

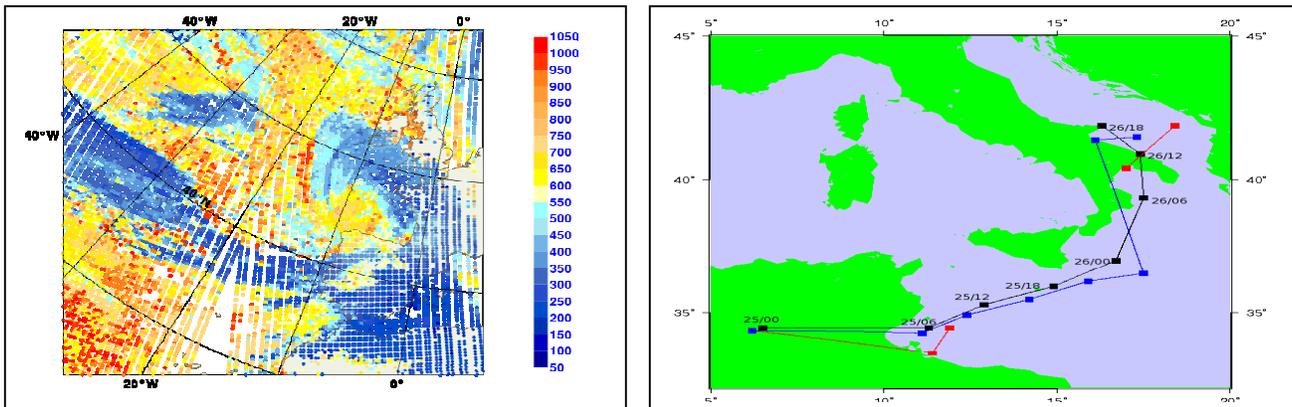
ENCADRÉS SCIENTIFIQUES

de l'unité de recherche

GMAP

Avec le lancement en 2002 du sondeur infrarouge AIRS à bord du satellite américain Aqua et en 2006 de celui de IASI à bord du satellite européen MetOp, l'observation par satellite de la Terre et de l'atmosphère a connu des progrès considérables. En effet ces sondeurs hyperspectraux fournissent de l'information sur l'atmosphère et la surface terrestre dans plusieurs milliers de canaux par point d'observations. Cependant, la mesure infrarouge est fortement modifiée par la présence de nuages. Une bonne détection et caractérisation des nuages est donc nécessaire pour pouvoir bien simuler ces observations et tirer pleinement bénéfice de l'information apportée par ces sondeurs dans les modèles de dynamique atmosphérique. L'assimilation des radiances nuageuses AIRS et IASI a été étudiée dans le cadre du projet CYPRIM (ACI Aléas et changements globaux) portant sur les cyclogénèses et précipitations intenses en Méditerranée (Pangaud, 2009).

La première approche qui a été suivie a été de déterminer, à l'aide des observations et d'une simulation du transfert radiatif en ciel clair à partir de l'ébauche du modèle, la pression de sommet des nuages et la fraction effective de nuages. La figure de gauche montre la pression de sommet des nuages en hPa déduites de IASI lors de l'approche de la tempête Klaus des côtes françaises le 24 janvier 2009 vers minuit.



L'enroulement de nuages élevés (couleurs bleues) associée à la dépression est visible, ainsi que des bandes de fronts secondaires. Ces paramètres nuageux sont ensuite pris en compte dans la simulation des radiances nuageuses lors du processus d'assimilation de données. L'apport de l'assimilation des radiances en présence de nuages est légèrement bénéfique sur les scores de prévision numérique. Leur apport peut être particulièrement important dans certains cas comme l'illustre la figure de droite. Elle montre les trajectoires prévues d'une tempête en mer Méditerranée de petite échelle qui a touché le sud de l'Italie à partir d'une analyse du 23 septembre 2006 à 00 UTC. En bleu correspond la trajectoire avec l'assimilation des radiances AIRS nuageuses, en rouge celle de l'expérience de référence n'utilisant que les radiances en ciel clair. La trajectoire noire correspond à la trajectoire de la dépression déduite d'une analyse vérificatrice. L'assimilation des radiances nuageuses permet de mieux simuler la trajectoire, l'évolution de la pression de la mer de la dépression ainsi que les précipitations associées (Pangaud et al, 2009).

Pour aller plus loin, on vise maintenant à rétroagir sur les variables nuageuses du modèle atmosphérique en utilisant un modèle de transfert radiatif plus élaboré en conditions nuageuses.

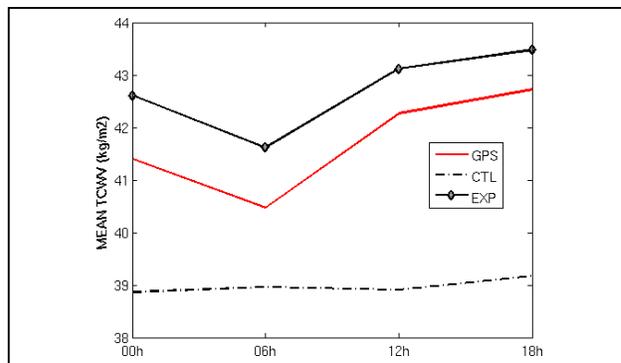
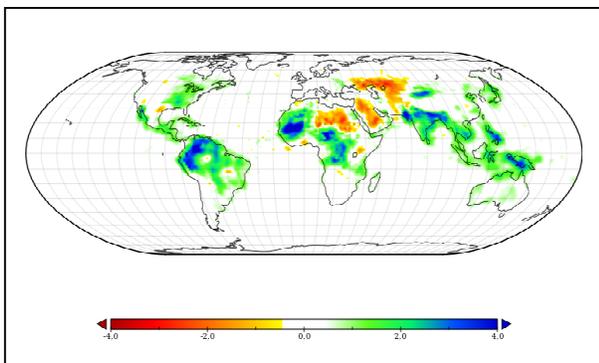
Références

Pangaud T. (2009) : Assimilation des radiances des sondeurs infrarouges hyperspectraux en condition nuageuse : application à des cyclogenèses extratropicales. thèse de l'université Paul Sabatier Toulouse 3, France, soutenue le 20 novembre 2009, 239 pages.

Pangaud T., Fourrié N., Guidard V., Dahoui M. and Rabier F. (2009) : Assimilation of AIRS radiances affected by mid to low-level clouds, Monthly Weather review, 4276-4292 (17).

GMAP-2 Caractérisation de l'émissivité de surface et assimilation des données micro-ondes au-dessus des surfaces continentales

L'assimilation de données permet de décrire les champs atmosphériques à l'aide d'observations diverses dont celles de télédétection spatiale. La physique de la mesure par télédétection est complexe et sa modélisation constitue une voie de recherche pour mieux exploiter les données. En particulier, les observations micro-ondes ont longtemps connu une disparité d'utilisation entre les surfaces émergées et maritimes. Cette disparité est attribuée, entre autres, à la mauvaise représentation de l'émissivité des surfaces continentales et son ampleur était telle qu'il était urgent d'obtenir des réponses scientifiques appropriées. Nous avons cherché à cerner les facteurs de variabilité de l'émissivité pour mieux la modéliser, à réviser notre jugement sur la pertinence des hypothèses d'estimation, à tester différentes approches de modélisation (Karbou et al. 2010a) et à en qualifier l'efficacité dans le cadre d'études d'impact (Karbou et al. 2010b, Gérard et al. 2011). Les résultats de notre investissement sur plusieurs années ont été à la hauteur de nos attentes : nous avons mis en œuvre une nouvelle modélisation de l'émissivité dans les modèles opérationnels dont l'un des effets a été de pouvoir dorénavant utiliser les données sur terres émergées et de gommer ainsi les disparités d'exploitation des données selon le type de surface. Nous avons étudié l'usage de ces observations dans le cadre du programme AMMA. L'assimilation des observations micro-ondes sur terre a impacté, positivement, des paramètres clés du cycle de l'eau sur le continent africain.



La figure de gauche montre les différences moyennes d'analyses de contenu intégré en vapeur d'eau (expérience moins contrôle, l'expérience assimilant les observations micro-ondes sur continents) pendant le mois d'août 2006. Les valeurs négatives (positives) indiquent que le contrôle est plus humide (sec) que l'expérience. La figure de droite montre que l'humidification de l'analyse de l'expérience (en noir) par rapport au contrôle (en ligne tiretée) est en très bon accord avec les valeurs GPS mesurées près de TOMBOUCTOU (en rouge). Ces valeurs sont présentées toutes les 6 heures, en moyenne sur la période. Le cycle diurne de l'humidité est désormais présent dans les analyses. Les modèles opérationnels de Météo-France profitent aujourd'hui de ces développements, et le modèle d'émissivité de surface a également été porté en opérationnel au CEPMMT. Ces approches ne sont pas, fort heureusement, exclusivement réservées aux micro-ondes : elles ont par exemple récemment servi à mieux assimiler les données infra-rouges à haute résolution SEVIRI au-dessus de l'Europe (thèse de S. Guedj).

