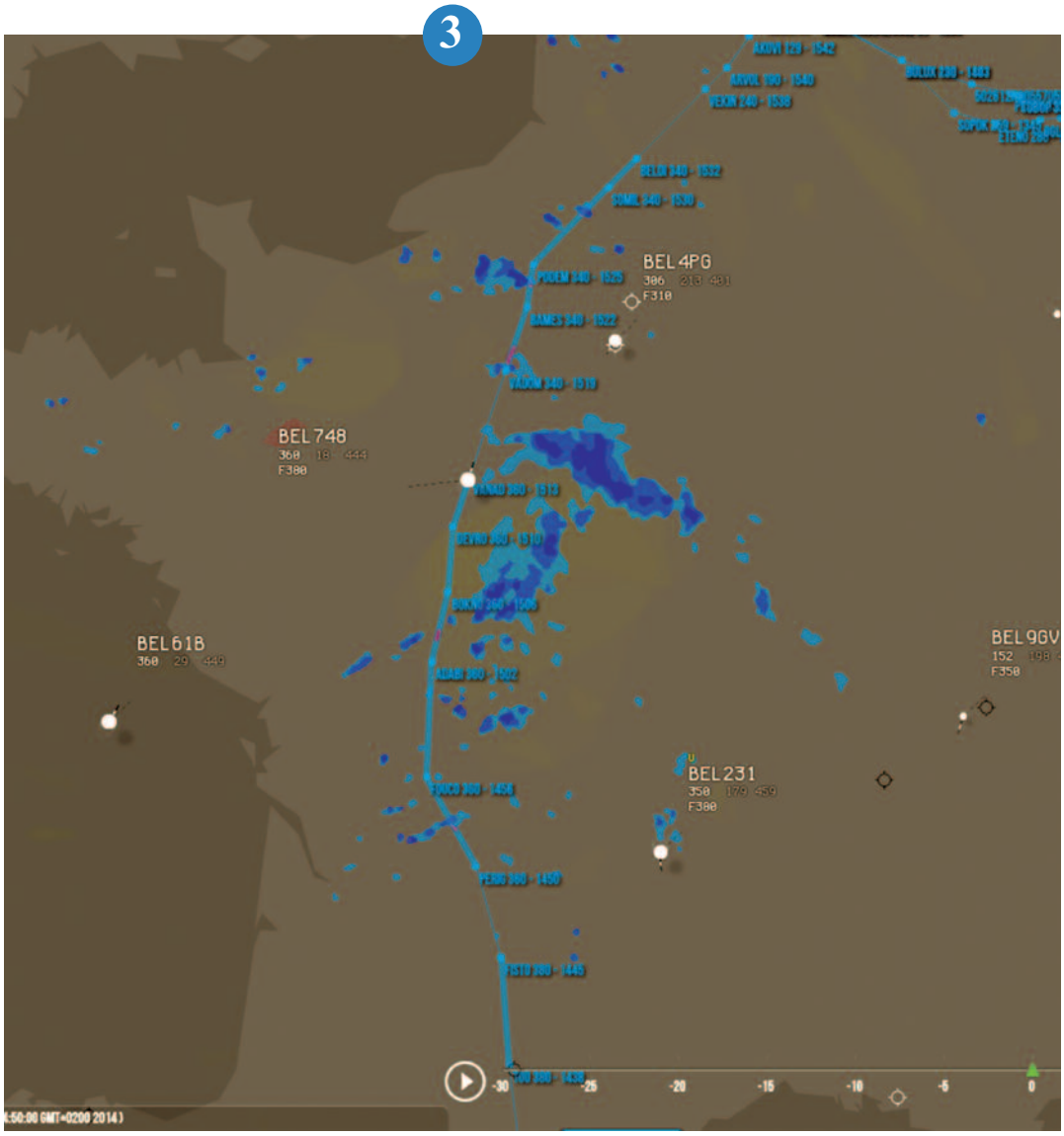
2

Contributions de Météo-France au programme SESAR

Outre l'harmonisation des services météorologiques à l'aviation avec nos collègues allemands du DWD et anglais de l'UKMO, qui constitue le cœur de notre contribution au programme SESAR, nous avons testé en situation deux services novateurs et exploré avec les utilisateurs les modalités de leur application.
Le premier concerne la prise en compte de l'incertitude de la prévision météorologique dans les systèmes d'aide à la décision en utilisant des prévisions d'ensemble pour palier la grande variabilité spatio-temporelle de cette incertitude, en particulier lors de situations perturbées. Ces travaux ont été conduits dans le cadre projet IMET (SESAR-recherche amont) en collaboration avec le NLR pour la composante sol et un projet de validation SESAR avec l'industriel SABRE, qui développe les prédicteurs de trajectoire pour les compagnies aériennes.
Le second traite de l'information sur le risque de convection pour lequel la composante verticale (sommet des nuages) est un prérequis pour les pilotes et contrôleurs. Dans le cadre du projet TOPMET, un nouveau service couvrant l'observation de la convection (ASPOC3D) en support à la décision tactique a été testé et, dans cette année fortement perturbée par la convection, les cas d'étude ont été nombreux. Ils ont permis de mieux définir les modalités d'utilisation de cette information, qui sera élargie dans le cadre du projet TOPLINK en 2015 à la planification à court terme avec des services de prévision immédiate de la convection pour le gestionnaire du trafic au sol.

3

(a) : Instrumentation dans l'avion de recherche BAe-146, opéré par FAAM (Royaume-Uni), disponible pour l'accès transnational dans le cadre d'EUFAR2.
(b) : Jean-Louis Brenguier, fondateur du réseau EUFAR et ancien coordinateur des projets EUFAR, à côté d'un instrument embarqué sur l'ATR-42, avion de recherche opéré par SAFIRE.

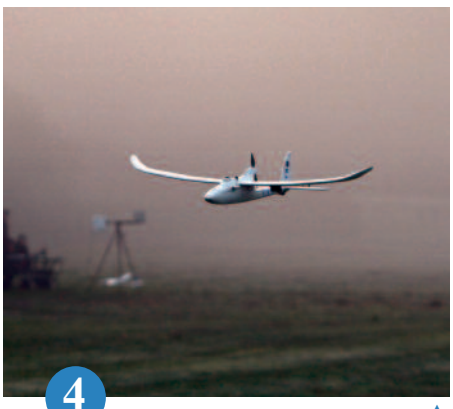


Information météo (ASPOC 3D) couplée à la trajectoire d'un avion et à de l'information ATM (Air Traffic Management) - Interface visuelle du pilote. Crédit photo ©TOPMET 2014

Les yeux dans le ciel : les drones pour la recherche atmosphérique

L'évolution des drones et de leurs systèmes de vol autonome ouvre de nombreuses possibilités en sciences atmosphériques.
Depuis 2012, le projet VOLTIGE œuvre à l'étude du brouillard par une flotte de 3 drones ultralégers (‹2kg). Lors de cette collaboration avec l'ENAC (développement avions et système de navigation autonome) et l'ENM (implication des étudiants), le CNRM a développé les systèmes de mesures et d'acquisition des paramètres atmosphériques. Les campagnes de tests réalisées dans les Landes (hélistation de l'EALAT) et à Lannemezan (CRA – OMP/LA) étaient les étapes préalables à la campagne finale de mesures en situation de brouillard prévue dans les Landes à l'automne 2015.
En parallèle, le projet RTRA STAE Skyscanner prévoit l'utilisation d'une flotte de drones pour « scanner » un nuage. Dans cette collaboration avec l'ENAC et Sup' Aéro, le CNRM a pour rôle de définir les besoins en mesures de nuage. Les partenaires auront à charge de lever les verrous technologiques pour permettre à des drones de réaliser ces mesures.
Le dernier projet impliquant des drones est le projet européen BACCHUS pour l'étude des interactions nuages aérosols dans les processus de changement climatiques. Le CNRM a pour cela instrumenté des drones ultralégers équipés pour des mesures météorologiques (thermodynamique, rayonnement) et aérosols (comptage). Deux campagnes de mesures sont prévues en 2015.
La souplesse d'utilisation des drones et le faible coût matériel des modèles de moins de 2 kg en font par ailleurs un outil pédagogique innovant et permet d'impliquer les étudiants à des projets de recherche par le biais de l'instrumentation.

4



L'atterrissage du drone lors d'un vol dans un brouillard.

Des services météo de nouvelle génération pour optimiser la trajectoire des avions

Météo-France étudie, depuis novembre 2013, avec ses partenaires européens, l'utilisation d'une nouvelle génération de services météo dédiés à l'aviation. Grâce à ces nouveaux services météorologiques, les pilotes, les régulateurs de vols et les contrôleurs aériens partageront la même vision du temps présent et des phénomènes météorologiques susceptibles de perturber le vol (orages, convections, givrage, turbulences, vents...) et de son évolution à court et moyen terme avec des prévisions ensemblistes jusqu'à un horizon de 24 h (taux de rafraichissement de 5 min pendant les 3 premières heures, et de 1 h au-delà). Tous pourront ainsi mieux anticiper les risques météorologiques, les contourner et optimiser leur trajectoire, du décollage à l'atterrissage.
De nouveaux services d'observation ont été testés dans des conditions réelles de vol en juillet et en août 2014 dans le cadre du programme européen SESAR, pilier technologique du Ciel Unique Européen, et de son projet de démonstration TOPMET. Des experts de 4 pays ont collaboré au projet : Thales (coordinateur du projet), Brussels Airlines, la DSNA et trois membres d'EUMETNET EIG : Météo-France, DWD et MET Office. Les tests ont permis de valider de nouveaux process de prise de décision, de sélectionner les données météorologiques les plus pertinentes et d'évaluer les bénéfices de tels services dans un contexte opérationnel.
Le nouveau programme de démonstration TOPLINK, prendra le relais en 2015, impliquant un panel plus large de partenaires institutionnels et industriels : Thales, Airbus, Aéroport de Paris, DSNA, Croatia Control, Austro Control, Air France, Brussels Airlines, Air Corsica, Météo-France, Finnish Meteorological Institute et DWD. L'observation sera complétée par une prévision immédiate ensembliste du risque convection sur un horizon de 3 h et de nouveaux systèmes de communication par satellite entre le sol et les avions seront déployés, rendant possible le transfert d'information météorologique actualisée pendant le vol pour une meilleure prévision des temps de vols et des heures d'arrivée, un renforcement de la sécurité et une amélioration du confort de l'équipage et des passagers.

5

Application pilote TOPMET.

Annexes

Liste des publications scientifiques 2014

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

Amri R.; M. Zribi; Z. Lili-Chabaane; C. Szczypta; J.-C. Calvet and G. Boulet: FAO-56 dual model combined with multi-sensor remote sensing for regional evapotranspiration estimations, Remote Sensing. Volume: 6. Issue: 6. Pages: 5387-5406. Doi: 10.3390/rs6065387. Published: JUN 2014.

Angevine W.; M. Bazile, E., D. Legain and D. Pino: Land surface spinup for episodic modeling, Atmospheric Chemistry and physics. Volume: 14. Issue: 15. Pages: 8165-8172. Doi: 10.5194/acp-14-8165-2014. Published: 2014.

Auclair F.; L. Bordois; Y. Dossmann T. Duhaut, C. Estournel; J.W. Floor; P. Marsaleix; C. Nguyen; A. Paci and C. Ulses (2014): Implementation of a time-dependent bathymetry in a free-surface ocean model: application to internal wave generation, Ocean Modelling. Volume: 80. Pages: 1-9. Doi: 10.1016/j.ocemod. 2014. Published: AUG 2014.

Auger L.; O. Dupont; S. Hagelin; P. Brousseau; P. Brovelli: AROME-NWC: a new nowcasting tool based on an operational mesoscale forecasting system. Quart. Jour. Roy. Meteor. Soc. Doi: 10.1002/qj.2463

Aumond P.; G. Guillaume; B. Gauvreau; C. Lac; V. Masson; M. Berengier, 2014: Application of the Transmission Line Matrix method for outdoor sound propagation modelling - Part 2: Experimental validation using meteorological data derived from the meso-scale model Meso-NH. Applied Acoustics. Volume: 76. Pages: 107-112. Doi: 10.1016/j.apacoust.2013.07.015. Published: FEB 2014.

Ba J.; N.S. Keenlyside; M. Latif; W. Park; H. Ding; K. Lohmann, J. Mignot; M. Menary; O.H. Otterå; B. Wouters; D. Salas y Mélia; A. Oka; A. Bellucci; E. Volodin, 2014: Climate Dynamics. Volume: 43. Issue: 9-10. Pages: 2333-2348. Doi: 10.1007/s00382-014-2056-1. Published: NOV 2014.

Balzarolo M.; S. Boussetta; G. Balsamo; A. Beljaars; F. Maignan; J.-C. Calvet; S. Lafont; A. Barbu; B. Poulter; F. Chevallier; C. Szczypta and D. Papale: Evaluating the potential of large scale simulations to predict carbon fluxes of terrestrial ecosystems over a European Eddy Covariance network. Biogeosciences, Volume: 11. Issue: 10. Pages: 2661-2678. Doi: 10.5194/bg-11-2661-2014. Published: 2014.

Barbu A.L.; J.-C. Calvet; J.-F. Mahfouf and S. Lafont: Integrating ASCAT surface soil moisture and GEOV1 leaf area index into the SURFEX modelling platform: a land data assimilation application over France. HYDROLOGY AND EARTH SYSTEM SCIENCES Volume: 18. Issue: 1. Pages: 173-192. Doi: 10.5194/hess-18-173-2014. Published: 2014.

Barré J.; V.-H. Peuch,; W. A. Lahoz; J.-L. Attié,; B. Josse; A. Piacentini; M. Eremenko; G. Dufour; P. Nedelec; T. Von Clarmann and L. El Amraoui, 2014: Combined data assimilation of ozone tropospheric columns and stratospheric profile Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society. Volume 140. Issue: 680. Pages: 966–981. Published: APR 2014 .

