

Assimilation des réflectivités radar dans AROME

Rashyd Zaaboul
DMN/CNRM/SPN, Maroc
zaaboul@gmail.com

Toulouse, Décembre 2007

Introduction

Le système d'assimilation du modèle AROME (Applications de la Recherche à l'Operational à Mesoéchelle) a été développé pour permettre l'assimilation des données radar (réflectivité et vitesse Doppler). Les données polarimétriques ne sont pas encore exploitées pour initialiser les hydrométéores dans le modèle. L'action sera mise dans cette étude sur la validation de l'assimilation des réflectivités radar sur le domaine France. Les réflectivités de 17 radars des 24 formant le réseau ARAMIS (Application Radar à la Météorologie Infra-Synoptique) qui couvre la France (Fig.1) sont ainsi assimilées pour les situations du 17 Septembre et 03 Octobre 2007. Nous avons évalué la sensibilité du système au nombre de profils pris en compte dans l'inversion des réflectivités et à la distance inter-profile.

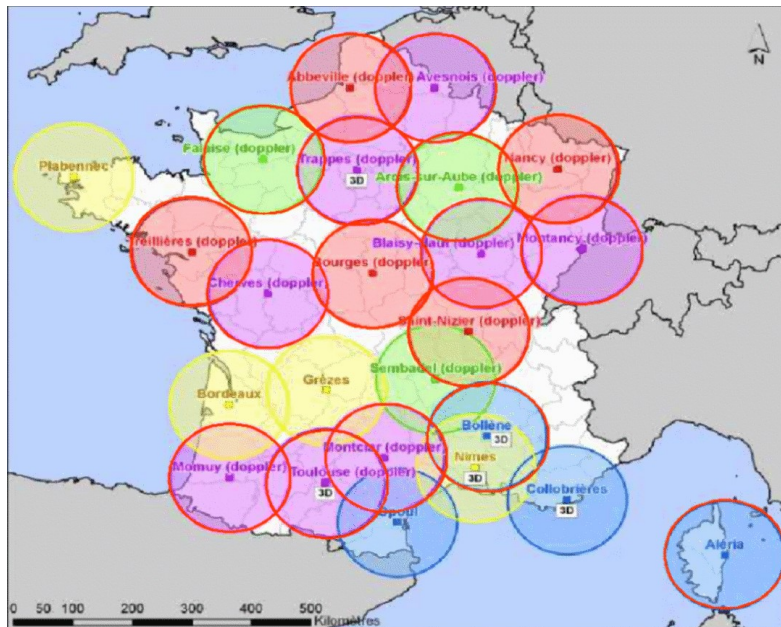


Fig.1 Réseau radar ARAMIS (24 radars dont 17 doppler en rouge)

1- Observations assimilées et opérateurs d'observation

Les réflectivités peuvent être assimilées directement en utilisant les techniques variationnelles (Sun et Crook, 1997) ou le filtre de Kalman d'ensemble (Tong et Xue, 2005). Un opérateur d'observation est cependant nécessaire pour transformer les variables pronostiques du modèle en réflectivité. Il existe plusieurs opérateurs d'observation des plus complexes au plus simples permettant cette transformation. Les plus simples calculent une diffusion de type Rayleigh à partir des hydrométéores simulés par le modèle en point de grille (Sun et Crook, 1997, Xiao *et al.* 2004). Les techniques d'assimilation variationnelles nécessitent aussi le développement des versions tangente-linéaire et adjointe de cet opérateur d'observation. Ceci peut être contraignant et lourd à mettre en place.

Cependant, il existe une alternative à l'assimilation des réflectivités. Il s'agit de convertir ces dernières en un autre type d'observation déjà assimilable ou dont la relation avec les variables pronostiques du modèle utilisé est facile à établir. Les réflectivités observées peuvent ainsi être converties en contenus en hydrométéores, en taux de précipitations au sol ou en profils verticaux d'humidité et/ou de température. La relation entre les réflectivités et le contenu en hydrométéores ou le taux de précipitations est plus ou moins facile à établir. Les hydrométéores peuvent être restreints à l'eau liquide précipitante et le taux des précipitations peut être calibré en utilisant les données pluviométriques. Il faut noter que l'assimilation de ces deux grandeurs présente un certain nombre d'inconvénients notamment la perte de l'information tridimensionnelle dans le cas des taux de précipitations au sol.

La conversion des réflectivités en profils verticaux d'humidité et/ou de température (fig.2) n'est pas une tâche facile car la relation entre les premières et les deux grandeurs physiques n'est pas directe. Certaines techniques n'utilisent que les données où les précipitations sont présentes et y imposent des humidités élevées (Gallus et Segal, 2001). D'autres relient ces quantités de manière plus ou moins directe (inversion du schéma de convection, formule semi-empirique, technique variationnelle). Cette modification de l'humidité (et éventuellement de la température, de la vitesse verticale) est introduite directement dans l'état initial du modèle ou bien les données d'humidité ainsi obtenues sont analysées par un système d'assimilation (typiquement variationnel ou relaxation newtonienne). C'est cette dernière méthode qui a été retenue pour le système d'assimilation dans le modèle AROME.