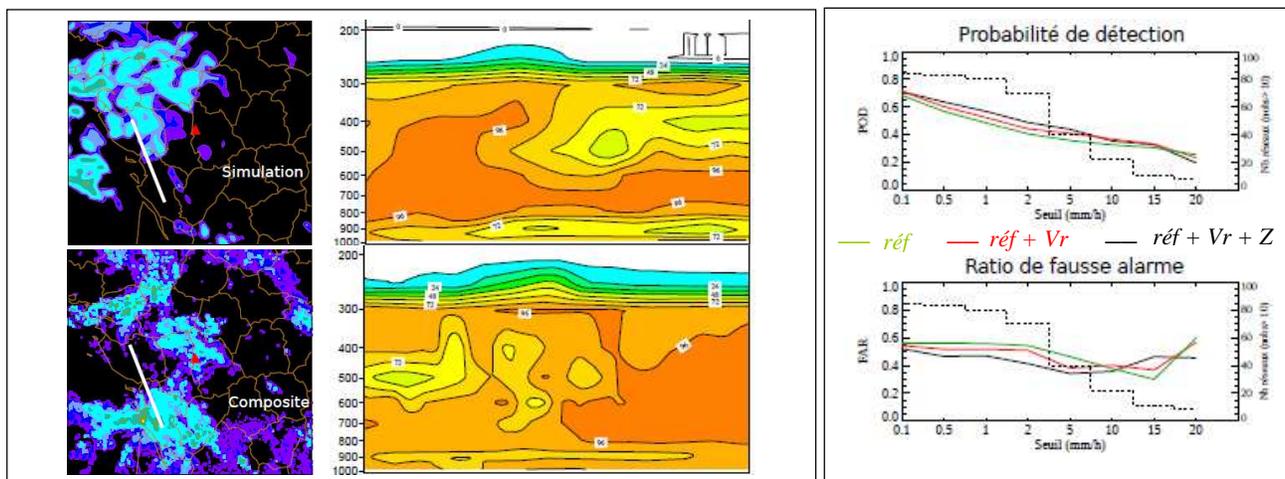
Références

Karbou, F., E. Gérard, F. Rabier, 2010a, Global 4D-Var assimilation and forecast experiments using AMSU observations over land. Part-I : Impact of various land surface emissivity parameterizations, *Weather and Forecasting*, 25, 5–19, doi : 10.1175/2009WAF2222243.1

Karbou, Fet al. , 2010b, Global 4D-Var assimilation and forecast experiments using AMSU observations over land. Part II : Impact of assimilating surface sensitive channels on the African Monsoon during AMMA, *Weather and Forecasting*, 25, 20–36, doi : [10.1175/2009WAF2222244.1](https://doi.org/10.1175/2009WAF2222244.1)

Gérard É., F. Karbou, F. Rabier, 2011 Land sensitivity studies towards a potential use of surface sensitive microwave observations over land. Sous presse à *IEEE Transactions On Geoscience And Remote Sensing*

Conjointement au développement du système d'assimilation du modèle non-hydrostatique AROME, l'assimilation des données radar a fait l'objet d'intenses recherches ces dernières années. Un travail conjoint entre les producteurs de données et le GAME a tout d'abord permis de spécifier un produit radar volumique dédié à la prévision numérique qui associe notamment un ensemble de métadonnées utilisées dans le contrôle de qualité. Des opérateurs d'observation permettant de simuler les mesures de vitesses radiales et de réflectivité à partir des champs du modèle ont été développés en parallèle, ce qui a donné lieu à une coopération avec différents laboratoires (LTHE, LATMOS, LA). Une méthode bayésienne, permettant de restituer des pseudo-observations d'humidité relative à partir des profils de réflectivité simulées au voisinage d'un profil de réflectivité observé, a ensuite été implémentée dans le 3Dvar AROME (Caumont et al., 2010). Ces deux observables permettent notamment de recalibrer des structures précipitantes mal prévues via l'analyse conjointe de la dynamique de basses couches (Montmerle et Faccani, 2009) et de l'intensité des précipitations, ce qui se traduit par des meilleures prévisions des cumuls de précipitations jusqu'à 12 heures d'échéance. Actuellement, la chaîne d'assimilation opérationnelle prend en compte les vents de 22 radars ainsi que le signal réflectivité des 24 radars du réseau national ARAMIS.

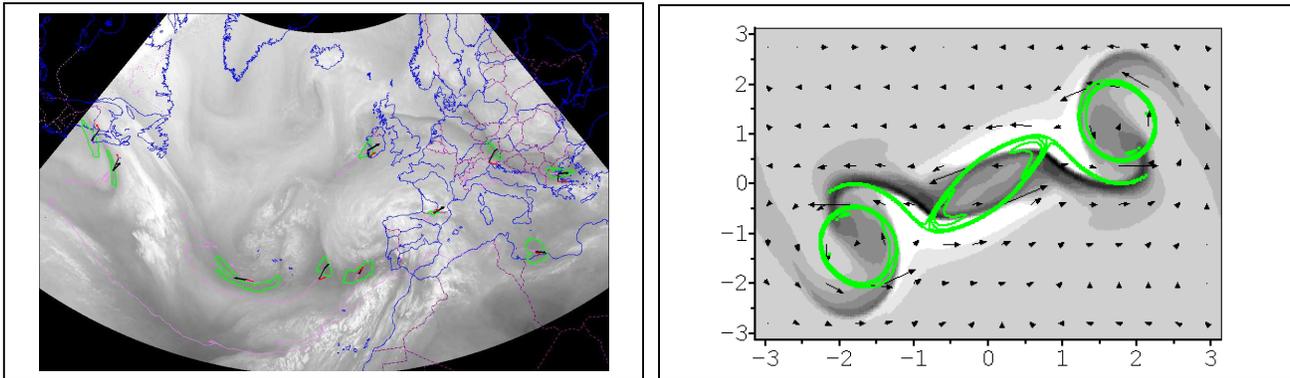


A partir d'une prévision initiale de réflectivité radar éloignée de la composite radar observée, la figure de gauche montre deux analyses d'humidité relative, suivant une coupe verticale matérialisée par le trait blanc, l'une avec assimilation des réflectivités radar (en bas à droite) et l'autre sans (en haut à droite). L'assimilation des pseudo-observations d'humidité relative a permis d'assécher la partie nord où aucune précipitation n'est observée et d'humidifier la partie sud qui correspond à une zone pluvieuse. L'impact de l'assimilation des données radar sur la prévision des cumuls de précipitations sur les trois premières heures de prévision pendant une période de 12 jours consécutifs de précipitations d'hiver est montré sur la figure de droite. L'amélioration des détections est quasi-systématique pour les différents seuils considérés, sans dégrader le ratio de fausses alarmes. Le déploiement de radars polarimétriques, l'augmentation de fréquence du cycle d'assimilation et de la résolution du modèle ces prochaines années devraient encore augmenter l'impact de telles données. Des recherches relatives à la prise en compte du type d'hydrométéore à partir de paramètres issus des radars polarimétriques, directement dans le système d'assimilation sont notamment en cours.

Références

- E. Wattrelot et O. Caumont, 2010: Contribution au rapport final de l'action **COST 731**, Chapitre 7, Radar data assimilation in NWP, 7.1.3: Operational reflectivity assimilation in Arome 2.5 km at Météo-France.
- Caumont, O., V.Ducrocq, E. Wattrelot, G. Jaubert, and S.Pradier-Vabre, 2010: 1D+3DVar assimilation of radar reflectivity data: A proof of concept. **Tellus**, **62A**, 173-187.
- Montmerle and Faccani, 2009: Mesoscale assimilation of radial velocities from Doppler radars in a preoperational framework. **Mon. Wea. Rev.**, **137**, 1939-1953.