Beck J; M. Nuret O. Bousquet, 2014: Model Wind Field Forecast Verification Using Multiple-Doppler Syntheses from a National Radar Network, Weather and Forecasting. Volume: 29. Issue: 2. Pages: 331-348. Doi: 10.1175/WAF-D-13-00068.1. Published: APR 2014.

Bellucci A., R. Haarsma; S. Gualdi; P. J. Athanasiadis; M. Caian; C. Cassou; E. Fernandez; A. Germe; J. Jungclaus; J. Kröger; D. Matei; W. Müller; H. Pohlmann; D. Salas y Mélia; E. Sanchez; D. Smith; L. Terray; K. Wyser and S. Yang, 2014: An assessment of a multi-model ensemble of decadal climate predictions.Climate Dynamics. Doi:10.1007/s00382-014-2164-y. Published on-line.

Bénard P.: An oblate-spheroid geopotential approximation for global meteorology. Quarterly journal of the Royal Meteorological Society. Volume: 140. Issue: 678. Pages: 170-184. Part: A. Doi: 10.1002/qj.2141. Published: JAN 2014.

Bénard P.: An assessment of global forecast errors due to spherical geopotential approximation in the shallow-water case. Quarterly journal of the Royal Meteorological Society. Doi: 10.1002/qj.2349.

Bergot T.; J. Escobar; V. Masson, 2014: Effect of small scale surface heterogeneities and buildings on radiation fog: Large-Eddy Simulation study at Paris-Charles de Gaulle airport. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society. Doi: 10.1002/qj.2358.

Berthou S.; S. Mailler; P. Drobinski; T. Arsouze; S. Bastin; K. Béranger. C. Lebeaupin-Brossier, 2014: Sensitivity of an intense rain event between an atmosphere-only and an atmosphere-ocean regional coupled model: 19 September 1996. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, on line. Doi: 10.1002/qj.2355.

Berthou S.; S. Mailler; P. Drobinski; T. Arsouze; S. Bastin; K. Béranger and C. Lebeaupin Brossier, 2014: Prior history of Mistral and Tramontane winds modulates heavy precipitation events in southern France. TELLUS Series A-Dynamic Meteorology and Oceanography. Volume: 66. Article Number: 24064. Doi : 10.3402/tellusa.v66.24064. Published: 2014.

Beucher F., J-P. Lafore; F. Karbou; R. Roca, 2013: High-resolution prediction of a major convective period over West Africa, Quaterly Journal of the Royal Meteorological Society. Volume: 140. Issue: 682. Pages: 1409-1425, Part: A. Doi: 10.1002/qj.2225. Published: JUL 2014.

Boisserie M., P. Arbogast; L. Descamps; O. Pannekoucke and L. Raynaud. Estimating and diagnosing model error variances in the Météo-France global NWP model. Quarterly journal of the Royal Meteorological Society. Volume: 140. Issue: 680. Pages: 846-854. Doi: 10.1002/qj.2173. Published: APR 2014.

Boisserie M.; L. Descamps; P. Arbogast: Calibrating ensemble forecasts using estimated model error variances. Quarterly journal of the Royal Meteorological Society, DOI: 10.1002/qj.2365.

Bölöni G.; L. Berre; E. Adamcsek: A comparison of ensemble assimilation techniques for the simulation of mesoscale background errors. Quarterly journal of the Royal Meteorological Society. Doi: 10.1002/qj.2361‹;

Bosveld F-D; C., Peter Baas; Gert-Jan Steeneveld; Albert A.M. Holtslag; Wayne M. Angevine; Eric Bazile; Evert I.F. de Bruijn; Daniel Deacu; John M. Edwards; Michael Ek; Vincent E. Larson; Jonathan E. Pleim; Matthias Raschendorfer; Gunilla Svensson: The Third GABLS Intercomparison Case for Boundary Layer Model Evaluation: Part B: Results and Process Understanding. Boundary-Layer Meterology. Volume: 152. Issue: 2. Special Issue: SI. Pages: 157-187. Doi: 10.1007/s10546-014-9919-1. Published: AUG 2014.

Boullot N.; F. Rabier; R. Langland; R. Gelaro; C. Cardinali; Guidard V.; P. Bauer and A. Doerenbecher, 2014: Observation impact over the southern polar area during the Concordiasi field campaign. Quarterly journal of the Royal Meteorological Society. Doi: 10.1002/qj.2470.

Bousquet O.; A. Berne; J. Delanoe; Y. Dufournet; J. Gourley; J.l Van Baelen; C. Augros; L. Besson; B. Boudevillain; O. Caumont; E. Defer; J. Grazioli; D. Jorgensen; P. Kirstetter; J.-F. Ribaud; J. Beck; G. Delrieu; V. Ducrocq; D. Scipion; A. Schwarzen-boeck; J. Zwiebel, 2014: Multiple-frequency radar observations collected in southern France during the field phase of the Hydrometeorological Cycle in the Mediterranean Experiment (HyMeX)", Bulletin of the American Meteorological Society. Doi: 10.1175/BAMS-D-13-00076.1.on line.

Braud I.; P.-A. Ayral; C. Bouvier; F. Branger; G. Delrieu; J. Le Coz; G. Nord; J.-P. Vandervaere; S. Anquetin; M. Adamovic; J. Andrieu; C. Batiot; B. Boudevillain; P. Brunet; J. Carreau; A. Confoland; J.-F. Didon-Lescot; J.-M. Domergue; J. Douvinet; G. Dramais; R. Freydier; S. Gérard; J. Huza; E. Leblois; O. Le Bourgeois; R. Le Boursicaud; P. Marchand; P. Martin; L. Nottale; N. Patris; B. Renard; J.-L. Seidel; J.-D. Taupin; O. Vannier; B. Vincendon and A. Wijbrans, 2014: Multi-scale hydrometeorological observation and modelling for flash-flood understanding, Hydrology and Earth Systems Sciences. Volume: 18. Issue: 9. Pages: 3733-3761. Doi: 10.5194/hess-18-3733-2014. Published: 2014.

Brenot H.; A. Walpersdorf; M. Reverdy; J. VanBaelen; V. Ducrocq; C. Champollion; F. Masson; E. Doerflinger; P. Collard; P. Giroux, 2014: A GPS net-

work for tropospheric tomography in the framework of the Mediterranean hydrometeorological observatory Cévennes-Vivarais (southeastern France), Atmospheric Measurement Techniques. Volume: 7. Issue: 2. Pages: 553-578. Doi: 10.5194/amt-7-553-2014. Published: 2014.

Briche E.; G. Beltrando; S. Somot and H. Quenol; 2014: Critical analysis of simulated daily temperature data from the ARPEGE-Climate model: application to climate change in Champagne wine-producing re-gion. Climatic Change. Volume: 123. Issue: 2. Pages: 241-254. Doi: 10.1007/ s10584-013-1044. Published: MAR 2014.

Brousseau P.; G. Desroziers; F. Bouttier and B. Chapnik: A posteriori diagnostics of the impact of observations on the AROME-France convective-scale data-assimilation system. Quaterly journal of the Royal Meteorological Society. Volume: 140. Issue: 680. Pages: 982-994. Doi: 10.1002/qj.2179. Published: APR 2014.

Calonne N., C. Geindreau and F. Flin, 2014: Macroscopic Modeling for Heat and Water Vapor Transfer in Dry Snow by Homogenization, The journal of physical chemistry. B Volume: 118. Issue: 47. Pages: 13393-403. Doi: 10.1021/jp5052535. Publi-shed : 2014-Nov-26.

Calonne N., F. Flin; C. Geindreau; B. Lesaffre and S. Rolland du Roscoat, 2014: Study of a temperature gradient metamorphism of snow from 3-D images: time evolution of microstructures, physical properties and their associated anisotropy. Cryosphere, 8, 2255-2274. Doi: 10.5194/tc-8-2255-2274.

Caluwaerts S.; D. Degrauwe; P. Termonia; F. Voitus, P. Bénard and J-F. Geleyn: Importance of temporal symmetry in spatial discretization for geostrophic adjustment in semi-implicit Z-grid schemes. Quar terly journal of the Royal Meteorological Society. Doi: 10.1002/qj.2344.

Canal N.; J.-C. Calvet; B. Decharme; D. Carrer; S. Lafont and G. Pigeon 2014: Evaluation of root water uptake in the ISBA-A-gs land surface model using agricultural yield statistics over France. Hydrology and Earth Systems Sciences.Volume: 18. Issue: 12. Pages: 4979-4999; Doi : 10.5194/hess-18-4979-2014. Published: 2014.

Cantet P., M. Déqué; P. Palany and J.L. Maridet; 2014: The importance of using a high resolution model to study the climate change of small islands: the Lesser Antilles case. Tellus Series A-Dynamic Meteorology and Oceanography. Volume: 66. Article Number: 24065. Doi: 10.3402/tellusa.v66.24065. Published: 2014.

Carmagnola C. M.; S. Morin; M. Lafaysse; F. Domine; B. Lesaffre; Y. Lejeune; G. Picard and L. Arnaud, 2014: Implementation and evaluation of prognostic representations of the optical diameter of snow in the SURFEX/ISBA-Crocus detailed snowpack model. Cryosphere. Volume: 8. Issue: 2. Pages: 417-437. Doi: 10.5194/tc-8-417-2014. Published : 2014.

Carminati F., P. Ricaud; J.-P. Pommereau; E. Rivière; S. Khaykin; J.-L. Attié and J. Warner, 2014: Impact of Tropical Land Convection on the Water Vapour Budget in the Tropical Tropopause Layer. Atmospheric Chemistry and Physics. Volume: 14. Issue: 12. Pages: 6195-6211. Doi: 10.5194/acpd-14-6195-2014. Published: 2014.

Carrassi A.; R. Weber; V. Guemas; F. Doblas-Reyes; M. Asif and D. Volpi, 2014: Full-Field and Anomaly Initialization using a low-order climate model: a comparison and proposals for advanced formulations. Nonlinear processes in geophysics. Volume: 21. Issue: 2. Pages: 521-537. Doi: 10.5194/npg-21-521-2014. Published : 2014.

Carrer D.; X. Ceamanos; B. Six and J.L. Roujean; AERUS-GEO: A newly available satellite-derived aerosol optical depth product over Europe and Africa, Geophysical Research Letters. Volume: 41. Issue: 21. Pages: 7731-7738. Doi: 10.1002/2014GL061707. Published: NOV 16 2014.

Carrer D.; M. Meurey; X. Ceamanos; J.-L. Roujean; J.-C. Calvet and S. Liu: Dynamic mapping of snow-free vegetation and bare soil albedos at global 1 km scale from 10-year analysis of MODIS satellite products. Remote Sensing of Environment. Volume: 140. Pages: 420-432. Doi: 10.1016/j.rse.2013.08.041. Published: JAN 2014.

Castebrunet H.; N.Eckert; G. Giraud; Y. Durand and S. Morin, 2014: Projected changes of snow conditions and avalanche activity in a warming climate: a case study in the French Alps over the 2020–2050 and 2070–2100 periods, Cryosphere. Volume: 8. Issue: 5. Pages: 1673-1697. Doi: 10.5194/tc-8-1673-2014. Published: 2014 .

Cazenave A.; H.-B. Dieng; B. Meyssignac; K. von Schuckmann; B. Decharme; E. Berthier; 2014: The rate of sea-level rise, Nature Climate Change. Volume: 4. Issue: 5. Pages: 358-361. Doi: 10.1038/nclimate2159. Published: MAY 2014.

Ceamanos X., D. Carrer; J.-L. Roujean. An efficient approach to estimate the transmittance and reflectance of a mixture of aerosol components. Atmospheric Research. Volume: 137. Pages: 125-135. Doi: 10.1016/j.atmosres.2013.09.009. Published: FEB 2014.

Ceamanos X.; D. Carrer and J.L. Roujean, 2014: Improved retrieval of direct and diffuse downwelling surface shortwave flux in cloudless atmosphere using dynamic estimates of aerosol content and type: application to the LSA-SAF project, Atmospheric Chemistry and Physics. Volume: 14. Issue: 15. Pages: 8209-8232. Doi: 10.5194/acp-14-8209-2014. Published: 2014.

Chambon P.; S.Q. Zhang; A. Y. Hou; M. Zupanski and S Cheung: Assessing the impact of pre-GPM constellation microwave precipitation radiance data in the Goddard WRF ensemble data assimilation system. Quarterly journal of the Royal Meteorological Society. Volume: 140. Issue: 681. Pages: 1219-1235. Part: B. Doi: 10.1002/qj.2215. Published: APR 2014.

Chambon P.; L.F. Meunier; F. Guillaume; J.M. Piriou; R. Roca; J.F. Mahfouf: Investigating the impact of the water vapour sounding observations from SAPHIR on board Megha-Tropiques into the ARPEGE global model. Quarterly journal of the Royal Meteorological Society. Doi: 10.1002/qj.2478.

Cooper O.R.; D.D. Parrish; J. Ziemke; N.V. Balashov; M. Cupeiro; I.E. Galbally; S. Gilge; L. Horowitz; N.R. Jensen; J.-F. Lamarque; V. Naik; S.J. Oltmans, J. Schwab; D.T. Shindell; A.M. Thompson; V. Thouret, Y. Wang, R.M. Zbinden, 2014: Global distribution and trends of tropospheric ozone : An observation-based review, Elementa: Science of the Anthropocene, 2: 000029. Doi: 10.12952/journal.elementa.000029.

Couvreux F., F. Guichard; A. Gounou; D. Bouniol; P. Peyrillé and M. Köhler, 2014: Modelling of the Thermodynamical Diurnal Cycle in the Lower Atmosphere: A Joint Evaluation of Four Contrasted Regimes in the Tropics Over Land. Boundary-Layer Meteorology. Volume: 150. Issue: 2. Pages: 185-214. Doi: 10.1007/s10546-013-9862-6. Published: FEB 2014.