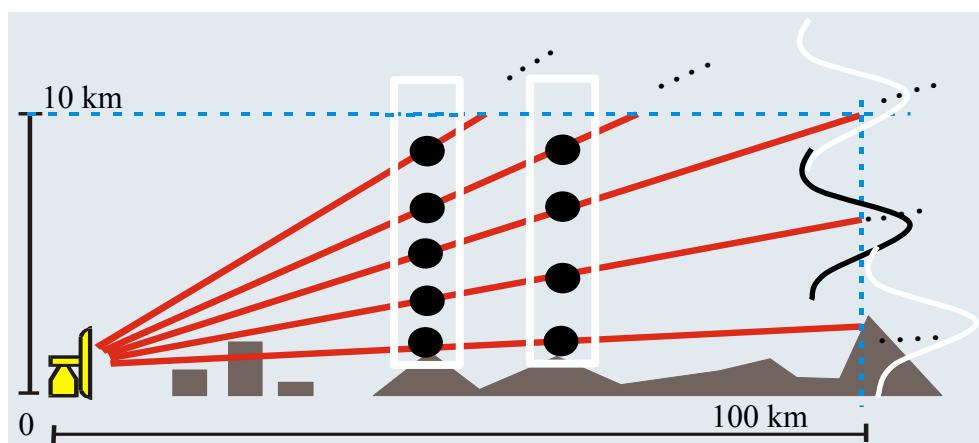


Fig2. Profils des réflectivités déterminés à partir des faisceaux du radar

3- Simulateur de réflectivités radar

Un simulateur de réflectivités radar a été développé dans le post-traitement du modèle méso-NH et testé dans un système d'assimilation 3DVar hybride Aladin/Méso-NH dans le cadre de la thèse d'Olivier Caumont. Il existe plusieurs simulateurs de réflectivités radar qui sont utilisés dans différents domaines allant de l'étude du lien entre la mesure radar et des quantités estimées à partir des réflectivités (pluie au sol, etc.), la validation des modèles atmosphériques à l'assimilation de données. Le simulateur qui a été développé par Olivier Caumont dans le post-traitement du modèle méso-NH a été conçu en faisant un certain nombre d'approximations. Ainsi les lobes secondaires sont négligés dans la fonction de directivité de l'antenne et cette dernière est modélisée par une fonction gaussienne. On tient compte de l'élargissement du faisceau sur la verticale et sur l'horizontale ainsi que de sa courbure. Pour le calcul de la diffusion, quatre méthodes sont implémentés dans le simulateur : diffusion de Rayleigh, diffusion de Rayleigh par des sphéroïdes aplatis, diffusion de Mie et matrice T pour des sphéroïdes aplatis. Pour plus de détails sur le simulateur utilisé dans méso-NH et porté dans le code Arome ainsi que sur les approximations et les caractéristiques le lecteur peut se référer au manuscrit d'Olivier Caumont.

4- Assimilation des réflectivités radar

Les méthodes d'assimilation de données sont diverses et variées. Le choix de la méthode repose sur le degré de sa complexité, de son coût et de son efficacité à analyser et prévoir des phénomènes à échelle fine pour les modèles à haute résolution par exemple. Parmi ces méthodes on peut citer quelques une utilisées pour l'assimilation des réflectivités radar : l'assimilation variationnelle quadridimensionnelle (4DVar), tridimensionnelle (3DVar), unidimensionnelle (1DVar), Filtre de Kalman d'ensemble, initialisation physique, *latent heat nudging*, ajustement de l'humidité et d'autres variables du modèle. Le choix de telle ou telle méthode pour assimiler les réflectivités ne peut malheureusement pas être indépendant de celle utilisée pour assimiler les autres observations dans Arome. Ainsi, l'assimilation tridimensionnelle est inévitable. Bien que l'assimilation 3DVar directe des réflectivités semble avoir un effet positif sur la qualité des prévisions quantitatives des précipitations (Xiao et al. 2004) surtout dans les 3 premières heures de l'intégration libre du modèle après un cyclage d'une journée toute les 3 heures, son implémentation dans le modèle Arome est contraignante et coûteuse pour un gain plutôt faible (Caumont et al. 2007). Le choix pour le modèle Arome a été porté sur une méthode dite 1D+3DVar. Cette méthode réalise d'abord une inversion unidimensionnelle des réflectivités en un profile d'humidité par une restitution bayésienne 1D puis assimile cette pseudo-observation d'humidité par le système 3DVar du modèle Arome.