Les principaux algorithmes d'assimilation traitent les observations comme un vecteur aléatoire, sans davantage d'information que celle qui est spécifiée par les covariances d'erreur d'observation. Une partie limitée de l'information contenue dans les images est donc effectivement retenue par le processus d'assimilation. Or, on peut détecter dans des séquences d'images des structures météorologiques Lagrangiennes (cyclones tropicaux, intrusions de tropopause, nuages convectifs...). Cette détection peut être menée de manière entièrement automatisée à l'aide d'outils de traitement d'image (Michel et Bouttier 2006 ; et figure à gauche ci-dessous illustrant le suivi d'intrusions sèches dans un canal vapeur d'eau du satellite MSG, pour la tempête Xynthia, le 27 Février 2010). La stratégie qui consiste à assimiler des pseudo-observations à partir de caractéristiques des objets issues d'un traitement d'image a obtenu un certain succès pour améliorer la prévision de cyclones tropicaux. Des modèles statistiques ou physiques simples ont ainsi été développés pour définir des pseudo-observations à partir de comparaisons entre objets observés et simulés, dans le but de corriger les erreurs d'amplitude et de positionnement des objets simulés. Ces méthodes, définies au cours du projet ANR ADDISA, ont été appliquées i) aux cyclogénèses d'altitude dans le 4DVar du modèle global ARPEGE, via l'analyse d'images Meteosat vapeur d'eau et ii) aux systèmes convectifs dans le 3DVar du modèle non-hydrostatique AROME, via l'analyse d'images de réflectivités radar.



Dans le premier cas, une correction efficace de l'amplitude du précurseur d'altitude de la tempête des Landes a été obtenue (Michel 2009). Par contre, la forte variation spatiale des fonctions de structures rendent la correction d'erreurs de déplacement inadaptée (Michel 2011). Les décalages spatiaux entre image vapeur d'eau et champs de tourbillon potentiel, bien reproduits par des modèles idéalisés de l'atmosphère (Figure ci-dessus à droite : image vapeur d'eau et hauteur de la tropopause pour l'évolution d'un filament de tourbillon potentiel dans un modèle quasi-géostrophique), rendent encore plus délicat l'interprétation des déphasages entre ces deux champs, et donc l'utilisation de l'image pour corriger le modèle. L'assimilation des cellules convectives par traitement d'image et pseudo-observations d'humidité relative rencontre des difficultés similaires, auxquelles s'ajoutent les incertitudes liées aux fortes non-linéarités des processus physiques impliqués.

L'avenir de ce genre d'approches pourrait passer par l'emploi de méthodes denses (de type flot optique et déformations), plutôt que par l'utilisation d'objets, ou par l'utilisation de données plus proches des variables du modèle, comme les concentrations en ozone qui sont mieux reliées, au niveau de la tropopause, au tourbillon potentiel.

Références

- Y. Michel, 2011 : Displacing Potential Vorticity Structures by the Assimilation of Pseudo-observations. *Mon. Wea. Rev.*, **139**, 2, pp. 549-565.
- Y. Michel, 2009 : Assimilating the Tropopause height from the observation of a dry intrusion. *Mon. Wea. Rev.*, **138**, 1, pp. 101-120.
- Y. Michel, 2008 : « Assimilation de données d'images télédéteectées en météorologie ». Thèse de doctorat de l'Université Paris Est.
- Y. Michel, and F. Bouttier, 2006 : Automated tracking of dry intrusions on satellite water vapour imagery and model output. *Quart. Jour. of the R. Met. Soc.*, **132**, 620, pp. 2257-2276

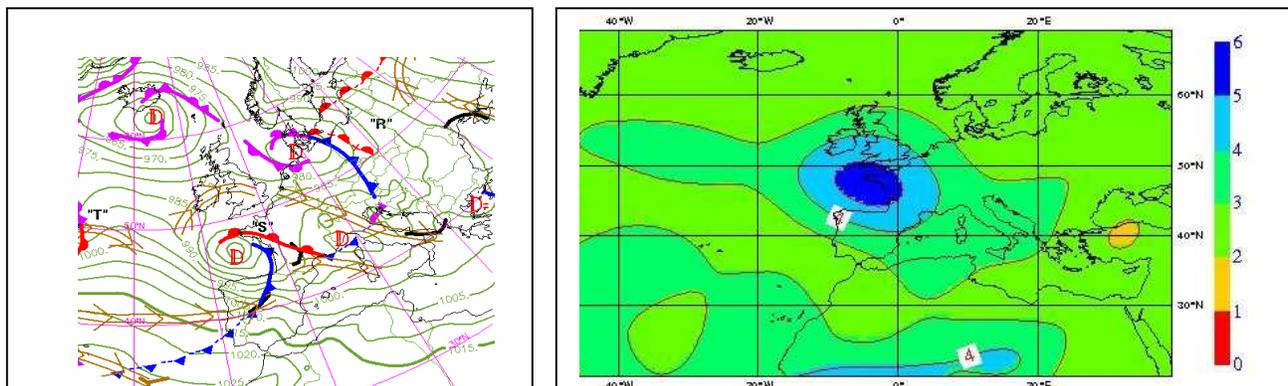
L'assimilation de données repose sur une caractérisation statistique des erreurs d'observation et de prévision. Il s'agit en particulier de spécifier les amplitudes attendues des erreurs de prévisions (décrites par des variances) qui dépendent de la situation météorologique et de la densité des observations prises en compte .

Dans ce contexte, une assimilation d'ensemble associée au modèle global ARPEGE (AEARP) a été mise en œuvre pour simuler ces erreurs de prévision. Météo-France a été ainsi le premier centre de prévision numérique du temps à mettre en place une assimilation d'ensemble variationnelle en 2008 (Berre et Desroziers, 2010).

La version actuelle de l'AEARP est basée sur un ensemble de six assimilations perturbées. Un filtrage optimal des variances d'erreurs brutes obtenues avec un ensemble de petite taille a été développé, permettant une représentation pertinente de la dynamique spatio-temporelle des variances d'erreur de prévision (Raynaud et al, 2008 ; Raynaud et al 2009 ; Raynaud 2010).

L'AEARP est par ailleurs aujourd'hui un maillon essentiel du système PEARP de prévision d'ensemble associé au modèle ARPEGE, pour la représentation de l'incertitude sur les conditions initiales.

Une assimilation d'ensemble est aussi une manière de produire des diagnostics de l'optimalité du système d'assimilation, et de mesurer l'impact des différents types d'observation dans ce système (Desroziers et al, 2009).



La figure de droite représente la carte des écarts types des erreurs de prévision pour le vent zonal (unité : ms^{-1}) vers 500 hPa, le 24 janvier 2009, date correspondant au passage de la tempête Klaus sur la France (Figure de gauche). On remarque le noyau de fortes valeurs sur la Bretagne associées à la tempête, en accord avec la forte incertitude associée à ce type de phénomène météorologique intense. Cette carte est obtenue avec une version de l'AEARP en mode 4D-Var, qui représente mieux les erreurs du système d'assimilation 4D-Var, que la version précédente en mode 3D-Var.

Les travaux sur l'AEARP se portent maintenant sur une utilisation des écarts entre observations et prévisions pour estimer et représenter la contribution des erreurs de modèle (à distinguer des erreurs sur les conditions initiales) dans l'erreur de prévision. Cette prise en compte de l'erreur de modèle permet en particulier de renforcer les variations des écarts types d'erreur de prévision dues aux variations de la densité des observations.

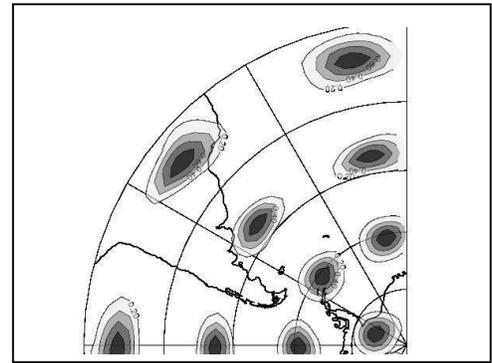
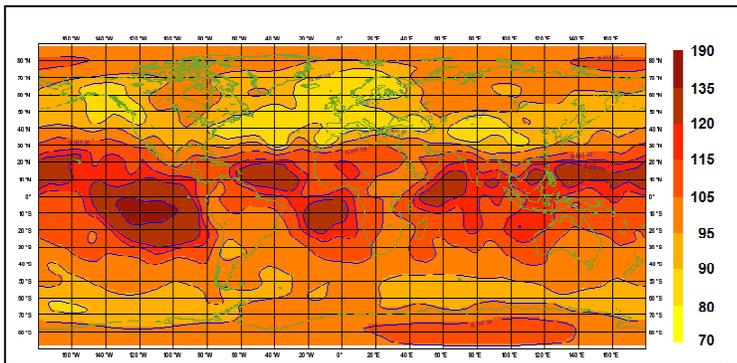
Références

- Berre, L. et G. Desroziers: Filtering of background error variances and correlations by local spatial averaging. Mon. Wea. Rev., 2010.
- Desroziers, G., L. Berre, V. Chabot et B. Chapnik: A posteriori diagnostics in an ensemble of perturbed analyses. Mon. Wea. Rev., 2009.
- Raynaud, L., L. Berre, et G. Desroziers: Spatial averaging of ensemble-based background-error variances. Quart. Jour. Roy. Meteor. Soc., 2008.
- Raynaud, L., L. Berre, et G. Desroziers: Objective filtering of ensemble-based background-error variances. Quart. Jour. Roy. Meteor. Soc., 2009.
- Raynaud, L: Application, validation et réglage d'une assimilation d'ensemble. Thèse de doctorat de l'Université de Toulouse, 2010.