Danabasoglu G.; S. Yeager; D. Bailey; E. Behrens; M. Bentsen; D. Bi; A. Biastoch; C. Bonning; A. Bozec; V.M. Canuto; C. Cassou; E. Chassignet; A.C. Coward; S. Danilov; N. Diansky; H. Drange; R. Farneti; E. Fernandez; P.G. Fogli; G. Forget; Y. Fujii; S.M. Griffies; A. Gusev; P. Heimbach; A. Howard; T. Jung; M. Kelley; W.G. Large; A. Leboissetier; J. Lu; G. Madec; S. J. Marsland; S. Masina; A. Navarra; A.G. Nurser; A. Pirani; D. Salas y Melia; B.L. Samuels; M. Scheinert; D. Sidorenko; A.-M. Treguier; H. Tsujino; P. Uotila; S. Valcke; A. Voldoire; Q. Wang, 2014: North Atlantic simulations in coordinated ocean-ice reference experiments phase II (CORE-II). Part I : Mean states.Ocean Modelling. Volume: 73. Pages: 76-107. Doi: 10.1016/j.ocemod.2013.10.005. Published: JAN 2014.

De Laa A. T. J.; I. Aben; M. Deeter; P. Nédélec; H. Eskes; J.-L. Attié; P. Ricaud; R. Abida; L. El Amraoui; and J. Landgraf, 2014: Validation of nine-years of MOPITT V5 NIR using MOZAIC/IAGOS measurements: biases and long term stability. Atmospheric Measurement Techniques. Volume: 7. Issue: 11. Pages: 3783-3799. Doi: 10.5194/amtd-7-5251-2014. Published: 2014 .

Déandreis C.; C. Pagé; P. Braconnot; L. Bärring; E. Bucchignani; W. S. de Cerff; R. Hutjes; S. Joussaume; C. Mares; S. Planton and M. Plieger, 2014: Towards a dedicated impact portal to bridge the gap between the impact and climate communities: Lessons from use cases. Climatic Change. Volume: 125. Issue : 3-4. Pages: 333–347. Doi: 10.1007/s10584-014-1139-7, Published: AUG 2014.

Desroziers G.; J-T. Camino and L. Berre: 4DEnVar: link with 4D state formulation of variational assimilation and different possible implementations. Quarterly journal of the Royal Meteorological Society, Volume: 140. Issue: 684. Pages: 2097-2110. Part: A. Doi: 10.1002/qj.2325. Published: OCT 2014.

Di Luca A.; E. Flaounas; P. Drobinski; C. Lebeaupin-Brossier; 2014: The atmospheric component of the Mediterranean Sea water budget in a WRF multi-physics ensemble and observations. Climate Dynamics. Volume: 43. Issue: 9-10. Pages: 2349-2375. Doi: 10.107/s00382-014-2058-z. Published: NOV 2014.

Dietzel M., A. Leis; R. Abdalla; J. Savarino; S. Morin; M.E. Böttcher and S. Köhler: 17O excess traces atmospheric nitrate in paleo-groundwater of the Saharan desert, Biogeosciences. Volume: 11. Issue: 12. Pages: 3149-3161. Doi : 10.5194/bg-11-3149-2014. Published: 2014.

Dione C.; M. Lothon; D. Badiane; B. Campistron; F. Couvreux; F. Guichard and S. M. Salla, 2013: Phenomenology of Sahelian convection observed in Niamey during the early monsoon. Quaterly Journal of the Royal Meteorological Society. Volume: 140. Issue: 679. Pages: 500-516. Part: B. Doi:10.1002/qj.2149. Published: JAN 2014.

Dossmann Y.; A. Paci; F. Auclair; M. Lepilliez; E. Cid : Topographically induced internal solitary waves in a pycnocline: Ultrasonic probes and stereo-correlation measurement, Physics of Fluid. Volume: 26. Issue: 5. Article Number: 056601. Doi: 10.1063/1.4873202. Published: MAY 2014.

Drobinski P.; V. Ducrocq; P. Alpert; E. Anagnostou; K. Béranger; M. Borga; I. Braud; A. Chanzy; S. Davolio; G. Delrieu; C. Estournel; N. Filali Boubrahmi; J. Font; V. Grubisic; S. Gualdi; V. Homar; B. Ivan an-Picek; C. Kottmeier; V. Kotroni; K. Lagouvardos; P. Lionello; M. C. Llasat; W. Ludwig; C. Lutoff; A. Mariotti; E. Richard; R. Romero; R. Rotunno; O. Roussot; I. Ruin; S. Somot; I. Taupier-Letage; J. Tintoré; R. Uijlenhoet; H. Wernli; 2014: HyMeX, A10-year multidisciplinary program on the Mediterranean water cycle, Bulletin of the American Meteorological Society. Volume: 95. Issue: 7. Pages: 1063-+. Doi : 10.1175/BAMS-D-12-00242.1. Published: JUL 2014.

Dubos T. and F. Voitus: A Semi-hydrostatic Theory of Gravity-Dominated Compressible Flow. Journal of the Atmospheric Sciences. Volume: 71. Issue: 12. Pages: 227-244. Doi: 10.1175/JAS-D-14-0080.1. Published: DEC 2014.

Ducrocq V.; I. Braud; S. Davolio; R. Ferretti; C. Flamant; A. Jansà; N. Kalthoff; E. Richard; I. Taupier-Letage; P.-A. Ayral; S. Belamari; A. Berne; M. Borga; B. Boudevillain; O. Bock; J.-L. Boichard; M.-N. Bouin; O. Bousquet; C. Bouvier; J. Chiggiato; D. Cimini; U. Corsmeier; L. Coppola; P. Cocquerez; E. Defer; J. Delanoë; P. Di Girolamo; A. Doerenbecher; P. Drobinski;

Y. Dufournet; N. Fourrié; J.J. Gourley; L. Labatut; D. Lambert; J. Le Coz; F.S. Marzano; G. Molinié; A. Montani; G. Nord; M. Nuret; K. Ramage; B. Rison; O. Roussot; F. Said; A. Schwarzenboeck; P. Testor; J. Van-Baelen; B. Vincendon; M. Aran; J. Tamayo; 2014: HyMeX-SOP1, the field campaign dedicated to heavy precipitation and flash flooding in the northwestern Mediterranean, Bulletin of the American Meteorological Society, Volume: 95, Issue: 7. Pages: 1083-+. Doi: 10.1175/BAMS-D-12-00244.1. Published: JUL 2014.

Dumont M.; E. Brun; G. Picard; M. Michou; Q. Libois; J-R. Petit; M. Geyer; S. Morin and B. Josse, Contribution of light-absorbing impurities in snow to Greenland's darkening since 2009, Nature Geoscience. Volume: 7. Issue: 7. Pages: 509-512. Doi : 10.1038/NGEO2180. Published: JUL 2014.

Dumont M., E. Brun; G. Picard; M. Michou; Q. Libois; J-R. Petit; M. Geyer; S. Morin and B. Josse 2014: Contribution of light-obsorbing impurities in snow to Greenlan's darkening since 2009. Nature Geoscience. Volume: 7. Issue: 7. Pages: 509-512. Doi : 10.1038/NGEO2180. Published: JUL 2014.

Dumont M.; E. Brun; G. Picard; M. Michou; Q. Libois; J.-R. Petit; M. Geyer; S. Morin and B. Josse, 2014: Contribution of light-absorbing impurities in snow Greenland's darkening since 2009. Nature Geoscience. Volume: 7. Issue: 7. Pages: 509-512. Doi: 10.1038/ngeo2180. Published: JUL 2014.

El Amraoui L.; J.-L. Attié; P. Ricaud; W.A. Lahoz; A. Piacentini; V.-H. Peuch; J. X. Warner; R. Abida; L. Barré; J. and R. Zbinden, 2014: Tropospheric CO vertical profiles deduced from total columns using data assimilation: methodology and validation, Atmo-spheric Measurement Techniques. Volume: 7. Issue: 9. Pages: 3035-3057. Doi: 10.5194/amt-7-3035-2014. Published: 2014.

Emili E.; B. Barret; S. Massart; E. Le Flochmoen; A. Piacentini; L. El Amraoui; O. Pannekoucke and D. Cariolle, 2013: Combined assimilation of IASI and MLS observations to constrain tropospheric and stratospheric ozone in a global chemical transport model. Atmospheric Chemistry and Physics. Volume: 14; Issue: 1. Pages: 177-198. Doi : 10.5194/acp-14-177-2014. Published: 2014.

Fischer C., 2014: An overview and illustration of sensitivity of forecasts with respect to initial conditions. TELLUS SERIES A-Dynamic Meteorology and Oceanography. Volume: 66. Article Number: 20496. Doi : 10.3402/tellusa.v66.20496. Published: 2014.

Foret G.; M. Eremenko; J. Cuesta; P. Sellitto; J. Barré; B. Gaubert; A. Coman; G. Dufour; X. Liu; M. Joly; C. Doche and M. Beekmann, 2014: Ozone pollution: What can we see from space? A case study, Journal of Geophysical Research-Atmospheres. Volume: 119. Issue: 13. Article Number: 2013JD021340. Doi: 10.1002/2013JD021340. Published: JUL 16 2014.

François H.; S. Morin; M. Lafaysse and E. George-Marcelpoil, 2014: Crossing numerical simulations of snow conditions with a spatially-resolved socio-economic database of ski resorts : a proof of concept in the French Alps. Cold Regions Science and Technology, Volume: 108, Pages: 98-112, Doi: 10.1016/j.coldregions.2014.08.005. Published: DEC 2014.

Fréville, H., E. Brun, G. Picard, N. Tatarinova, L. Arnaud, C. Lanconelli, C. Reijmer and M. van den Broeke: Using MODIS land surface temperature and the Crocus snow model to understand the warm bias of ERA-Interim reanalyses at the surface in Antartica. Cryosphere. Volume: 8. Issue: 4. Pages: 1361-1373. Doi : 10.5194/tc-8-1361-2014. Published: 2014.

Fuckar N.; D. Volpi; V. Guemas and F. Doblas-Reyes, 2014: A posteriori adjustment of near-term climate predictions: Accounting for the drift dependence on the initial conditions. Geophysical Research Letters. Volume: 41. Issue: 14. Pages: 5200-5207. Doi: 10.1002/2014GL060815. Published: JUL 28 2014.

Gallet J.-C.; F. Domine and M. Dumont, 2014: Measuring the specific surface area of wet snow using 1310 nm reflectance. Cryosphere. Volume: 8. Issue: 4. Pages: 1139-1148. Doi: 10.5194/tc-8-1139-2014. Published: 2014.

Gallet J.-C.; F. Domine; J. Savarino; M. Dumont and E. Brun, 2014: The growth of sublimation crystals and surface hoar on the Antarctic plateau, Cryosphere. Volume: 8. Issue: 4. Pages: 1205-1215. Doi: 10.5194/tc-8-1205-2014. Published: 2014.

Gascon G.; M. Sharp; D. Burgess; P. Bezeau, A. Bush; S. Morin and M. Lafaysse, How well is firn densification represented by a physically-based multilayer model? Model evaluation for the Devon Ice Cap, Nunavut, Canada, Journal of Glaciology. Volume: 60. Issue: 222. Pages: 694-704. Doi: 10.3189/2014JoG13J209. Published: 2014.

Gehlen M.; R. Séférian; D. Jones; T. Roy; R. Roth; . Barry; L. Bopp; S.C. Doney; J.P. Dunne; C. Heinze; F. Joos; J.C. Orr; L. Resplandy; J. Segschneider and J. Tjiputra, 2014 : Projected pH reductions by 2100 might put deep North Atlantic biodiversity at risk. Biogeosciences. Volume: 11. Issue: 23. Pages: 6955-6967. Doi: 10.5194/bg-11-6955-2014. Published: 2014.

Geoffroy O. and D. Saint-Martin, 2014: Pattern decomposition of the transient climate response, Tellus Series A-Dynamic Meteorology and Oceanography. Volume: 66. Article Number: 23393. Doi: 10.3402/tellusa.v66.23393. Published: MAR 2014.

Geoffroy O.; D. Saint-Martin; A. Voldoire; D. Salas y Mélia and S. Sénési, 2014: Adjusted radiative forcing and global radiative feedbacks in CNRM-CM5, a closure of the partial decomposition. Climate Dynamics. Volume: 42. Pages: 1807-1818. Doi: 10.1007/s00382-013-1741-9. Published: APR 2014.

Germe A.; M. Chevallier; D. Salas y Mélia; E. Sanchez-Gomez and C. Cassou, 2014: Interannual predictability of Arctic sea ice in a global climate model: Regional contrasts and temporal evolution. Climate Dynamics. Volume: 43. Issue: 9-10. Pages: 2519-2538. Doi: 10.1007/s00382-014-2071-2. Published: NOV 2014.

Getirana A.; E. Dutra; M. Guimberteau; J. Kam; H. Yi Li; B. Decharme; Z. Zhang; A. Ducharne; A. Boone; G. Balsamo; M. Rodell; A.M. Toure; Y. Xue; C. D. Peters-Lidard; S. V. Kumar; K. Arsenault; G. Drapeau; L. Ruby Leung; J. Ronchail and J. Sheffield; 2014: Water Balance in the Amazon Basin from a Land Surface Model Ensemble. Journal of Hydrometeorology. Vol. 15. Issue 6. p2586-2614. 29p. Doi: 10.1175/JHM-D-14-0068.1. Published: DEC 2014.

Getirana A.C.V.; A. Boone and C. Peugeot, 2014: Evaluating LSM-based water budgets over a West African basin assisted with a river routing scheme, Journal of Hydrometeorology. Volume: 15. Issue: 6. Pages: 2331-2346. Doi: 10.1175/JHM-D-14-0012.1. Published: DEC 2014.

Getirana A. C. V.; E. Dutra; M. Guimberteau; J. Kam; H.-Y. Li; B. Decharme; Z. Zhang; A. Ducharne; A. Boone; G. Balsamo; M. Rodell; A. M. Toure; Y. Xue; C.D. Peters-Lidard; S. V. Kumar; K. Arsenault; G. Drapeau; L. R. Leung; J. Ronchail and J. Sheffield, 2014: Water Balance in the Amazon Basin from a Land Surface Model Ensemble. Journal of Hydro-meteorology, Volume: 15. Issue: 6. Pages: 2586-2614. Doi: 10.1175/JHM-D-14-0068.1. Published: DEC 2014.

Ginot P., M. Dumont; S. Lim; N. Patris; J.-D. Taupin; P. Wagnon; A. Gilbert; Y. Arnaud; A. Marinoni; P. Bonasoni and P. Laj: A 10 year record of black carbon and dust from a Mera Peak ice core (Nepal): variability and potential impact on melting of Himalayan glaciers, Cryosphere. Volume: 8. Issue: 4. Pages: 1479-1496. Doi: 10.5194/tc-8-1479-2014. Published: 2014.

Giordani H. and G. Caniaux, 2014: Lagrangian sources of frontogenesis in the equatorial Atlantic front. Climate Dynamics. Volume : 43. Issue 11, Pages : 3147-3162. Doi: 10.1007/s00382-014-2293-3. Published : DEC 2014.

Griffies S.M.; J. Yin; P.J. Durack; P. Goddard; S.C. Bates; E. Behrens; M. Bentsen; D. Bi; A. Biastoch; C.W. Böning; A. Bozec; E. Chassignet; G. Danabasoglu; S. Danilov, C.M. Domingues; H. Drange; R. Farneti; E. Fernandez; R.J. Greatbatch; D.M. Holland; M. Ilicak; W.G. Large; K. Lorbacher; J. Lu; S.J. Marsland; A. Mishra; A.J.; G. Nurser; D. Salas y Mélia; J.B. Palter; B. L. Samuels; J. Schröter; F.U. Schwarzkopf; D. Sidorenko; A.M. Treguier; Y.-h. Tseng; H. Tsujino; P. Uotila; S. Valcke; A. Voldoire; Q. Wang; M. Winton and X. Zhang, 2014: An assessment of global and regional sea level in a suite of interannual CORE-II simulations. Ocean Modelling. Volume: 78. Pages: 35-89. Doi: 10.1016/j.ocemod.2014.03.004. Published: JUN 2014.

Guemas V.; E. Blanchard-Wrigglesworth; M. Chevallier; J.J. Day, M. Déqué; F. J. Doblas-Reyes; N. Fu kar; A. Germe; E. Hawkins; S. Keeley; T. Koenigk; D. Salas y Mélia; S. Tietsche; 2014: A review on Arctic sea ice predictability and prediction on seasonal-to-decadal timescales. QJRMS. Doi: 10.1002/qj.2401. Published on-line.

Guemas V.; J. García-Serrano; A. Mariotti; F. Doblas-Reyes; L.-P. Caron; 2014: Prospects for decadal climate prediction in the Mediterranean region. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society. Doi: 10.1002/qj.2379. Published on-line.

Guemas V.; L. Auger; F. Doblas-Reyes; 2013: Hypothesis testing for autocorrelated short climate time series. Journal of Applied Meteorology and Climatology. Volume: 53. Issue: 3. Pages: 637-651. Doi: 10.1175/JAMC-D-13-064.1. Published: MAR 2014.

Guemas V.; FJ. Doblas-Reyes; K. Mogensen; Y. Tang, and S. Keeley, 2014: Ensemble of sea ice initial conditions for interannual climate predictions. Climate Dynamics. Volume: 43. Issue: 9-10. Pages: 2813-2829. Doi: 10.1007/s00382-014-2095-7. Published: NOV 2014.

Habets F.; E. Philippe; E. Martin; C. David and F. Leseur, 2014 : Small farm dams: impact on river flows and sustainability in a context of climate change. Hydrology and Earth System Sciences. Volume: 18. Issue: 10. Pages: 4207-4222. Doi: 10.5194/hess-18-4207-2014. Published: 2014.

Hache E.; J.-L. Attié; C. Tourneur; P. Ricaud; L. Coret; W.A. Lahoz; L. El Amraoui; B. Josse; P. Hamer; J. Warner; X. Liu; K. Chance; M. Höpfner; R. Spurr; V. Natraj; S. Kulawik; A. Eldering and J. Orphal, 2014: The added value of a visible channel to a geostationary thermal infrared instrument to monitor ozone for air quality. Atmospheric Measurement Techniques, Volume: 7. Issue: 7. Pages: 2185-2201. Doi: 10.5194/amtd-7-1645-2014. Published: 2014.

Hagenmuller P.; G. Chambon; F. Flin; S. Morin and M. Naaim; Snow as a granular material : assessment of a new grain segmentation algorithm. Granular Matter. Volume: 16. Issue: 4. Pages: 421-432. Doi: 10.1007/s10035-014-0503-7. Published: AUG 2014.

Hagos S.; L. R. Leung; Y. Xue; A. Boone ; F. de Sales; N. Neupane; M. Huang and J.-H. Yoon, 2014: On the Response of the African Monsoon Precipitation to Land Use Change in Regional Model Simulations. Clim. Dyn., (in press). Doi: 10.1007/s00382-014-2092-x

Hally A.; E. Richard; and V. Ducrocq, 2014: An ensemble study of HyMeX IOP6 and IOP7a: sensitivity to physical and initial and boundary condition uncer-

tainties, Natural Hazard and Earth System Sciences. Volume: 1. Issue: 5. Pages: 1071-1084. Doi: 10.5194/nhess-14-1071-2014. Published: 2014.

Hamer P.D.; D.E. Shallcross; A. Yabushita; M. Kawasaki; V. Marécal and C. S. Boxe; 2014: Investigating the photo-oxidative and heterogeneous chemical production of HCHO in the snowpack at the South Pole. Antarctica, Environmental Chemistry. Volume: 11. Issue: 4. Pages: 459-471. Doi: 10.1071/EN13227. Published: 2014.

Hannart A.; A. Ribes and P. Naveau, 2014: Optimal fingerprinting under multiple soures of uncertainty. Geophysical Research Letters. Volume: 41. Issue: 4. Pages: 1261-1268. Doi: 10.1002/2013GL058653 Published: FEB 28 2014.

Hattab T.; C. Albouy C.; F.B.R. Lasram; S. Somot; F. Leloc'h F. and F. Leprieur, 2014: Towards a better understand ding of potential impacts of climate change on marine species distribution : a multiscale modelling approach. Global Ecology and Biogeography. Volume: 23. Issue: 12. Pages: 1417-1429. Doi: 10.1111/geb.12217. Published: DEC 2014.

Herrmann M.; C. Estournel; F. Adloff and F. Diaz, 2014: Impact of climate change on the Northwestern Mediterranean Sea pelagic planktonic ecosystem and associated carbon cycle, Journal of Geophysical Research-Oceans. Volume: 119. Issue: 9. Pages: 5815-5836. Doi: 10.1002/2014JC010016. Published: SEP 2014.

Hidalgo J.; V. Masson and C. Baehr (2014): From daily climatic scenarios to hourly atmospheric forcing fields to force Soil-Vegetation-Atmosphere transfer models. Front. Environ. Sci. 2:40 (2014). Doi: 10.3389/fenvs.2014.00040. Frontiers in Environmental Science Hidalgo J. 2014

Honnert R.; V. Masson: How far can we go with a unidirectional turbulence scheme? Frontiers in Atmospheric Sciences, 28 October 2014. Doi: 10.3389/feart.2014.00027 http://www. frontiersin.org/

Hourdin F.; M. Gueye; B. Diallo; J.-L. Dufresne; L. Menut; B. Marticorena; G. Siour and F. Guichard, 2014 : Parametrization of convective transport in the boundary layer and its impact on the representation of diurnal cycle of wind and dust emissions. Atmos. Chem. Phys. Discuss., 14. 27425-27458. 2014. Doi: 10.5194/acpd-14-27425-2014

Jacob D.; J. Petersen; B. Eggert; A. Alias; O. B. Christensen; L. Bouwer; A. Braun; A. Colette; M. Déqué; G. Georgievski; E. Georgopoulou; A. Gobiet; L. Menut; G. Nikulin; A. Haensler; N. Hempelmann; C. Jones; K. Keuler; S. Kovats; N. Kröner; S. Kotlarski; A. Kriegsmann; E. Martin.; E. van Meijgaard; C. Moseley ; Pfeifer S.; Preuschmann S.; Radtke K.; Rechid D.; M. Rounsevell; P. Samuelsson; S. Somot; J.-F. Soussana; C. Teichmann; R. R Valentini; R. Vautard; B. Weber and P. Yiou, 2013: EURO-CORDEX: New high-resolution climate change projections for European impact research. Regional Environmental Change. Volume: 14. Issue: 2. Special Issue: SI . Pages: 563-578. Doi: 10.1007/s10113-013-0499-2. Published: APR 2014

Joetzer E.; C. Delire; H. Douville; P. Ciais; B. Decharme; R. Fisher; B. Christoffersen; J. C. Calvet; A.C.L. da Costa; L.V. Ferreira and P. Meir: Predicting the response of the Amazon rainforest to persistent drought conditions under current and future climates: a major challenge for global land surface models, Geosci. Model Dev., 7, 2933–2950. Doi: 10.5194/gmd-7-2933-2014, 2014.

Karbou F.; F. Rabier and C. Prigent: The Assimilation of Observations from the Advanced Microwave Sounding Unit over Sea Ice in the French Global Numerical Weather Prediction System. Monthly Weather Review. Volume: 142. Issue: 1. Pages: 125-140. Doi: 10.1175/MWR-D-13-00025.1. Published: JAN 2014142. 125-140.

Klein C.; A. Dabas, 2013: Relationship between optical extinction and liquid water content in fogs. Atmospheric Measurement Techniques. Volume: 7. Issue: 5. Pages: 1277-1287. Doi: 10.5194/amt-7-1277-2014. Published: 2014.

Kotlarski S.; K. Keuler; O. B. Christensen; A. Colette; M. Déqué; A. Gobiet; K. Goergen; D. Jacob; D. Lüthi; E. Van Meijgaard; G. Nikulin; C. Schär; C. Tei-chmann; R. Vautard; K. Warrach-Sagi and V. Wulf-meyer, 2014: Regional climate modeling on European scales: a joint standard evaluation of the EURO-CORDEX RCM ensemble. Geoscientific Model Development. Volume: 7. Issue: 4. Pages: 1297-1333. Doi: 10.5194/gmd-7-1297-2014. Published: 2014.

Lacressonnière G.; V.-H. Peuch; R. Vautard; J. Arteta; M. Déqué; M. Joly; B. Josse; V. Marécal and D. Saint-Martin, 2014: European air quality in the 2030s and 2050s: impacts of global and regional emission trends and of climate change. Atmospheric Environment. Volume: 92. Pages: 348-358. Doi: 10.1016/j.atmosenv.2014.04.033. Published: AUG 2014.

Lafaysse M.; B. Hingray; A. Mezghani; J. Gailhard and L. Terray, 2014: Internal variability and model uncertainty components in future hydrometeorological projections: The Alpine Durance basin, Water Resources Research. Volume: 50. Issue: 4. Pages: 3317-3341. Doi: 10.1002/2013WR014897. Published: APR 2014.

Lamon L.; J. Rizzi; A. Bonaduce; C. Dubois; O. Lazzari; L. Ghenim; S. Gana; S. Somot; L. Li; D. Melaku Kanu; C. Solidoro; N. Pinardi and A. Marcomini, 2013: An ensemble of models for identifying climate change scenarios in the Gulf of Gabes, Tunisia. Regional Envirnmental Change. Volume: 14. Supplement: 1. Pages: S31-S40. Doi: 10.1007/s10113-013-0430-x. Published: FEB 2014.

Lebeaupin Brossier C.; S. Bastin; K. Béranger and P. Drobinski, 2014 (en ligne): Regional mesoscale air-sea coupling impacts and extreme meteorological events role on the Mediterranean Sea water budget, Clim. Dyn. Doi: 10.1007/s00382-014-2252-z.

Lebeaupin Brossier C.; T. Arsouze; K. Béranger; M-N. Bouin; E. Bresson; V. Ducrocq; H. Giordani; M. Nuret; R. Rainaud; I. Taupier-Letage; 2014: Ocean mixed layer responses to intense meteorological events during HyMeX-SOP1 from a high-resolution ocean simulation. Ocean Modelling: 84, 84-103. Doi: 10.1016/j.ocemod.2014.09.009

Legrand R.; Y. Michel: Modelling background error correlations with spatial deformations: a case study.TELLUS SERIES A-Dynamic Meteorology and Oceanography. Volume: 66. Article Number: 23984. Doi: 10.3402/tellusa.v66.23984. Published: 2014.

Lemonsu A.; A.-L Beaulant; S. Somot; V. Masson; 2014 : Evolution of occurrence of heat waves over the Paris basin (France) in the 21st century, Climate Research. Volume: 61. Issue: 1. Pages: 75-91. Doi: 10.3354/cr01235. Published: SEP 2014.

Libois Q.; G. Picard; M. Dumont; L. Arnaud; C. Sergent; E. Pougatch; M. Sudul and D. Vial: Experimental determination of the absorption enhancement parameter of snow. Journal of Glaciology. Volume: 60. Issue: 222. Pages: 714-724. Doi: 10.3189/2014JoG14J015. Published : 2014.