L'assimilation de données conduit à propager spatialement l'information qui est observée de façon locale, en tenant compte notamment des structures spatiales (décrites par les corrélations spatiales) des erreurs de prévision. Ces corrélations spatiales ont une variabilité spatio-temporelle complexe, avec une forte dépendance à la situation météorologique. Leur estimation peut être effectuée à l'aide d'un ensemble de prévisions perturbées.

Cependant, la taille de l'ensemble est relativement petite (de l'ordre de 5 à 10 membres), ce qui conduit à des erreurs d'échantillonnage assez importantes. D'autre part, la taille de la matrice de ces corrélations est bien trop grande pour être stockée directement en mémoire d'un supercalculateur. Une approche possible est alors de modéliser ces corrélations et de s'appuyer sur des techniques de filtrage du bruit d'échantillonnage (Berre et Desroziers, 2010).

Plusieurs techniques ont été expérimentées dans ce contexte. Une première méthode consiste à s'appuyer sur des ondelettes, qui permettent de filtrer spatialement les fonctions de corrélation du modèle global ARPEGE (Pannekoucke et al, 2007 ; Pannekoucke 2008 ; Pannekoucke et al, 2008). Une approche basée sur un tenseur local de diffusion a également été expérimentée dans le modèle de chimie atmosphérique global MOCAGE-PALM en collaboration avec le CERFACS (Pannekoucke et Massart, 2008). Enfin, une technique basée sur des masques géographiques (Montmerle et Berre 2010) a permis d'expérimenter dans le modèle AROME des corrélations différentes en fonction des zones de pluie et de non pluie.



La figure de gauche représente la carte des longueurs caractéristiques des erreurs de prévision pour le vent zonal (unité : ms^{-1}) vers 500 hPa, obtenues avec une modélisation ondelette pour ARPEGE. On remarque que ces longueurs sont nettement plus petites sur l'Europe et l'Atlantique Nord que sur les océans tropicaux. La figure de droite correspond à des exemples de fonctions de corrélation, issues d'une modélisation à l'aide d'un tenseur local de diffusion pour MOCAGE-PALM. La comparaison avec des estimations tirées directement d'un ensemble indique que ces résultats reflètent bien les hétérogénéités horizontales en jeu.

Il devient ainsi possible de représenter les variations géographiques des fonctions de corrélation. Il est maintenant prévu d'expérimenter ces approches pour représenter la dépendance des corrélations spatiales en fonction de la situation météorologique.

Références

Berre, L. et G. Desroziers : Filtering of background error variances and correlations by local spatial averaging. *Mon. Wea. Rev.*, 2010.

Montmerle T et L. Berre : Diagnosis and formulation of heterogeneous background error covariances at mesoscale. *Quart. Jour. Roy. Meteor. Soc.*, 2010.

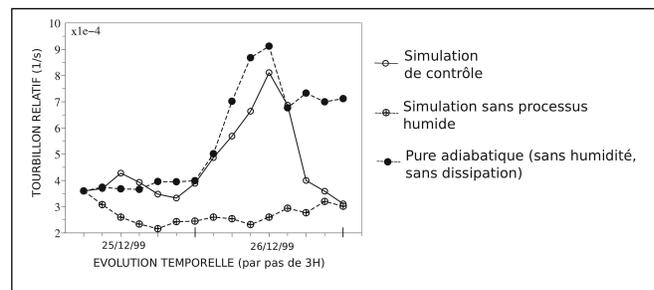
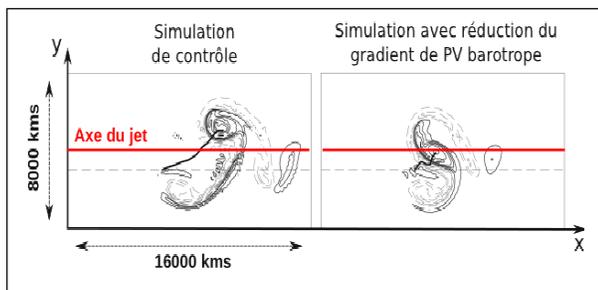
Pannekoucke, O., L. Berre et G. Desroziers : Filtering properties of wavelets for local background error correlations. *Quart. Jour. Roy. Meteor. Soc.*, 2007.

Pannekoucke, O. : Modélisation des structures locales de covariance des erreurs de prévision à l'aide des ondelettes. Thèse de doctorat de l'Université de Toulouse, 2008.

Pannekoucke, O., L. Berre et G. Desroziers : Background-error correlation length-scale estimates and their sampling statistics. *Quart. Jour. Roy. Meteor. Soc.*, 2008.

Pannekoucke, O. et S. Massart : Estimation of the local diffusion tensor and normalization for heterogeneous correlation modelling using a diffusion. *Quart. Jour. Roy. Meteor. Soc.*, 2008. Page 10

Les théories d'instabilité de la cyclogénèse développées dans la seconde moitié du 20^{ème} siècle ont permis dans un premier temps d'expliquer un certain nombre de caractéristiques des dépressions des moyennes latitudes, comme par exemple les ordres de grandeur de leur échelle spatiale. Cependant, les résultats numériques-théoriques de ces 15 dernières années étayés par les résultats des campagnes d'observation comme FASTEX ont mis en évidence la complexité et la richesse des mécanismes mis en jeu dans l'évolution des dépressions des latitudes tempérées. On aboutit donc à l'heure actuelle à une impasse théorique lorsqu'il s'agit d'expliquer leurs cycles d'évolution complets. Même si l'interaction barocline est le mécanisme principal de croissance et d'amplification des dépressions, elle n'intervient pas de manière homogène et n'explique pas toutes les étapes que traverse la dépression. D'autres facteurs peuvent moduler cette croissance. La prise en compte des non linéarités et des inhomogénéités horizontales des courants-jets permet de mieux comprendre certaines phases des dépressions. La figure de gauche représente l'évolution non linéaire au bout de 60 heures dans le modèle quasi-géostrophique à deux couches du tourbillon relatif dans la couche du bas. Initialement, la dépression est isotrope et localisée au sud du courant-jet. A gauche, la simulation de contrôle et à droite, la simulation pour laquelle le courant-jet barotrope a été réduit. Le rôle joué par les processus humides fait aussi débat et ceux-ci sont étudiés au sein de la première tempête de Noël 1999 à l'aide du modèle ARPEGE. La figure de droite montre l'évolution temporelle du maximum de tourbillon relatif à 850 hPa pour la première tempête de Noël 1999 pour trois simulations du modèle ARPEGE, une avec toute la physique, une seconde sans processus humides et la troisième sans aucun effet diabatique.



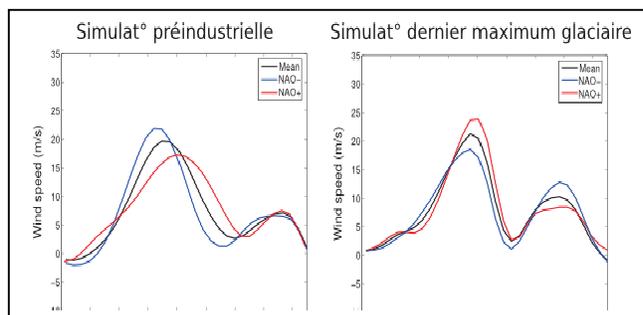
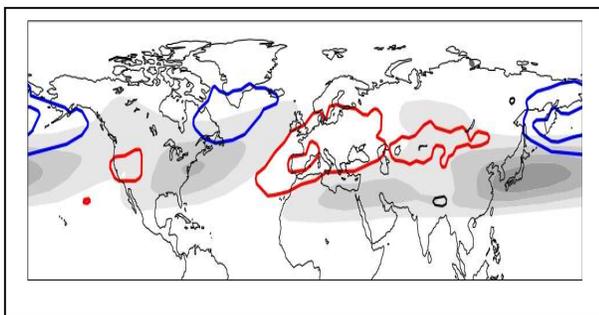
Un certain nombre de dépressions matures ont tendance à se régénérer lorsqu'elles traversent l'axe du courant-jet d'altitude du sud au nord. L'illustration de gauche montre que ce mécanisme de régénération est d'autant plus facile à se produire que le courant-jet possède une structure barotrope importante et plus particulièrement un fort gradient de tourbillon potentiel barotrope. La vignette la plus à gauche montre bien une traversée du courant-jet par la dépression alors que sur celle de droite pour laquelle le gradient a été diminué, la traversée n'a pas lieu.