Liu S.; J.-L. Roujean; A. T. Kaptue Tchuente; X. Ceamanos and J.-C. Calvet: A parameterization of SEVIRI and MODIS daily surface albedo with soil moisture: calibration and validation over southwestern France. Remote Sensing of Environment. Volume: 144. Pages: 137-151. Doi: 10.1016/j.rse.2014.01.016. 2014. Published: MAR 25 2014.

Lohou F.; L. Kergoat; F. Guichard; A. Boone; B. Cappelaere; J.-M. Cohard; J. Demarty; S. Galle; C. Peugeot; D. Ramier; C. Taylor and F. Timouk, 2014: Surface response to rain events throughout the West African monsoon. Atmospheric Chemistry and Physics. Volume: 14. Issue: 8. Pages: 3883-3898. Doi: 10.5194/acp-14-3883-2014. Published: 2014.

Lothon M.; F. Lohou; D. Pino; F. Couvreux; E.R. Pardyjak; J. Reuder; J. Vilà-Guerau de Arellano; P. Durand; O. Hartogensis; D. Legain; P. Augustin; B. Gioli; I. Faloona; C. Yagüe; D.C. Alexander; W.M. Angevine; E. Bargain; J. Barrié; E. Bazile; Y. Bezombes; E. Blay-Carreras; A. van de Boer; BJ.L. oichard; A. Bourdon; A. Butet; B. Campistron; O. de Coster; J. Cuxart; A. Dabas; C. Darbieu; K. Deboudt; H. Delbarre, S. Derrien; P. Flament; M. Fourmentin; Garai, A., Gibert, F., Graf, A., Groebner, J., Guichard, F., M.A. Jimenez Cortes; M. Jonassen; A. van den Kroonenberg; D.H. Lenschow; V. Magliulo; S. Martin ; D. Martinez; L. Mastrorillo; A.F. Moene; F. Molinos; E. Moulin; H.P. Pietersen; B. Piguet; E. Pique; C. Román-Cascón; C. Rufin-Soler; F. Saïd; M. Sastre-Marugán; Y. Seity; G.J. Steeneveld; P. Toscano; O. Traullé; D. Tzanos; S. Wacker; N. Wildmann and A. Zaldei: The BLLAST field experiment: Boundary-Layer Late Afternoon and Sunset Turbulence, Atmospheric Chemistry and physics. Volume: 14. Issue: 20. Pages: 10931-10960. Doi: 10.5194/acp-14-10931-2014. Published: 2014.

Ma H.; S. Xie; S. Klein; K. Williams; J. Boyle; S. Bony; H. Douville; S. Fermepin; B. Medeiros; S. Tyteca; M. Watanabe and D. Williamson, 2014: On the correspondence between mean forecast errors and climate errors in CMIP5 models. Journal of Climate. Volume: 27. Issue: 4. Pages: 1781-1798. Doi: 10.1175/JCLI-D-13-00474.1, Published: FEB 2014.

Marquet P.: "On the definition of a moist-air potential vorticity". Quarterly journal of the Royal Meteorological Society. Volume: 140. Issue: 680. Pages: 917-929. Doi : 10.1002/qj.2182. Published: APR 2014.

Martinet P.; L. Lavanant; N. Fourrié; F. Rabier; A. Gambacorta : Evaluation of a revised IASI channel selection for cloudy retrievals with a focus on the Mediterranean basin. Quaterly journal of the Royal Meteorological Society. Volume: 140. Issue: 682. Pages: 1563-1577. Part: A. Doi : 10.1002/qj.2239. Published: JUL 2014.

Martinet P.; N. Fourrié; Y. Bouteloup; E. Bazile and F. Rabier; 2014 : Toward the improvement of short-range forecasts by the analysis of cloud variables from IASI radiances. Atmospheric Sciences Letters. Volume: 15. Issue: 4. Pages: 342-347. Doi: 10.1002/asl2.510. Published: OCT-DEC 2014.

Mechri R.; C. Ottle; O. Pannekoucke; A. Kallel: Genetic particle filter application to land surface temperature downscaling. Geophysical Research Letters. Volume: 119. Issue: 5. Pages: 2131-2146. Doi: 10.1002/2013JD020354. Published: MAR 16 2014.

Ménétier B.; T. Montmerle; L. Berre; Y. Michel: Estimation and diagnosis of heterogeneous flow-dependent background error covariances at convective scale using either large or small ensembles. Quarterly journal of the Royal Meteorological Society. Volume: 140. Issue: 683. Pages: 2050-2061. Part: B. Doi: 10.1002/qj.2267. Published: JUL 2014.

Michel C.; G. Rivière: Sensitivity of the position and variability of the eddy-driven jet to different SST profiles in an aqua-planet general circulation model. Journal of the Atmospheric Sciences. Volume: 71. Issue: 1. Pages: 349-371. Doi: 10.1175/JAS-D-13-074.1. Published: JAN 2014.

Michel Y., 2014: Diagnostics on the cost-function in variational assimilations. Nonlinear Processes in Geophysics. Volume: 21. Issue: 1. Pages: 187-199. Doi: 10.5194/npg-21-187-2014. Published : 2014.

Naaim-Bouvet F.; H. Bellot; K. Nishimura; C. Genthon; C. Palerme; G. Guyomarc'h and V. Vionnet,

2014: Detection of snowfall occurrence during blowing snow events using photoelectric sensors. Cold Regions Science and Technology. Volume: 106. Pages: 11-21. Doi: 10.1016/j.coldregions.2014.05.005. Published: OCT-NOV 2014.

Nabat P.; S. Somot; M. Mallet; A. Sanchez-Lorenzo and M. Wild, 2014: Contribution of anthropogenic sulfate aerosols to the changing Euro-Mediterranean climate since 1980. Geoscience Research Letters. Volume: 41. Issue: 15. Pages: 5605-5611. Doi: 10.1002/2014GL060798. Published: AUG 16 2014.

Nabat P.; S. Somot; M. Mallet; F. Sevault; M. Chiacchio and M. Wild, 2014: Direct and semi-direct aerosol radiative effect on the Mediterranean climate variability using a coupled regional climate system model. Climate Dynamics. Doi: 10.1007/s00382-014-2205-6. Published on-line.

Pannekoucke O., L. Raynaud and M. Farge: A wavelet-based filtering of ensemble background-error variances. Quarterly journal of the Royal Meteorological Society. Volume: 140. Issue: 678. Pages: 316-327. Part: A. Doi: 10.1002/qj.2133. Published: JAN 2014.

Pannekoucke O.; E. Emili and O. Thual. Modelization of local length-scale dynamics and isotropization deformations. Quarterly journal of the Royal Meteorological Society. Volume: 140. Issue: 681. Pages: 1387-1398. Part: B. Doi: 10.1002/qj.2204. Published: APR 2014.

Parard G.; J. Boutin; Y. Cuypers; P. Bourruet-Aubertot; and G. Caniaux, 2014: On the physical and biogeochemical processes driving the high frequency variability of CO2 fugacity at 6ºS, 10ºW: potential role of internal waves. Journal of Geophysical Research - Ocean. Doi:10.1002/2014JC009965. Published online.

Parrens M.; J.-C. Calvet; P. de Rosnay and B. Decharme: Benchmarking of L-band soil microwave emission models. Remote Sensing Environment. Volume: 140. Pages: 407-419. Doi: 10.1016/j.rse.2013.09.017. Published: JAN 2014.

Parrens M.; J.-F. Mahfouf; A. Barbu and J.-C. Calvet: Assimilation of surface soil moisture into a multilayer soil model: design and evaluation at local scale. Hydrology and Earth Systems Sciences. Volume: 18. Issue: 2. Pages: 673-689. Doi: 10.5194/hess-18-673-2014. Published: 2014.

Pedinotti V.; A. Boone; S. Ricci; S. Biancamaria and N. Mognard, 2014: Assimilation of satellite data to optimize large scale hydrological model parameters : A case study for the SWOT mission. Hydrology and Earth System Sciences. Volume: 18. Issue: 11. Pages: 4485-4507. Doi: 10.5194/hess-18-4485-20. Published: 2014.

Phan X.V.; L. Ferro-Famil; M. Gay; Y. Durand; M. Dumont; S. Morin; S. Allain; G. D'Urso and A. Girard, 2014: 1D-Var multilayer assimilation of X-band SAR data into a detailed snowpack model. Cryosphere. Volume: 8. Issue: 5. Pages: 1975-1987. Doi: 10.5194/tc-8-1975-2014. Published : 2014.

Piazza M.; J. Boé; L. Terray; C. Pagé; E. Sanchez-Gomez and M. Déqué, 2014: Projected 21st century snowfall changes over the French Alps and related uncertainties. Climatic Change. Volume: 122. Issue: 4. Pages: 583-594. Doi: 10.1007/s10584-013-1017-8. Published: FEB 2014.

Pigeon G.; K. Zibouche; B. Bueno; J. Le Bras; V. Masson, 2014: Evaluation of building energy simulations with the TEB model against EnergyPlus for a set of representative buildings in Paris. Energy and Buildings. Volume: 76. Pages: 1-14. Doi: 10.1016/j.enbuild.2013.10.038. Published: JUN 2014.

Poan E.D.; J.-P. Lafore; R. Roehrig and F. Couvreux, 2014: West African Monsoon Intraseasonal Variability: Internal processes within African Easterly Waves. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society. Doi: 10.1002/qj2420.

Praga A.; Cariolle; D. and L. Giraud: Pangolin v1.0, a conservative 2-D transport model for large scale parallel calculation, Geosci. Model Dev. Discuss., 7, 4527-4576. Doi: 10.5194/gmdd-7-4527-2014, 2014.

Rainaud R.; C. Lebeaupin Brossier; V. Ducrocq; H. Giordani; M. Nuret; N. Fourrié; M.-N. Bouin; I. Taupier-Letage and D. Legain: Characterisation of air-sea exchanges over the Western Mediterranean Sea during the HyMeX SOP1 using the AROME-WMED model. Quarterly journal of the Royal Meteorological Society. Doi: 10.1002/qj.2480 on line.

Randrianasolo A.; G. Thirel; M. Ramos; E. Martin; E. 2014: Impact of streamflow data assimilation and length of the verification period on the quality of short-term ensemble hydrologic forecasts Journal of Hydrology. 2014. 519. Part D, 2676-2691.

Raynaud L.; O. Pannekoucke; P. Arbogast and Bouttier F., 2014: Application of a Bayesian weighting for short-range lagged ensemble forecasting at the convective scale. Quarterly journal of the Royal Meteorological Society. Doi: 10.1002/qj.2366.

Réchou A.; T. Narayana Rao; O. Bousquet; M. Plu; and R. Decoupes: Properties of rainfall in a tropical volcanic island deduced from UHF wind profiler measurements. Atmospheric Measurement Techniques. Volume: 7. Issue: 2. Pages: 409-418. Doi: 10.5194/amt-7-409-2014. Published: 2014.

Ricaud P.; F. Carminati; Y. Courcoux; A. Pellegrini; J.-L. Attié; L. El Amraoui; R. Abida; C. Genthon; T. August and J. Warner, 2014: Statistical Analyses and Correlation between Tropospheric Temperature and Humidity at Dome C, Antarctica. Antarctic Science. Volume: 26. Issue: 3. Pages: 290-308. Doi: 10.1017/S0954102013000564. Published: JUN 2014.

Ricaud P.; B. Si ; L. El Amraoui; J.-L. Attié; P. Huszar; S. Szopa; J. Parmentier; N. Jaidan; M. Michou; R. Abida; R. Zbinden; F. Carminati; D. Hauglustaine; T. August; J. Warner; R. Imasu; N. Saitoh and V.-H. Peuch, 2014: Variability of tropospheric methane over the Mediterranean Basin inferred from satellite and model data. Atmospheric Chemistry and Physics. Volume: 14. Issue: 20. Pages: 11427-11446. Doi: 10.5194/acp-14-11427-2014. Published: 2014.

Rivière G.; P. Arbogast et A. Joly: Eddy kinetic-energy redistribution within idealized extratropical cyclones using a two-layer quasi-geostrophic model. Quarterly journal of the Royal Meteorological Society. Doi: 10.1002/qj.2350.

Rivière G.; P. Arbogast and A. Joly: Eddy kinetic energy redistribution within wind-storms Klaus and Friedhelm. Quarterly journal of the Royal Meteorological Society. Doi: 10.1002/qj.2412

Roca R.; J. Aublanc; P. Chambon; T. Fiolleau; N. Viltard: Robust Observational Quantification of the Contribution of Mesoscale Convective Systems to Rainfall in the Tropics. Journal of Climate. Volume: 27. Issue: 13. Pages: 4952-4958. Doi: 10.1175/JCLI-D-13-00628.1. Published: JUL 1 2014.

Rochetin N.; F. Couvreux; J-Y Grandpeix and C. Rio, 2014: Deep Convection Triggering by Boundary Layer Thermals. Part I: LES Analysis and Stochastic Triggering Formulation. Journal of the Atmospheric Sciences. Volume: 71. Issue: 2. Pages: 496-514. Doi: 10.1175/JAS-D-12-0336.1. Published: FEB 2014.

Rochetin N.; J-Y Grandpeix; C. Rio and F. Couvreux, 2014: Deep Convection Triggering by Boundary Layer Thermals. Part II: Stochastic Triggering Parameterization for the LMDZ GCM. Journal of the Atmospheric Sciences. Volume: 71. Issue: 2. Pages: 515-538. Doi: 10.1175/JAS-D-12-0337.1. Published: FEB 2014.

Roudier P.; B. Muller; P. d'Aquino; C. Roncoli; M.A. Soumaré; L. Batté; B. Sultan; 2014: The Role of Climate Forecasts in Smallholder Agriculture: lessons from participatory research in two communities in Senegal. Climate Risk Management. Doi: 10.1016/j.crm.2014.02.001. Published on-line.