Sur l'illustration de droite, la simulation de contrôle d'ARPEGE reproduit bien la phase de croissance explosive de la tempête de 1999 dans la matinée du 26 décembre. La simulation sans le dégagement de chaleur latente ne produit aucune tempête mais celle pour laquelle tous les processus diabatiques ont été éliminés la reproduit bien. Il s'avère donc que les processus humides compensent les effets de la dissipation mais ne sont pas à l'origine d'un nouveau mécanisme. Ce résultat est important d'un point de vue pédagogique car il signifie que la phase de croissance explosive peut s'expliquer de manière purement adiabatique.

Références

- Gilet J.-B., M. Plu et G. Rivière, 2009 : Nonlinear baroclinic dynamics of surface cyclones crossing a zonal jet. *J. Atmos. Sci*, 66, 3021-3041.
- Gilet J.-B., 2009 : Interactions non-linéaires de structures cohérentes tourbillonnaires d'échelle synoptique. Thèse de doctorat de l'université Paul Sabatier, Toulouse, p. 237.
- Rivière G., P. Arbogast, K. Maynard, A. Joly, 2010 : The essential ingredients leading to the explosive growth stage of the European wind storm Lothar of Christmas 1999. *Q. J. R. M. S.*, 136, 638-652. [Page 11](#)

Une composante importante de la dynamique du climat des latitudes tempérées est l'interaction entre le passage des transitoires synoptiques (dit rail des dépressions) et la variabilité lente de l'atmosphère représentée par les régimes de temps comme le blocage ou les téléconnexions comme l'Oscillation Nord Atlantique. La rétroaction du rail des dépressions sur la variabilité basse fréquence de l'atmosphère est depuis les années 1970 l'objet d'un intense débat et continue de l'être, notamment dans le cadre du réchauffement climatique. Récemment, l'étude des déferlements des ondes baroclines a permis de porter un nouveau regard sur cette rétroaction. Il s'avère que les différentes phases des téléconnexions et les différents régimes de temps sont étroitement liés à des fluctuations dans la nature du déferlement. L'objectif est dès lors de mieux comprendre les facteurs qui influencent les déferlements cyclonique et anticyclonique, de documenter leur occurrence pour mieux comprendre les différences de climatologies entre climats passés, présent et futur ainsi que la variabilité basse fréquence de ces climats. La figure de gauche montre la moyenne climatologique du 16 octobre au 15 avril des fréquences d'occurrence des déferlements d'onde. Les déferlements sont représentés en bleu pour les déferlements cycloniques et en rouge pour les déferlements anticycloniques. Les plages grisées représentent le vent zonal moyenné.



Les déferlements cycloniques se produisent le plus souvent à l'entrée des rails de dépressions du côté nord des courants-jets tandis que les déferlements anticycloniques plutôt à la fin des rails du côté sud des courants-jets. L'Atlantique et le Pacifique diffèrent fortement puisque le premier est dominé par l'occurrence du déferlement anticyclonique tandis que le second par celui du déferlement cyclonique.

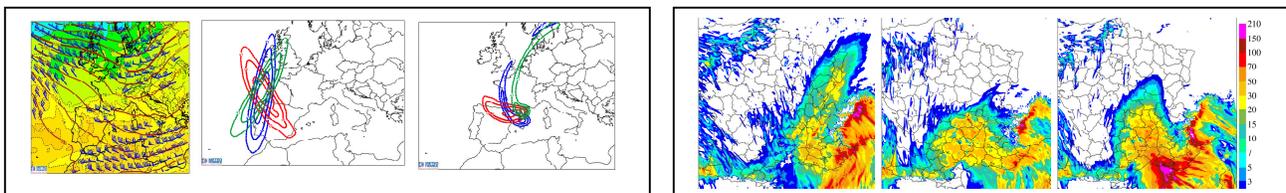
Sur l'illustration de droite, on s'intéresse à la différence de comportement du courant-jet Atlantique entre le climat présent et le climat du dernier maximum glaciaire. Le vent zonal à 500 hPa moyenné entre 80°W- 10°E est représenté pour le mode de variabilité principale hivernal de l'Atlantique (1^{er} EOF du géopotential à 850 hPa) pour les simulations préindustrielle et du dernier maximum glaciaire du modèle ARPEGE-climat.; en noir, la valeur climatologique ; en rouge et bleu pour les phases positive et négative. Alors que dans le climat présent, le jet connaît des déplacements latitudinaux importants (cf. simulation préindustrielle), les simulations du dernier maximum glaciaire montrent essentiellement une accélération/décélération du jet sans déplacements latitudinaux. Il s'avère que cette différence provient presque exclusivement de l'orographie de la calotte glaciaire sur l'Amérique du nord.

Références

- Lainé A., G. Lapeyre, G. Rivière, 2011 : A quasi-geostrophic model for moist storm-tracks. J. Atmos. Sci., sous presse.
- Rivière, G., 2010 : The role of Rossby wave breaking in the West Pacific teleconnection. Geo. Res. Lett., 37, L11802.
- Rivière, G., A. Lainé, G. Lapeyre, D. Salas-Mélia et M. Kageyama, 2010 : Links between Rossby wave breaking and the North Atlantic Oscillation - Arctic Oscillation in present-day and last glacial maximum climate simulations. J. of Climate, 23, 2987–3008.

GMAP-9 Sensibilité des épisodes de précipitations intenses du bassin méditerranéen aux anomalies de tourbillon potentiel d'altitude

Au cours des années 1990, le rôle supposé moteur des anomalies de tourbillon potentiel de haute troposphère (Plu et al., 2008) dans le déclenchement du processus de cyclogénèse des moyennes latitudes a été vérifié expérimentalement notamment lors de la campagne FASTEX. Au cours de la décennie suivante, l'importance de ces structures d'altitude dans le processus de formation des systèmes précipitants de mésoéchelle pouvant conduire à des crues « éclair » sur le bassin méditerranéen a été mise en évidence. Dans le cadre du projet CYPRIM (ACI Aléas et changements globaux), un groupe de chercheurs de la communauté française (IPSL, LA, GAME) s'est doté d'un outil d'inversion du tourbillon potentiel (Arbogast et al, 2008) permettant d'étudier la sensibilité d'une simulation multi-échelle à la distribution du tourbillon potentiel des conditions initiales. L'utilisation de la maille variable sur le plan horizontal et d'une condition d'équilibre compatible avec les équations primitives permettent de procéder à des inversions globales aux résolutions horizontales de l'ordre de 10-20 km sur l'Europe occidentale donnant ainsi accès aux détails de la distribution du champ de tourbillon potentiel. La figure de gauche montre l'évolution non linéaire dans le modèle ARPEGE d'anomalies de tourbillon potentiel de forme ellipsoïdale pour différentes orientations de l'axe principal. L'environnement basse fréquence est représenté à gauche (géopotential et vent à 500 hPa, Tpw à 925 hPa). Au milieu et à droite sont représentés le tourbillon potentiel à 300hPa des états initiaux et à 30 h d'échéance.

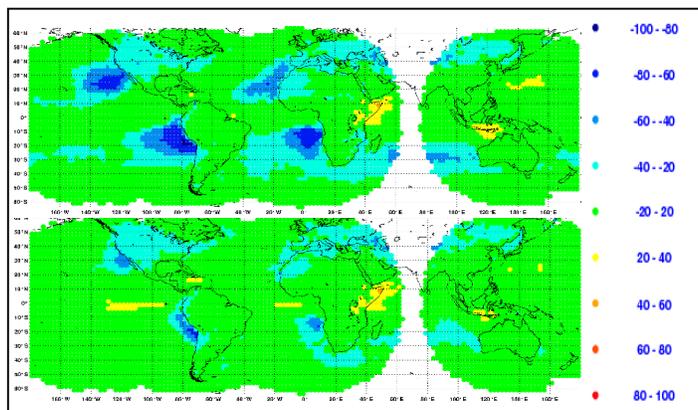
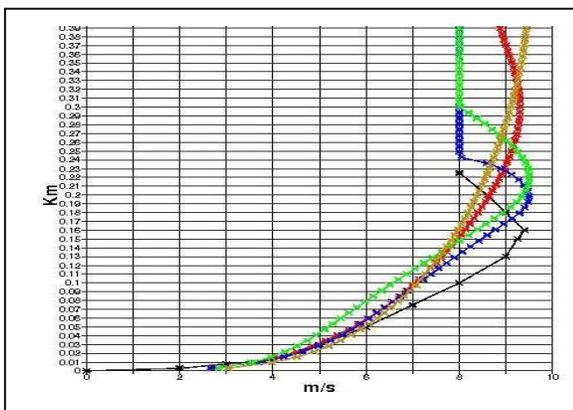


La figure de droite montre les prévisions AROME couplées aux 3 prévisions ARPEGE de la figure de gauche pour le cumul des précipitations sur 24 h. Au tourbillon potentiel tracé en vert, resp. rouge et bleu, correspond la figure de gauche, resp. du milieu et de droite. Il a ainsi pu être montré que la prévision des événements précipitants sur la Méditerranée occidentale de ces dernières années était fortement sensible à la forme, la position et l'amplitude des anomalies initiales de tourbillon potentiel. Des études ont également montré qu'un état initial idéalisé construit à partir de quelques modes planétaires et n'engendrant au départ pas de convection sur le bassin méditerranéen pouvait conduire à un événement précipitant en présence d'une anomalie de tourbillon potentiel de forme simple et que la localisation et l'intensité de cet événement était fortement sensible à l'orientation de l'anomalie de tourbillon potentiel. Confortés par la forte sensibilité des simulations à mésoéchelle de systèmes précipitants au tourbillon potentiel initial, nous avons tenté avec succès d'améliorer la prévision à 2 jours d'échéances du système précipitant à l'origine de la catastrophe d'Alger de Novembre 2001 par action sur le tourbillon potentiel des conditions initiales (Argence et al, 2009) après examen de la vapeur d'eau observée par le satellite Meteosat 8. Dans le cadre d'une collaboration avec l'Université des Baléares, un prototype de perturbation du tourbillon potentiel initial dans le contexte de l'initialisation d'une prévision d'ensemble à mésoéchelle a été mis en place. Cette activité se poursuit dans le cadre d'une thèse co-encadrée par le GAME et le LA.

Références

- Argence S., D. Lambert, E. Richard, J-P. Chaboureau, Ph. Arbogast, K. Maynard, 2009: Improving the numerical prediction of a cyclone in the Mediterranean by local potential vorticity modifications. Quart. Jour. Roy. Meteor. Soc., 135, 865-879.
- Arbogast Ph., K. Maynard and F. Crépin, 2008: ERTEL Potential inversion using a digital-filter-initialization method. Quart. Jour. Roy. Meteor. Soc. 134 1287-1296
- Plu M., P. Arbogast and A. Joly, 2008: A wavelet representation of synoptic-scale coherent structures J. Atmos. Sci., 65, 3116–3138

Depuis 2007, le modèle global ARPEGE utilisé pour la prévision opérationnelle du temps a évolué en termes de résolution spatiale et de paramétrisations physiques. La résolution horizontale est ainsi passée de 23 à 10 km sur France et de 134 à 60 km aux Antipodes. L'atmosphère est découpée en 70 couches verticales au lieu de 46 antérieurement avec un raffinement porté dans la couche limite et vers 10-12 km d'altitude afin de mieux décrire les courants-jets. La précision des calculs sur la verticale est améliorée par l'activation d'un schéma numérique mis au point au CEPMMT. Ces changements de résolution ont notamment permis un couplage direct avec le modèle de méso-échelle AROME. Le renouvellement des paramétrisations physiques s'est poursuivi dans le cadre du développement d'une physique commune pour les besoins de la prévision du temps et de la recherche sur le climat adaptée aux échelles hydrostatiques. Cette stratégie repose sur des travaux de recherches effectués au CNRM-GAME et dans le cadre de nos collaborations (ALADIN, CEPMMT, HIRLAM, IPSL, LA), sur une convergence de certaines paramétrisations physiques (couche limite, rayonnement) avec le modèle AROME et sur une validation multi-échelles : simulations 1D (cas GCSS, EUROCS, EUCLIPSE, etc.) et 3D dans des configurations « prévision du temps », « prévision saisonnière » et « simulation climatique ». La représentation de la couche limite a été profondément révisée avec l'implémentation d'un schéma de diffusion en énergie cinétique turbulente pronostique, d'un schéma en flux de masse représentant la convection peu profonde humide et d'une nouvelle paramétrisation des flux de surface océaniques « ECUME » établie à partir des observations de plusieurs campagnes de mesures. Le vent, la température et l'humidité dans la couche limite, ainsi que la nébulosité basse, ont été améliorés. L'utilisation d'un schéma de convection peu profonde spécifique a permis une révision des conditions de déclenchement du schéma de convection profonde à l'origine d'une diminution réaliste de la fréquence d'occurrence des faibles précipitations (entre 1 et 5 mm par jour).



Le graphique de gauche représente le module de vent dans les 400 premiers mètres au dessus du sol pour le cas 1D de couche limite stable GABLS-1 avec l'ancien (en rouge) et le nouveau schéma de turbulence (en vert). La courbe noire représente la moyenne des modèles LES.

Les graphiques de droite représentent la différence de nébulosité totale (en %) simulée par le modèle ARPEGE (ancienne version en haut et nouvelle version en bas) avec la nébulosité satellitaire ISCCP sur les périodes cumulées DJF et JJA (en T224C1).

Références

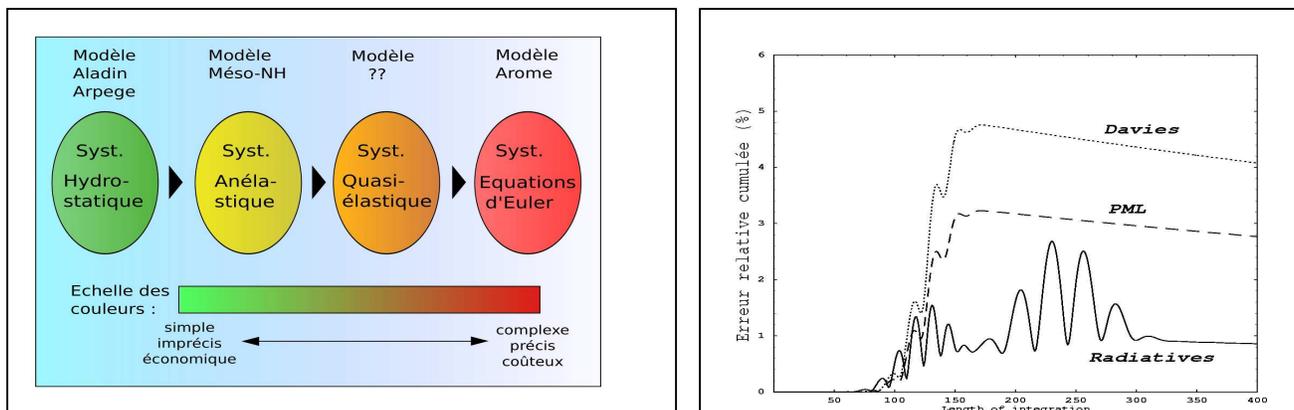
Piriou, J. M et al. 2007: An approach for convective parameterization with memory: separating microphysics and transport in grid-scale equations. *J. Atmos. Sci.*, 64, 4127–4139.

Bouniol, D., Protat, A., Delanoe, J., Pelon, J., Piriou, J.-M., Bouyssel, et al. 2010 : Using continuous ground-based radar and lidar measurements for evaluating the representation of clouds in four operational models. *J. Appl. Meteor. Climatol.*, Vol 49, 9, 1971-1991.

Bouteloup, Y., Seity, Y. and Bazile, E., 2011 : Description of the sedimentation scheme used operationally in all Météo-France NWP models. *Tellus A*, 63: 300–311.

Des recherches sont menées sur deux aspects fondamentaux de la prévision numérique : la définition du système d'équations le mieux adapté au problème, et le couplage entre modèles d'échelles différentes.