Salinger M.J.; S. McGree; F. Beucher; S.B. Power; F. Delage: A new index for variations in the position of the south pacific convergence. Climate Dynamics. Volume: 43. Issue: 3-4. Pages: 881-892. Doi: 10.1007/ s00382-013-2035-y. Published: AUG 2014.

Schneider S.; Y. Wang; W. Wagner & J-F Mahfouf: Impact of ASCAT soil moisture assimilation on regional precipitation forecasts:a case study for Austria. Monthly Weather Review. Volume: 142. Issue: 4. Pages: 1525-1541. Doi: 10.1175/MWR-D-12-00311.1. Published: APR 2014.

Schwinger J.; J.F. Tjiputra; C. Heinze; L. Bopp; J.R. Christian; M. Gehlen; T. Ilyina; C.D. Jones; D. Salas-Mélia; J. Segschneider; R. Séférian; I. Totterdell, 2014: Non-linearity of ocean carbon cycle feedbacks in CMIP5 earth system models. Journal of Climate. Volume: 27. Issue: 11. Pages: 3869-3888. Doi: 10.1175/JCLI-D-13-00452.1. Published: JUN 1 2014.

Séférian R.; A. Ribes and L. Bopp, 2014: Detecting the anthropogenic influences on recent changes in ocean carbon uptake. Geophysical Research Letters. Volume: 41. Issue: 16. Pages: 5968-5977. Doi: 10.1002/2014GL061223. Published: AUG 28 2014.

Servain J.; G. Caniaux; Y.K. Kouadio; M.J. McPhaden; and M. Araujo, 2014: Recent climatic trends in the tropical Atlantic: a role for ocean dynamics? Climate Dynamics. Volume: 43. Issue: 11. Special Issue: SI. Pages: 3071-3089. Doi: 10.1007/s00382-014-2168-7. Published: DEC 2014.

Sevault F.; S. Somot; A. Alias; C. Dubois; C. Lebeaupin-Brossier; P. Nabat; F. Adloff; M. Déqué and B. Decharme, 2014: A fully coupled Mediterranean regional climate system model: design and evaluation of the ocean component for the 1980-2012 period. Tellus Series A-Dynamic Meteorology and Oceanography. Volume: 66. Article Number: 23967. Doi: 10.3402/tellusa.v66.23967. Published: 2014.

Sic B.; L. El Amraoui; V. Marécal; B. Josse; J. Arteta; J. Guth; M. Joly and P. Hamer, 2014: Primary aerosols in the CTM MOCAGE: modelling and evaluation of different parametrizations. Geoscientific Model Development Discussions. Volume: 7. Pages: 2745–2796. Doi: 10.5194/gmdd-7-2745-2014.

Somot S.; Li; D. Melaku Kanu; C. Solidoro; N. Pinardi and A. Marcomini; 2013: An ensemble of models for identifying climate change scenarios in the Gulf of Gabes. Tunisia. Regional Environmental Change. Doi: 10.1007/s10113-013-0430-x. Pubished on-line.

Steen-Larsen H.C.; V. Masson-Delmotte; M. Hirabayashi; R. Winkler; K. Satow; F. Prié; N. Bayou; E. Brun; K.M. Cuffey; D. Dahl-Jensen; M. Dumont; M. Guillevic; J. Kipfstuhl; A. Landais; T. Popp; C. Risi; K. Steffen; B. Stenni and A. Sveinbjörnsdottír, 2014: What controls the isotopic composition of Greenland surface snow?. Climate of the past. Volume: 10. Issue: 1. Pages: 377-392. Doi: 10.5194/cp-10-377-2014. Published: 2014.

Stéfanon M.; P. Drobinski; F. D'Andrea; C. Lebeaupin Brossier; S. Bastin, 2014: Soil moisture-temperature feedbacks during heat waves over Western Europe. Climate Dynamics. Volume: 42. Issue: 5-6. Pages: 1309-1324. Doi:10.1007/s00382-013-1794-9. Published: MAR 2014.

Szczypta C.; J.-C. Calvet; F. Maignan; W. Dorigo; F. Baret and P. Ciais, 2014: Suitability of modelled and remotely sensed essential climate variables for monitoring Euro-Mediterranean droughts. Geoscientific

Model Development. Volume: 7. Issue: 3. Pages: 931-946. Doi: 10.5194/gmd-7-931-2014.Published: 2014.

Thirel G.; A. Andréassian; C. Perrin; J.-N. Audouy; L. Berthet; P. Edwards; N. Folton; C. Furusho; A. Kuentz; J. Lerat; G. Lindstrom; E. Martin; T. Mathevet; R. Merz; J. Parajka; D. Ruelland; J. Vaze, 2014: Hydrology under change: an evaluation protocol to investigate how hydrological models deal with changing catchments. Hydrological Sciences Journal. http://dx.doi.org/10.1080/02626667.2014.967248.

Tietsche S.; J.J. Day; V. Guemas; W.J. Hurlin; S.P.E. Keeley; D. Matei; R. Msadek; M. Collins and E. Hawkins, 2014: Seasonal to interannual Arctic sea-ice predictability in current GCMs Geophysical Research Letters. Volume: 41. Issue: 3. Pages: 1035-1043. Doi :10.1002/2013GL058755. Published: FEB 16 2014.

Vergnes J.-P.; B. Decharme and F. Habets, 2014: Introduction of groundwater capillary rises using subgrid spatial variability of topography into the ISBA land surface model. Journal of Geophysical Research - Atmospheres. Volume: 119. Issue: 19. Pages: 11065-11086. Doi: 10.1002/2014JD021573. Published: OCT 16 2014.

Vionnet V.; S. Bélair; C. Girard and A. Plante, 2014: Wintertime sub-kilometer numerical forecasts of near-surface variables in the Canadian Rocky Mountains. American Meteorological Society/ Monthly Weather Review. Doi: http://dx.doi.org/ 10,1175/MWR-D-14-00128.1.

Vionnet V.; E.Martin; V. Masson; G. Guyomarc'h; F. Naaim-Bouvet; A. Prokop; Y. Durand and C. Lac, 2014: Simulation of wind-induced snow transport and sublimation in alpine terrain using a fully coupled snowpack/atmosphere model. Cryosphere. Volume: 8. Issue: 2. Pages: 395-415. Doi: 10.5194/ tc-8-395-2014. Published: 2014.

Voldoire A.; M. Claudon; G. Caniaux; H. Giordani and R. Roehrig, 2014: Are atmospheric biases responsible for the tropical Atlantic SST biases in the CNRM-CM5 coupled model?. Climate Dynamics. Volume: 43. Issue: 11. Special Issue: SI. Pages: 2963-2984. Doi:10.1007/s00382-013-2036-x. Published: DEC 2014.

Wagner W.; L. Brocca; V. Naeimi; R. Reichle; C. Draper; R. de Jeu; D. Ryu; C.-H. Su; A. Western; J.-C. Calvet; Y. H. Kerr; D. J. Leroux; M. Drusch; T. J. Jackson; S. Hahn; W. Dorigo; C. Paulik; "Clarifications on the "Comparison between SMOS, VUA, ASCAT, and ECMWF soil moisture products over four watersheds in U.S". IEEE TRANSACTIONS ON GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING. Volume: 52. Issue: 3. Pages: 1901-1906. Doi: 10.1109/TGRS.2013.2282172. Published: MAR 2014.

Wang C.; C. Baehr; Z. Lai; Y. Gao; S. Lek; X. Li, 2014: Exploring temporal trend of morphological variability of a dominant diatom in response to environmental factors in a large subtropical river. Ecological Informatics (2014). Doi: 10.1016/ j.ecoinf.2014.11.002. Ecological Informatics Wang C. 2014

Wang X.; D. Coeurjolly and F. Flin, 2014: Digital flow for shape decomposition: application to 3-D microtomographic images of snow. Pattern Recognition Letters. Volume: 45. Pages: 181-188. Doi: 10.1016/ j.patrec.2014.03.005. Published: AUG 1 2014.

Warner J.; R. Yang; Z. Wei; F. Carminati; A. Tangborn; Z. Sun; W. Lahoz; J.-L. Attié; L. El Amraoui and B. Duncan, 2014: Global carbon monoxide products from combined AIRS, TES and MLS measurements on A-train satellites. Atmospheric Chemistry and Physics. Volume : 14. Issue : 1. Pages : 103-114. Doi: 10.5194/acp-14-103-2014. Published: 2014.

Wattrelot E.; O. Caumont; J.-F. Mahfouf, 2014: Operational implementation of the 1D+3D-Var assimilation method of radar reflectivity data in the AROME model. Monthly Weather Review. Volume: 142. Issue: 5. Pages: 1852-1873. Doi: 10.1175/ MWR-D-13-00230.1. Published: MAY 2014.

Webb M.J.; A.P. Lock; A. Bodas-Salcedo; S. Bony; J. N. S. Colen; T. Koshiro; H. Kawai; C. Lacagnina; F. M. Selten; R. Roehrig and B. Stevens, 2014: The diurnal cycle of cloud feedback in climate models. Climate Dynamics. Doi: 10.1007/s00382-014-2234-1. Publi-shed on-line.

Wright P.; M. Bergin; J. Dibb; B. Lefer; F. Domine; T. Carman; C. Carmagnola; M. Dumont; C. Schaaf; Z. Wang and Z. Courville, 2014: Comparing MODIS daily snow albedo to spectral albedo field measurements in Central Greenland. Remote Sensing of Environment. Volume: 140. Pages: 118-129. Doi: 10.1016/j.rse.2013.08.044. Published: JAN 2014.

Xu H.; X. Ceamanos; J.L. Roujean; D. Carrer and Y. Xue, 2014: Can satellite-derived aerosol optical depth quantify the surface aerosol radiative forcing?. Atmospheric Research. Volume: 150. Pages: 151-167. Doi: 10.1016/j.atmosres.2014.07.008. Published: DEC 2014.

Yano J-I; M. Vlad; S-H Derbyshire; J-F Geleyn and K. Kober, 2014: Generalization, Consistency, and Unification in the Parameterization Problem. Bulletin of the American Meteorological Society. Volume: 95. Issue: 4. Pages: 619-622. Doi: 10.1175/ BAMS-D-13-00123.1. Published: APR 2014.

Yano J-I; J-F. Geleyn; M. Köller; D. Mironov; J. Quaas; P.M.M. Soares; V.T.J. Phillips; R.S. Plant; A. Deluca; P. Marquet; L. Stulic and Z. Fuchs: Basic Concepts for Convection Parameterization in Weather Forecast and Climate Models: COST Action ES0905 Final Report. Atmosphere, 6, 88-147. Doi:10.3390/ atmos6010088.

Yiou P. and J. Cattiaux, 2014: Contribution of atmospheric circulation to the wet South European winter of 2013, in « Explaining Extreme Events of 2013 from a Climate Perspective ». Bulletin of the American Meteorological Society. Volume: 95. Issue: 9. Supplement: S. Pages: S66-S69. Doi: 10.1175/ 1520-0477-95.9.S1.1. Published: SEP 2014.

Yu N.; C. Barthe and M. Plu, 2014: Evaluating intense precipitation in high-resolution numerical model over a tropical island : impact of model horizontal resolution, Nat. Hazards Earth System Science Discuss., Volume : 2. Pages : 999-1032. Doi: 10.5194/nhessd-2-999-2014.

Autres publications scientifiques dans des revues à comité de lecture

Hidalgo J.; V. Masson and C. Baehr, 2014: From daily climatic scenarios to hourly atmospheric forcing fields to force Soil-Vegetation-Atmosphere transfer models. Front. Environ. Sci. Volume 2(40). Doi: 10.3389/fenvs.2014.0004.

Honnert R and V. Masson, 2014: What is the smallest physically acceptable scale for 1D turbulence schemes?. Front. Earth Sci. 2(27). Doi: 10.3389/ feart.2014.00027.

Lac C., 2014 : Peut-on prévoir la grêle ? La Météorologie, 87, 34-37. Doi : 10.4267/2042/54334.

Masson V.; M. Bonhomme; J. Salagnac; X. Briottet and Lemonsu A (2014). Solar Panels reduce both global warming and Urban Heat Island. Front. Environ. Sci. 2:14. Doi: 10.3389/fenvs.2014.00014.

Masson V.; C. Marchadier; L. Adolphe; R. Aguejdad; P. Avner; M. Bonhomme; G. Bretagne; X. Briottet; B. Bueno; C. de Munck; O. Doukari; S. Hallegatte; J. Hidalgo; T. Houet; J. Le Bras; A. Lemonsu; N. Long; M.-P. Moine; T. Morel; L. Nolorgues; G. Pigeon; J.-L. Salagnac; K. Zibouche, 2014: Adapting cities to climate change : a systemic modelling approach. Urban Climate. Volume: 10. Pages: 407-429. Doi: 10.1016/ j.uclim.2014.03.004.

Ricaud P.: Variabilités de la vapeur d'eau et de la température troposphérique mesurées par le radiomètre micro-onde HAMSTRAD au Dôme C, Antarctique. Partie I : Instrument et Validation, La Météorologie, 2014, N° 84 ; p. 15-28.

Seneviratne S.; ..., H. Douville, et al., 2014: Land processes, forcings, and feedbacks in climate change simulations: The CMIP6 LandMIPs. GEWEX News, 24, 4, 6-10.

Contributions à des ouvrages ou à des rapports

Kovats R.; R. Valentini; L. Bouwer; E. Georgopoulou; JD. acob; E. Martin; M. Rounsevell & J.-F. Soussana; V. Barros; C. Field; D. Dokken; M. Mastrandrea; K. Mach; T. Bilir; M. Chatterjee; K. Ebi; Y. Estrada; R. Genova; B. Girma; E. Kissel; A. Levy; S. Mac Cracken; P. Mastrandrea & L.L., W. (Eds.) Europe Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2014, 1267-1326.