L'opportunité d'utiliser le système Quasi-Elastique, récemment proposé, pour résoudre les équations d'évolution météorologiques à échelle fine est examinée en collaboration avec le CEPMMT (Reading). Ce système filtre les ondes acoustiques, mais à l'inverse des systèmes anélastiques, il entraîne très peu d'approximation par rapport au système natif des Equations d'Euler (cf. fig. de gauche). Son intérêt potentiel est d'être peut-être moins contraignant du point de vue de la solution numérique, la représentation des processus rapides se trouvant simplifiée par rapport au système des Equations d'Euler. L'avantage peut alors se traduire par un coût moindre, ou par une plus grande souplesse des algorithmes utilisables. Néanmoins, la présence d'une équation diagnostique complexe pour la pression exige un nouveau savoir-faire par rapport aux modèles traditionnellement utilisés en prévision numérique. L'applicabilité pratique (opérationnelle) du système Quasi-Elastique reste encore à démontrer, notamment la possibilité de résoudre à faible coût l'équation de pression. Parallèlement à cela, les propriétés numériques du système discrétisé en temps et en espace, notamment sa stabilité, seront examinées.



La méthode de relaxation de Davies (1976), actuellement employée afin d'assurer le couplage latéral non-interactif entre les modèles de grande échelle et ceux d'échelle plus fine, est certes robuste et efficace, mais ne s'appuie sur aucune justification théorique. Deux nouvelles stratégies de couplage mieux posées mathématiquement ont donc été proposées, puis testées dans le cadre académique d'un modèle spectral en eaux peu profondes unidimensionnel : les méthodes dites radiatives (sans zone tampon) et les méthodes dites à zone tampon parfaitement adaptée (ou PML pour Perfectly Matched Layer). Les tests illustrés par la figure de droite montrent la supériorité de ces deux méthodes en termes de précision par rapport à la méthode de relaxation, et notamment de la méthode radiative. Toutefois, la transposition de cette méthode dans le contexte spectral et « semi-implicite » est possible mais soulève des difficultés algorithmiques importantes (Termonia et Voitus 2008, Voitus et al. 2009). La méthode PML en revanche, se prête mieux au cadre spectral du fait de sa similitude avec la technique de relaxation. Ce travail constitue un premier pas vers l'élaboration d'une stratégie de couplage plus raffinée que celle de Davies (1976). Les futurs travaux envisagés consisteront à étendre l'étude au cas des équations d'Euler élastiques (NH).

Références

Voitus F., Termonia P., and P. Bénard, 2009 : Well-posed boundary Conditions for Spectral Semi-implicit Semi-Lagrangian Schemes : Tests in a One-Dimensional Model.

Mon. Wea. Rev, 137, pp 315-330.

Termonia, P., and F. Voitus, 2008 : Externalizing the lateral-boundary conditions from the dynamical core in the semi-implicit semi-Lagrangian models. Tellus, 62A, 632-648.

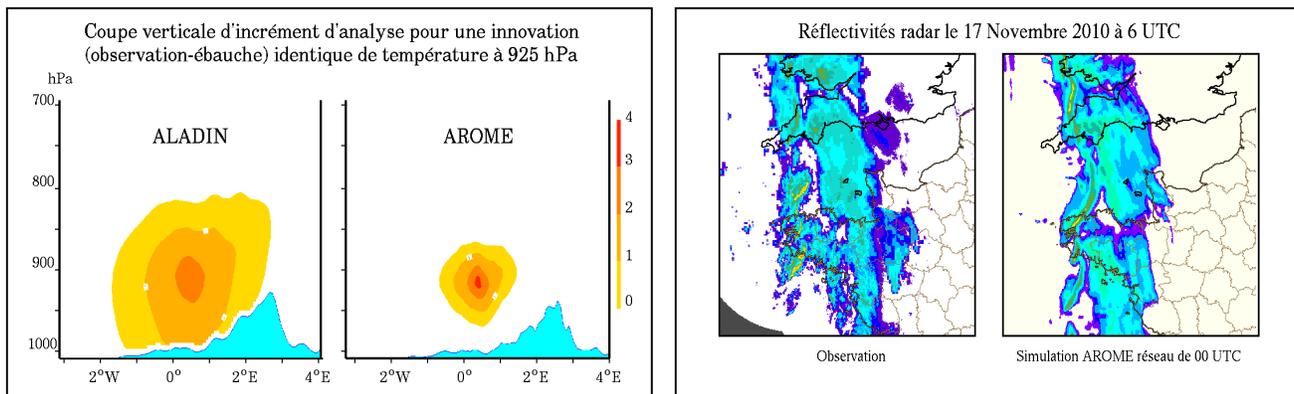
Bénard, 2010 : NH modelling with AROME and some properties of Quasi-Elastic systems.

Workshop on NH modelling, Reading, 8-10 Nov. 2010

Le modèle à aire limitée AROME, avec sa maille de 2.5 km sur la France, est le dernier né des modèles de prévision numérique du temps exploités en opérationnel à Météo-France. Ce modèle de méso-échelle a été développé grâce à d'étroites collaborations nationales et internationales, tant au niveau du choix et des réglages de ses paramétrisations physiques et de son noyau dynamique non-hydrostatique que de son système d'assimilation.

Des développements ont notamment porté sur la convection peu profonde, la couche limite de surface, l'augmentation de la fréquence du cycle d'assimilation, le calcul des statistiques d'erreur d'ébauche, l'assimilation d'observations plus représentatives de la méso-échelle (mesures du réseau radar ARAMIS par exemple).

La participation à diverses expériences internationales, parmi lesquelles on peut citer AMMA en 2006 ou MAP-DPHASE et COPS en 2007, ont permis de comparer le modèle à l'état de l'art en modélisation méso-échelle, et d'orienter des travaux afin de corriger certains défauts de jeunesse du modèle (comme la surestimation des pluies convectives par exemple).



AROME permet de mieux prévoir les phénomènes de méso-échelle. La figure de gauche illustre la capacité du système d'assimilation à produire des conditions initiales de plus fine échelle par rapport à celles d'ALADIN (le modèle à aire limitée hydrostatique utilisé au préalable à une résolution de 10km). Le détail de ces analyses, associé aux qualités de la physique et de la dynamique du modèle permettent de simuler des structures convectives précipitantes très réalistes, comme le montre la figure de droite sur la situation du 17 Novembre 2010.

Des recherches sont en cours pour, entre autres, évaluer les adaptations de la physique du modèle nécessaires pour traiter des résolutions plus fines. Des expérimentations ont par exemple été réalisées à 1km de résolution autour de Val d'Isère pendant les championnats du monde de ski en Février 2009. Les travaux concernant l'assimilation portent sur une utilisation plus fréquente des observations et la spécification de covariances d'erreur d'ébauche dépendantes de la situation météorologique.

Références

Brousseau P., L. Berre, F. Bouttier, G. Desroziers 2011. Background-error covariances for a convective-scale data-assimilation system: AROME-France 3D-Var. Q. J. R. Meteorol. Soc. 137: 000-000.

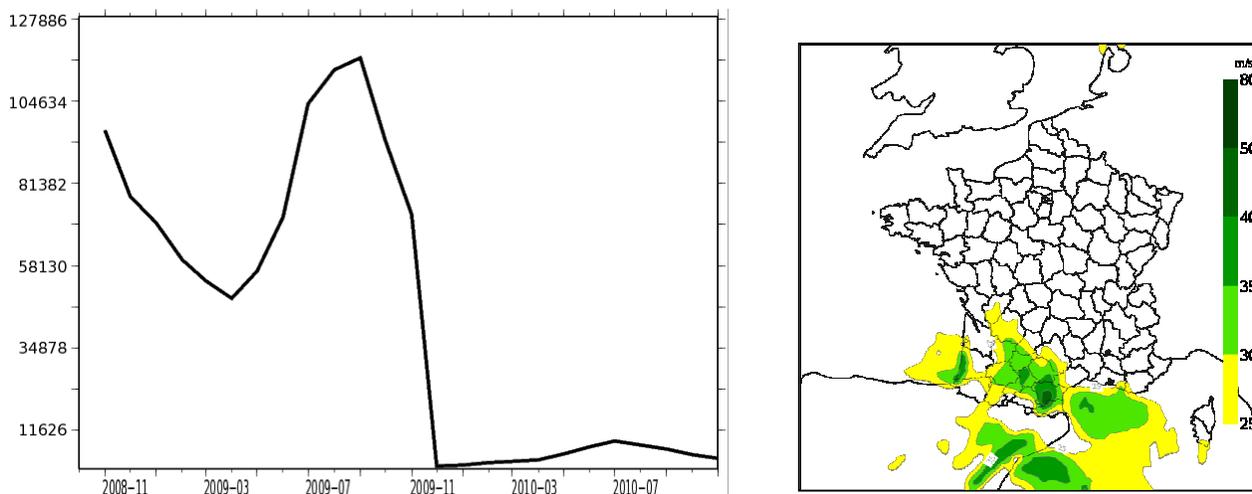
DOI:10.1002/qj.750

Pergaud J., V. Masson, S. Malardel and F. Couvreur, 2009, A parameterization of dry thermals and shallow cumuli for mesoscale numerical weather prediction, Bound.-Layer Meteor., 132, 83-106

Seity Y., P. Brousseau, S. Malardel, G. Hello, P. Bénard, F. Bouttier, C. Lac and V. Masson, 2011, The AROME-France convective scale operational model, Mon. Wea. Rev., doi: 10.1175/2010MWR3425.1

La PEARP, ou Prévision d'Ensemble ARPEGE, est le système de prévision d'ensemble opérationnel de Météo-France. Cet outil vise à estimer l'incertitude inhérente à toute prévision et à aider à l'anticipation des phénomènes intenses. Il nécessite d'une part la prise en compte de l'incertitude sur l'état initial et d'autre part la prise en compte de l'imperfection du modèle de prévision (erreur modèle). En ce qui concerne le premier point, des travaux menés en collaboration avec le Laboratoire de Météorologie Dynamique (projet ANR PREVASSEMBLE) et dans le cadre du projet CYPRIM (ACI Aléas et changements globaux) ont montré l'intérêt des méthodes dites d'assimilation d'ensemble qui prennent en compte les sources d'incertitudes du processus d'assimilation de données (Descamps 2007, Descamps et Talagrand 2007). Pour le second point, l'impact de différents jeux de paramétrisations physiques a été évalué et comparé à une perturbation aléatoire simple des tendances de la physique (Descamps et al. 2009).

Les deux illustrations montrent l'impact de la mise en place de ces résultats au sein de PEARP. La figure de gauche montre, pour le paramètre température à 850hPa, l'évolution de la fiabilité de PEARP au cours des deux dernières années (score delta, plus le score est petit meilleur est le résultat). La figure de droite est une prévision à 42h pour le cas de la tempête KLAUS (24/01/09). On représente le seuil de vent prévu au moins atteint par un quart des prévisions.



L'évolution du score mesurant la fiabilité de l'ensemble montre une nette amélioration à partir de fin 2009, ce qui correspond à l'introduction de l'assimilation d'ensemble et à la prise en compte de l'erreur de modélisation. On observe donc un impact très positif de ces deux évolutions apportées au système. L'illustration de la tempête KLAUS montre que PEARP représente bien la trace du système dépressionnaire avec des valeurs de vent prévues proches des valeurs réellement observées. Cet événement météorologique intense est ici correctement anticipé près de deux jours à l'avance. Les résultats des différents travaux de recherche menés ces dernières années ont donc permis, par leur transfert au sein du système opérationnel, d'apporter une nette amélioration à la qualité de la prévision d'ensemble ARPEGE. Parmi les évolutions envisagées, un travail de recherche sur une meilleure évaluation de l'erreur de modélisation est en cours dans le cadre de PREVASSEMBLE. Un autre axe de travail envisagé est celui de la mise en place d'une « climatologie du modèle ». Situer les prévisions au sein de cette climatologie permettrait de mieux anticiper le caractère exceptionnel d'un phénomène tel que KLAUS.

Références

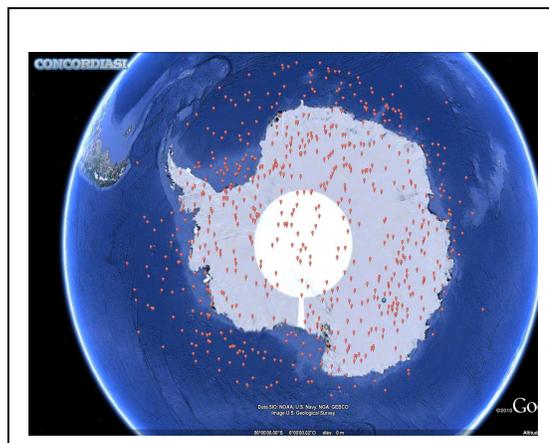
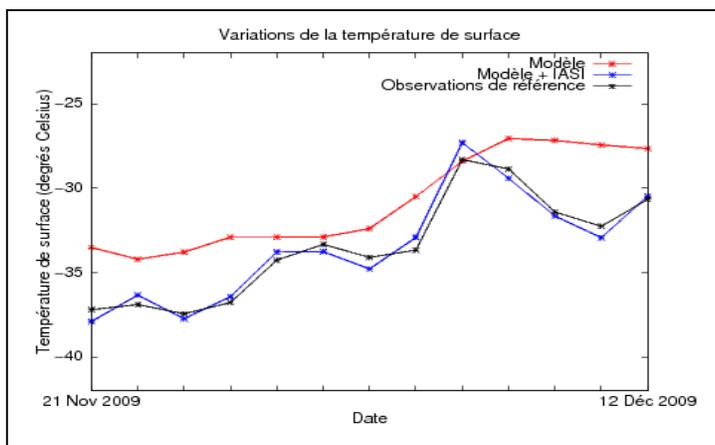
L. Descamps et O.Talagrand : "On some aspects of the definition of initials conditions for ensemble predictions ", Mon.Wea.Rev.,2007

L.Descamps : "Définitions des conditions initiales d'une prévision d'ensemble. Liens avec l'assimilation de données." Thèse de doctorat de l'Université Pierre et Marie Curie, Paris, 2007

L.Descamps, C.Labadie, A.Joly, E.Bazile et J.Nicolau : "PEARP, the Météo-France Ensemble Prediction System", WWRP/TTISS, Monterey, 2009

GMAP-14 Concordiasi : une campagne de mesures internationale en Antarctique

Coordonné par le GAME, soutenu par Météo-France mais aussi par le CNES et la NSF, Concordiasi est un programme international d'observations atmosphériques innovantes qui associe des équipes françaises, américaines, italiennes et britanniques et des organisations internationales comme le Centre Européen de Prévisions Météorologiques à Moyen-Terme, et bénéficie du soutien des agences polaires. Il vise à calibrer et valider les programmes d'intégration des données du sondeur IASI dans les modèles météorologiques en Antarctique, et à étudier la dynamique et la physicochimie de la couche d'ozone. Des campagnes de mesure au sol ont été menées depuis 2008 à partir de la base franco-italienne Concordia et de la base française Dumont d'Urville. De septembre à octobre 2010, 19 ballons stratosphériques équipés de capteurs ont été lancés depuis la base de Mc Murdo. Emportés par le vortex polaire, ils ont tourné pendant plusieurs mois à une altitude de 20 km au-dessus de l'Antarctique. À bord des nacelles, ont été embarqués plusieurs capteurs développés par le Laboratoire de Météorologie Dynamique, l'Université du Wyoming et l'Université du Colorado, pour l'analyse en continu de la teneur en ozone ou des processus de formation des nuages stratosphériques polaires. Les nacelles ont embarqué également une cinquantaine de dropsondes chacune qui ont été larguées sur demande.



Au cours de la première phase de la campagne Concordiasi (printemps austraux 2008 et 2009), des mesures de radiosondages réalisées à la station Concordia ont été comparées à des profils de l'atmosphère issus du modèle de prévision de Météo-France. Il a été constaté que le modèle de prévision manquait de précision pour simuler correctement la température de surface à Concordia. Par contre, l'utilisation combinée de IASI et du modèle s'est révélée positive car elle permet de se rapprocher nettement des mesures in situ (figure de gauche). Ceci permet de valider l'utilisation des données IASI pour ajuster le modèle dans cet environnement très particulier de la station de Concordia. La seconde phase de Concordiasi, de septembre à novembre 2010, permet d'étendre les réglages à une zone beaucoup plus large et dans des conditions météorologiques variées. L'ensemble des mesures de dropsondes effectuées depuis le début de la campagne est représenté sur la figure de droite. Les profils atmosphériques obtenus seront précieux pour documenter la performance des modèles météorologiques dans ces régions, et les améliorer.

Références

- Bouchard A, F. Rabier, V. Guidard & F. Karbou, 2010: Enhancements of satellite data assimilation over Antarctica. Mon. Wea. Rev., **138**, 2149–2173. Doi : 10.1175/2009MWR3071.1.
- Guedj S., F. Karbou, F. Rabier, A. Bouchard, 2010: Toward a better modelling of surface emissivity to improve AMSU data assimilation over Antarctica. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, **48**, n°4, 1976-1985.
- Rabier F. et al., 2010: "The Concordiasi project in Antarctica" Bulletin of the American Meteorological Society, January 2010, 69-86.