Pailleux J.; J-F. Geleyn; M. Hamrud; P. Courtier; J-N. Thépaut; F. Rabier; E. Andersson; D. Burridge; A. Simmons; D. Salmond; R. El Khatib; C. Fischer, 2014: "Twenty-five years of cooperation around IFS-ARPEGE", ECMWF, 141, 22-30.

Publications 2014 dans des revues à comité de lecture hors CNRM

Beck J.; M. Nuret and O. Bousquet, 2014: Model Wind Field Forecast Verification Using Multiple-Doppler Syntheses from a National Radar Network. Wea. Forecasting, 29, 331-348. Doi: 10.1175/WAF-D-13-00068.1.

Bousquet O. and P. Tabary, 2014: Development of a Nationwide, Real-Time, 3-D Wind and Reflectivity Radar Composite in France. Q.J.R. Meteorol. Soc., 140, 611–625. Doi: 10.1002/qj.2163.

Brousseau P.; G. Desroziers; F. Bouttier and B. Chapnik 2014: A posteriori diagnostics of the impact of observations on the AROME-France convective-scale data assimilation system. Q. J. R. Meteorol. Soc., 140: 982–994. Doi: 10.1002/qj.2179.

Canal N.; J.C. Calvet; B. Decharme; D. Carrer; S. Lafont and G. Pigeon, 2014: Evaluation of root water uptake in the ISBA-A-gs land surface model using agricultural yield statistics over France. Hydrol. Earth Syst. Sci., 18, 4979– 4999. Doi: 10.5194/hess-18-4979-2014.

Canellas C.; A.L. Gibelin; P. Lassègues; M. Kerdoncuff; P. Dandin et P. Simon, 2014 : Les normales climatiques spatialisées AURELHY 1981-2010 : températures et précipitations. La Météorologie, 85, 47-55. Doi: 10.4267/2042/53750.

Cantet P.; M. Déqué; P. Palany and J.L. Maridet, 2014: The importance of using a high-resolution model to study the climate change on small islands : the Lesser Antilles case. Tellus A, 66, 24065. Doi: 10.3402/tellusa.v66.24065.

Chane Ming F.; C. Ibrahim; C. Barthe; S. Jolivet; P. Keckhut; Y.A. Liou and Y. Kuleshov, 2014: Observation and a numerical study of gravity waves during tropical cyclone Ivan (2008). Atmos. Chem. Phys., 14, 641-658. Doi: 10.5194/acp-14-641-2014.

Ducrocq V.; I. Braud; S. Davolio; R. Ferretti; C. Flamant; A. Jansa; N. Kalthoff; E. Richard; I. Taupier-Letage; P.A. Ayral; S. Belamari; A. Berne; M. Borga; B. Boudevillain; O. Bock; J.L. Boichard; M.N. Bouin; O. Bousquet; C. Bouvier; J. Chiggiato; D. Cimini; U. Cor-smeier; L. Coppola; P. Cocquerez; E. Defer; J. Delanoë; P. di Girolamo; A. Doerenbecher; P. Drobinski; Y. Dufournet; N. Fourrié; J.J. Gourley; L. Labatut; D. Lam- bert; J. Le Coz; F.S. Marzano; G. Molinié; A. Montani; G. Nord; M. Nuret; K. Ramage; W. Rison; O. Roussot; F. Said; A. Schwarzenboeck; P. Testor; J. van Baelen; B. Vincendon; M. Aran and J. Tamayo, 2014: HyMeX-SOP1 : The Field Campaign Dedicated to Heavy Precipitation and Flash Flooding in the Northwestern Mediterranean. Bull. Amer. Meteor. Soc., 95, 1083–1100. Doi: 10.1175/BAMS-D-12-00244.1.

Genty D.; G. Hoffmann; P.A. Danis; O. Mestre; F. Bourges; K. Wainer; M. Massault; S. Van Exter; E. Régnier; P. Orengo; S. Falourd; B. Minster, 2014: Rainfall and cave water isotopic relationships in two South-France sites. Geochimica et Cosmochimica Acta, 131, 323–343.

Gibelin A.L.; B. Dubuisson; L. Corre; N. Deaux; S. Jourdain; L. Laval; J.M. Piquemal; O. Mestre; D. Dennetière; S. Desmidt et A. Tamburini, 2014: Evolution de la température en France depuis les années 1950 : Constitution d'un nouveau jeu de séries homogénéisées de référence. La Météorologie, 87, 45-53. Doi: 10.4267/2042/54336.

Goutx D., F. Baraer; A. Roche and G. Jan, 2014: Ces tempêtes extrêmes que l'histoire ne nous a pas encore dévoilées. La Houille Blanche, 2, 2014, 27-33. doi:10.1051/lhb/2014013.

Hagelin S.; L. Auger; P. Brovelli and O. Dupont: Nowcasting with the AROME model: First results from the high-resolution AROME Airport. Wea. Forecasting, 29, 773-787. Doi: 10.1175/WAF-D-13-00083.1.

Hamann U.; A. Walther; B. Baum; R. Bennartz; L. Bugliaro; M. Derrien; P.N. Francis; A. Heidinger, S. Joro, A. Kniffka, H. Le Gléau, M. Lockhoff, H.-J. Lutz, J.F. Meirink; P. Minnis; R. Palikonda; R. Roebeling; A. Thoss; S. Platnick; P. Watts and G. Wind, 2014: Remote sensing of cloud top pressure/height from SEVIRI: analysis of ten current retrieval algorithmss. Atmos. Meas. Tech., 7, 2839-2867. Doi:10.5194/amt-7-2839-2014.

Hannart A.; O. Mestre and P. Naveau, 2014: An automatized homogenization procedure via pairwise comparisons with application to Argentinean temperature series. Int. J. Climatol., 34, 3528-3545. Doi: 10.1002/joc.3925.

Harrison D.; S. Georgiou; N. Gaussiat and A. Curtis, 2014: Long-term diagnostics of precipitation estimates and the development of radar hardware monitoring within a radar product data quality management system. Hydrological Sciences Journal, 59 (7), 1–16.

Labuhn I.; V. Daux; M. Pierre; M. Stievenard; O. Girardclos; A. Féron; D. Genty; V. Masson-Delmotte; O. Mestre, 2014: Tree age, site and climate controls on tree ring cellulose 18O: A case study on oak trees from south-western France. Dendrochronologia. Doi: 10.1016/j.dendro.2013.11.001.

Lang M.; P. Arnaud; J. Carreau; N. Deaux; L. Dezileau; F. Garavaglia; A. Latapie; L. Neppel; E. Paquet; B. Renard et al. : Résultats du projet ExtraFlo (ANR 2009-2013) sur l'estimation des pluies et crues extrêmes. La Houille Blanche, n°2, 2014, 5-13. Doi: 10.1051/lhb/2014010.

Martinet P.; L. Lavanant; N. Fourrié; F. Rabier and A. Gambacorta, 2014: Evaluation of a revised IASI channel selection for cloudy retrievals with a focus on the Mediterranean basin. Q.J.R. Meteorol. Soc., 140, 1563-1577. Doi: 10.1002/qj.2239.

Neppel L.; P. Arnaud; F. Borchi; J. Carreau; F. Garavaglia; M. Lang; E. Paquet; B. Renard; J.M. Soubeyroux et J.M. Veysseire : Résultats du projet Extraflo sur la comparaison des méthodes d'estimation des pluies extrêmes en France. La Houille Blanche, n°2, 2014, 14-19. Doi: 10.1051/ lhb/2014011.

Nicolle P.; R. Pushpalatha; C. Perrin; D. François; D. Thiéry; T. Mathevet; M. Le Lay; F. Besson; J.M. Soubeyroux; C. Viel; F. Regimbeau; V. Andréassian; P. Maugis; B. Augeard and E. Morice, 2014: Benchmarking hydrological models for low-flow simulation and forecasting on French catchments. Hydrol. Earth Syst. Sci., 18, 2829-2857. Doi: 10.5194/hess-18-2829-2014.

Réchou A., T. Narayana Rao; O. Bousquet; M. Plu and R. Decoupes, 2014: Properties of rainfall in a tropical volcanic island deduced from UHF wind profiler measurements. Atmos. Meas. Tech., 7, 409-418. Doi: 10.5194/amt-7-409-2014.

Réchou A.; Kirkwood S.; Arnault J.; Dalin P., 2014: Short vertical-wavelength inertia-gravity waves generated by a jet-front system at Arctic latitudes - VHF radar, radiosondes and numerical modeling. Atmos. Chem. Phys., 14, 6785-6799. Doi: 10.5194/acp-14-6785-2014.

Sèze G.; J. Pelon; M. Derrien; H. Le Gléau and B. Six, 2014 : Evaluation against CALIPSO lidar observations of the multi-geostationary cloud cover and type dataset assembled in the framework of the Megha-Tropiques mission. Q.J.R. Meteorol. Soc. Doi: 10.1002/qj.2392.

Stickler A.; S. Brönnimann; S. Jourdain; E. Roucaute; A. Sterin; D. Nikolaev; M. A. Valente; R. Wartenburger; H. Hersbach; L. Ramella-Pralungo and D. Dee, 2014: Description of the ERA-CLIM historical upper-air data. Earth Syst. Sci. Data, 6, 29-48. Doi: 10.5194/essd-6-29-20142.

Stickler A.; S. Brönnimann; M.A. Valente; J. Bethke; A. Sterin; S. Jourdain; E. Roucaute; M.V. Vasquez; D.A. Reyes; R. Allan and D. Dee, 2014: ERA-CLIM: Historical Surface and Upper-Air Data for Future Reanalyses. Bull. Amer. Meteor. Soc., 95, 1419–1430. Doi: 10.1175/BAMS-D-13-00147.1.

Vidot J. and É Borbás, 2014: Land surface VIS/NIR BRDF atlas for RTTOV-11: model and validation against SEVIRI land SAF albedo product. Q.J.R. Meteorol. Soc., 140: 2186–2196. Doi: 10.1002/qj.2288.

Yiou P.; M. Boichu; R. Vautard; M. Vrac; S. Jourdain; E. Garnier; F. Fluteau and L. Menut, 2014: Ensemble meteorological reconstruction using circulation analogues of 1781–1785. Clim. Past, 10, 797-809, 2014. Doi: 10.5194/cp-10-797-2014.

Zamo M.; O. Mestre; P. Arbogast; O. Pannekoucke; 2014: A benchmark of statistical regression methods for short-term forecasting of photovoltaic electricity production. Part I: deterministic forecast of hourly production. Solar Energy, 105, 792-803.

Zamo M.; O. Mestre; P. Arbogast; O. Pannekoucke; 2014: A benchmark of statistical regression methods for short-term forecasting of photovoltaic electricity production. Part II: probabilistic forecast of daily production. Solar Energy, 105, 804–816.

Thèses soutenues en 2014

Calonne N.; 2014: "Physique des métamorphoses de la neige sèche : de la microstructure aux propriétés macroscopiques" le 14 novembre 2014.

Canal N., 2014 : "Application à l'agriculture de la prévision saisonnière et évaluation à l'échelle de la France" le 30 septembre 2014.

Carminati F., 2014 : "Étude de la variabilité de la vapeur d'eau dans la haute troposphère-basse stratosphère tropicale et du monoxyde de carbone troposphérique à partir d'observations spatiales" le vendredi 14 novembre 2014 à 14h en salle Joël Noilhan.

Drouard M., 2014 : "Influence de l'écoulement atmosphérique du pacifique nord sur l'oscillation nord-atlantique" le jeudi 30 octobre 2014 à 14h en salle Joël Noilhan. Accès au résumé.

Grellier L., 2014 : "Étude et modélisation de l'impact sur la chimie atmosphérique des espèces halogé-

nées émises lors de l'éruption du Mont Etna en mai 2008" le 26 novembre.

Joetzjer E., 2014 : "Causes, impacts et projections des sécheresses en Amazonie : une étude numérique des processus et des incertitudes" le mercredi 3 décembre 2014 à 14h en salle Joël Noilhan.

Ménétrier B., 2014 : "Utilisation d'une assimilation d'ensemble pour modéliser des covariances d'erreur d'ébauche dépendantes de la situation météorologique à échelle convective" le jeudi 3 juillet 2014. Accès au résumé.

Nabat P., 2014 : "Interactions aérosols-rayonnement-nuages et variabilité climatique en Méditerranée : approche par la modélisation régionale couplée" le 9 octobre 2014.

Phan X.V. 2014 : Télédétection sur le manteau neigeux et étude de son évolution temporelle en utilisant des données radar polarimétriques, soutenue à Grenoble, le 21 mars 2014. par Xuan-Vu Phan.

Sic B., 2014 : "Improvement of aerosol representation in a chemical-transport model : Modelling and data assimilation" le 28 novembre 2014.

Wang Xin., 2014 : "Décomposition volumique d'images pour l'étude de la microstructure de la neige" le 28 janvier 2014.

Habilitations à diriger des recherches soutenues en 2014

Bouttier F., 2014 : "Modélisation des erreurs de prévision météorologique" le 16 janvier 2014. Mémoire d'habilitation à diriger des recherches. Ecole doctorale de l'université de Toulouse.

Guidard V., 2014 : "Contribution des observations satellitaires à l'initialisation des modèles météorologiques à mésoéchelle." par Vincent Guidard (GMAP) le 23 juin 2014.

Morin S., 2014 : "Observation and numerical modeling of snow on the ground : use of existing tools and contribution to ongoing developments" par Samuel Morin (CEN) le lundi 8 décembre 2014 à 10h30 au LGGE à Grenoble. Accès au résumé.

Habilitations à diriger des recherches soutenues en 2014 hors CNRM

Bousquet O. 2014 : Exploitation de la capacité Doppler des radars météorologiques pour la recherche et l'opérationnel. Habilitation à Diriger des Recherches de l'Université de La Réunion, Saint Denis.

Glossaire

Organismes et Laboratoires

Organismes

ADEME	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie
AIEA	Agence Internationale de l'Energie Atomique
ANELFA	Association Nationale d'Etude et de Lutte contre les Fléaux Atmosphériques
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
EALAT	Ecole de l'Aviation Légère de l'Armée de Terre
EASA	European Aviation Safety Agency, Agence Européenne de la Sécurité Aérienne
EEA	Agence Environnementale Européenne
ENAC	Ecole Nationale de l'Aviation Civile
ENM	Ecole Nationale de la Météorologie
ESA	European Space Agency
ETNA	Division Ecoulements Torrentiels, Neige et Avalanches du CEMAGREF
EUFAR	EUropean Facility for Airborne Research in Environmental and Geo-sciences
EUMETNET	EUropean METeorological NETwork
EUMETSAT	Organisation européenne pour l´exploitation de satellites météorologiques
FAA	Federal Aviation Agency, Agence US de la Sécurité Aérienne
FAAM	Facility for Airborne Atmospheric Measurements (United Kingdom)
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
OMP	Observatoire Midi-Pyrénées
RTRA-STAE	Réseau Thématique de Recherche Avancée – Sciences et Technologies pour l'Aéronautique et l'Espace
SCHAPI	Service Central d'Hydrométéorologie et d'Appui à la Prévision des Inondations
SHOM	Service Hydrographique et Océanographique de la Marine
SMHI	Swedish Meteorological and Hydrological Institute
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
CEREA	Centre d'Enseignement et de Recherche en Environnement Atmosphérique
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
CRA	Centre de Recherches Atmosphériques
DSO	Direction des Systèmes d'Observation (Météo-France)
GAME	Groupe d'Etude de l'Atmosphère Météorologique
GSMA	Groupe de spectrométrie moléculaire et atmosphérique, UMR 7331 CNRS Université de Reims Champagne Ardennes
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
LAVUE	Laboratoire Architecture, Ville, Urbanisme, Environnement
LCP	Laboratoire Chimie et Procédés
LEGI	Laboratoire des écoulements physiques et industriels
LGGE	Laboratoire de Glaciologie et de Géophysique de l'Environnement
LHSV	Laboratoire d'Hydraulique Saint-Venant
LIRIS	Laboratoire d'InfoRmatique en Image et Systèmes d'information
LISST	Laboratoire Interdisciplinaire Solidarités, Sociétés, Territoires
LMD	Laboratoire de Météorologie Dynamique
LOCEAN	Laboratoire d'Océanographie et du Climat : Expérimentations et Approches Numériques
LPCEE	Laboratoire de Physique et Chimie de l'Environnement et de l'Espace
LPED	Laboratoire Population Environnement Développement
LRA	Laboratoire de Recherche en Architecture
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

BACCHUS	Impact of Biogenic versus Anthropogenic emissions on Clouds and Climate: towards a Holistic UnderStanding
BAMED	BAlloons in the MEDiterranean
CHFP	Climate Historical Forecasting Project
CHROME	Couplage Hydrométéorologique RégiOnal Multi-Ensemble
CIDEX	Calibration and Icing Detection EXperiment
CMIP	Coupled Model Intercomparaison Project
COPERNICUS	European Earth observation system http://www.copernicus.eu/pages-principales/services/climate-change/
CYPRIM	projet Cyclogénèse et précipitations intenses dans la zone méditerranéenne

ERA-CLIM	European Reanalysis of Global Climate Observations
ESURFMAR	Eumetnet SURFace MARine programme
EUREQUA	Evaluation mUltidisciplinaire et Requalification Environnementale des QUArtiers, projet financé par l'Agence Nationale pour la Recherche, ANR-2011-VILD-006. Partenaires : GAME, IFSTTAR, CEREA, LISST, LAVUE, LPED.
EURO4M	European reanalysis and observations for monitoring http://www.euro4m.eu/
GHRSST	International Group for High Resolution SST
GLOSCAL	GLobal Ocean Surface salinity CALibration and validation
HOMONIM	Historique Observation MOdélisation des Niveaux Marins
HyMeX	Hydrological cYcle in the Mediterranean EXperiment
IncREO	Increasing Resilience through Earth Observation
LEFE	programme national « Les Enveloppes Fluides et l'Environnement »
MACC	Monitoring Atmospheric Composition and Climate
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
Suomi-NPP	Programme américain de satellites météorologiques en orbite polaire
THORPEX	THe Observing system Research and Predictability EXperiment
UERRA	Uncertainties in Ensembles of Regional Re-Analyses
USAP	United States Antarctic Program
VOLTIGE	Vecteur d'Observation de La Troposphère pour l'Investigation et la Gestion de l'Environnement
WCRP	World Climate Research Programme

Campagnes expérimentales

AMMA	Analyses Multidisciplinaires de la Mousson Africaine
CORDEX	COordinated Regional climate Downscaling EXperiment
EUREQUA	Evaluation mUltidisciplinaire et Requalification Environnemental des QUArtiers
HAIC	High Altitude and Ice Crystals (www.haic.eu)
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)
AROME-WMED	Configuration AROME sur la Méditerranée occidentale
ARPEGE	Action de Recherche Petite Échelle Grande Échelle
AS	Adaptations Statistiques
ASAR	Advanced Synthetic Arperture Radar
ASCAT	Advanced SCATterometer
ASTEX	Atlantic Stratocumulus Transition EXperiment
ATM	Air Traffic Management - Contrôle du trafic aérien
ATMS	Advanced Technology Microwave Sounder
AVHRR	Advanced Very High Resolution Radiometer
BAS	British Antarctic Survey
BPCL	Ballon Pressurisé de Couche Limite
CALIOP	Cloud-Aerosol Lidar with Orthogonal Polarization
CALIPSO	Cloud-Aerosol Lidar and Infrared Pathfinder Satellite Observations
CANARI	Code d'Analyse Nécessaire à ARPEGE pour ses Rejets et son Initialisation
CAPE	Convective Available Potential Energy
CAPRICORNE	CAractéristiques PRIncipales de la COuveRture NuageusE
CARIBOU	Cartographie de l'Analyse du RIsque de Brume et de brOUillard
CAROLS	Combined Airborne Radio-instruments for Ocean and Land Studies
Cb	Cumulonimbus
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
CNRM-RCSM	Regional Climate System Model
COP	Contrat d'Objectifs et de Performances
COPAL	COmmunity heavy-PAyload Long endurance instrumented aircraft for tropospheric research in environmental and geo-sciences
CPR	Cloud Profiling Radar
CrIS	Cross-track Infra-Red Sounder
CROCUS	Modèle de simulation numérique du manteau neigeux développé par Météo-France.
DCT	Diffraction Contrast Tomography
DEM	Discrete Element Method
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	European Re-Analysis
ESRF	European Synchrotron Radiation Facility
EUCLIPSE	European Union Cloud Intercomparison, Process Study & Evaluation
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
GEV	Loi généralisée des valeurs extrêmes
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
High IWC	High Ice Water Content
HIRLAM	HIgh Resolution Limited Area Model
HISCRTM	HIgh Spectral resolution Cloudy-sky Radiative Transfer Model
HSS	Measurement of improvement of the forecast
HYCOM	HYbrid Coordinate Ocean Model
IAGOS	In-service Aircraft for Global Observing System
IASI	Interféromètre Atmosphérique de Sondage Infrarouge
IAU	Incremental analysis update, mise à jour incrémentale par une analyse
IFS	Integrated Forecasting System
IIR	Infrared Imaging Radiometer
ISBA	Interaction Sol-Biosphère-Atmosphère
ISBA-A-gs	Modèle Interactions Sol-Biosphère-Atmosphère, avec représentation de la photosynthèse et de la croissance de la végétation
ISBA - ES	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 (indice foliaire)
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
MEPRA	Modèle Expert de Prévision du Risque d'Avalanche (modélisation)
MERSEA	Marine EnviRonment and Security for the European Area
MESCAN	Combinaison de MESAN (nom du système suédois) et de CANARI
MESO-NH	Modèle à MESO-échelle Non Hydrostatisque
MFWAM	Météo-France WAve Model
MHS	Microwave Humidity Sounder
MISR	Multi-angle Imaging SpectroRadiometer
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 Océanique de Transport d'HYdrocarbure
MRR	Micro Rain Radars
MSG	Météosat Seconde Génération
NAO	North Atlantic Oscillation
NEMO	Nucleus for European Modelling of Ocean
NEMO-WMED36	Configuration de NEMO sur la Méditerranée occidentale
NSF	Norges StandardiseringsForbund
OPIC	Objets pour la Prévision Immédiate de la Convection
ORACLE	Opportunités et Risques pour les Agro-ecosystèmes et les forêts en réponse aux changements CLimatiquE, socio-économiques et politiques en France
ORCHIDEE	ORganizing Carbon and Hydrology in Dynamic EcosystEms
OSCAT	OCEANSAT-2 Scatterometer
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
PSR	Plan Submersions Rapides
PVM	Particulate Volume Monitor
PVs	Tourbillon potentiel de l'air humide
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
RTTOV	Radiative Transfer for TOVS
SAF NWP	Satellite Application Facility for Numerical Weather Prediction
SAF OSI	Satellite Application Facility for Ocean and Sea Ice
SAFRAN	Système d'Analyse Fournissant des Renseignements Atmosphériques pour la Neige
SAPHIR	Sondeur Atmosphérique du Profil d'Humidité Intertropicale par Radiométrie
SARA	Spectroscopy by Amplified Resonant Absorption
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
S2M	SAFRAN - SURFEX/ISBA-Crocus – MEPRA
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
SPIRIT	SPectromètre Infra-Rouge In situ Toute altitude
SSMI/S	Special Sounder Microwave Imager/Sounder
SURFEX	code de SURFace EXternalisé
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
TCU	Towering Cumulus
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 : 31.12.2014

Directeur : **Philippe Bougeault**

Directeur adjoint - Toulouse : **Marc Pontaud**
Directeur adjoint scientifique - Toulouse : **Philippe Dandin**
Directeur adjoint - Saint-Mandé : **Jacques Parent de Chatelet**

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

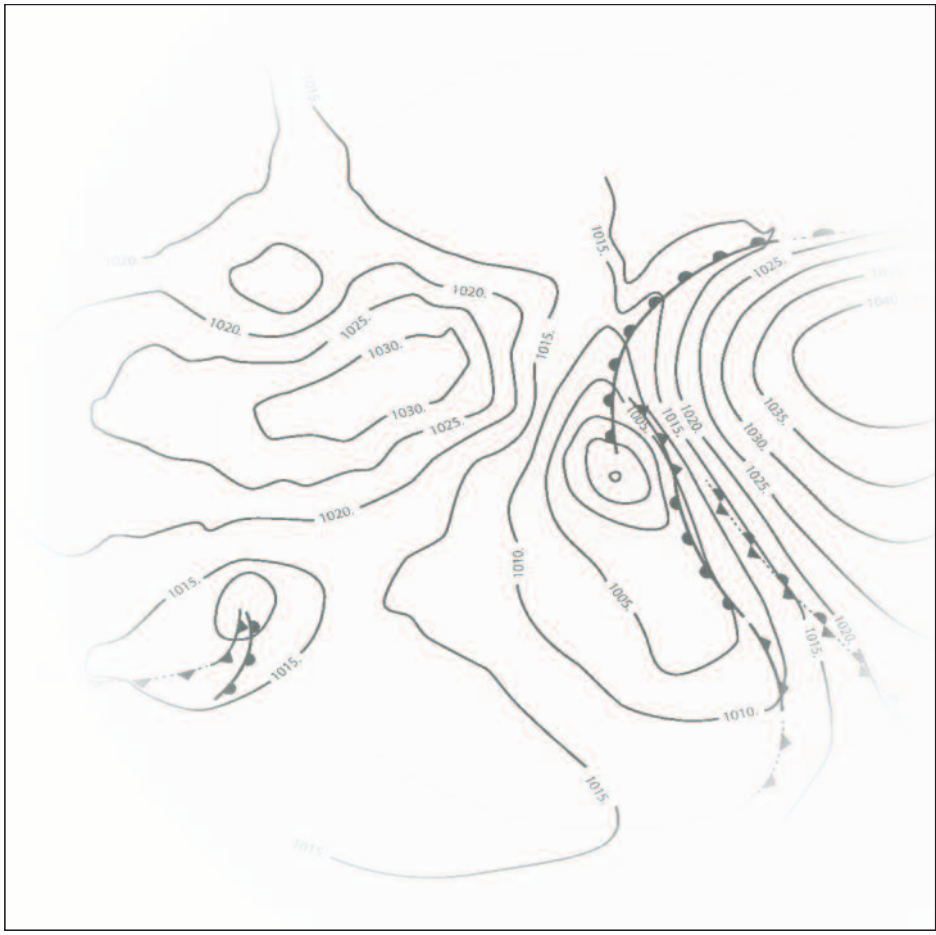
- CENTRE D'AVIATION MÉTÉOROLOGIQUE — CAM - Toulouse
  Chef de division : **Jean-Christophe Canonici**
- CENTRE D'ÉTUDES DE LA NEIGE — CEN - Grenoble
  Chef de division : **Pierre Etchevers**
- CENTRE DE MÉTÉOROLOGIE MARINE — CMM - Brest
  Chef de division : **Jean Rolland**
- GROUPE DE MODÉLISATION POUR 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 : **Marc Pontaud**

Nota :
Le GAME est l'Unité Mixte de Recherche 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'étude
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



Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie

Création DIRCOM/CGN

Météo-France est certifié ISO 9001
par Bureau Veritas Certification
© Météo-France 2015
Dépôt légal mai 2015
ISSN : 2116-438X