5- Méthode de restitution bayésienne 1D

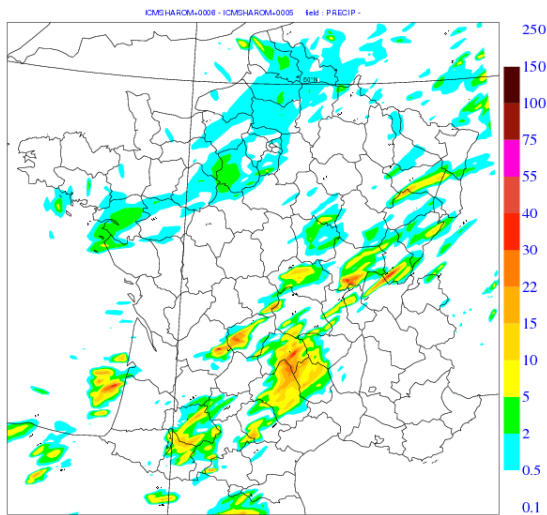
La méthode de restitution bayésienne 1D utilisée pour inverser les réflectivités en profiles d'humidité a été inspirée de l'algorithme GPROF (Goddard Profiling algorithm) développé par Olson et al. (1996) puis par Kummerow et al. (2001) pour transformer des observations satellitaires en taux de précipitations à l'aide du modèle de nuage GCE (Goddard cumulus ensemble). Cette méthode permet la simulation de nombreux profiles verticaux de paramètres à restituer et d'observables satellitaires synthétiques associées grâce à GCE. Les approximations suivantes sont cependant prises en compte :

- les erreurs simulées et observées sont gaussiennes, décorrélées, de moyenne nulle,
- Les profiles calculés sont de la même probabilité que ceux existant dans la nature.

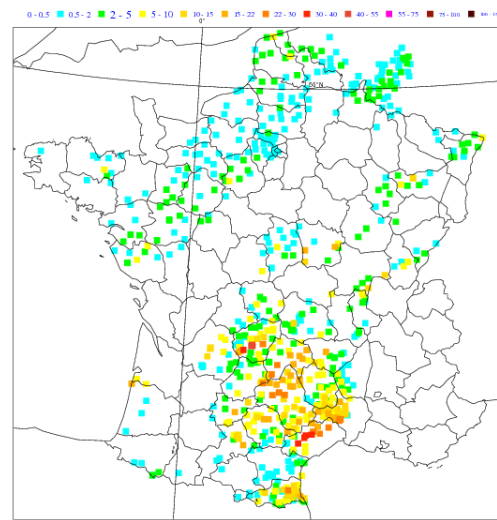
Le théorème de Bayes est appliqué pour estimer le profile verticale de paramètre à restituer le plus probable. Le détail de cette méthode et les formulations mathématiques utilisées sont documentés par Olivier Caumont dans son manuscrit de thèse.

6- Expériences et résultats

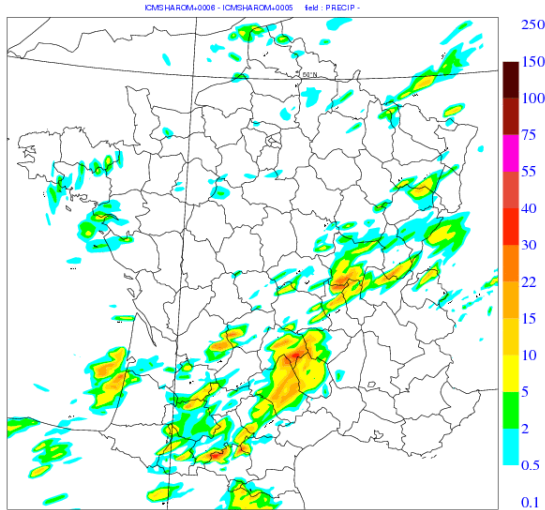
Nous avons choisi de tester le système précédemment évoqué sur deux situations météorologiques qui ont intéressées la France le 17 Septembre et 03 Octobre 2007. Nous avons comparé les prévisions des précipitations par un système assimilant toutes les observations à l'exception des données radar et le même système en ajoutant uniquement l'assimilation des réflectivités (les vitesses doppler sont exclues). 14 expériences ont été élaborées pour cet effet. Les résultats des expériences de la situation du 03 Octobre n'étaient pas très concluantes et ne seront pas présentées ici. Dans les 7 expériences de la situation du 17 Septembre nous avons étudié la sensibilité du système au nombre de profils pris en compte dans l'inversion 1D et à la distance inter-profil. Le nombre de profils doit obéir à la règle suivante $Nb=(2n+1)^2$. Par défaut ce nombre est pris égale à 49. Nous avons essayé 49, 81 et 121 dans les expériences 731M, 81UR et 81US respectivement. La distance inter-profil est égale à 30 Km par défaut. Nous avons testé 30 Km, 60 Km et 100 Km dans les expériences 731M, 81UQ et 734C respectivement. L'expérience de référence dans laquelle les données radar sont exclues est nommée 81SW. Les cumuls horaires des précipitations sont comparés au cumuls horaires mesurés par des pluviomètres au sol. Des scores mettant en évidence la probabilité de détection et de fausses alarmes sont calculés en utilisant les cumuls horaires des précipitations mesurés par les pluviomètres. Les résultats obtenus sont commentés ci-après. Toutes les figures correspondent au cumul horaire des précipitations entre 17h et 18h le 17/09/2007



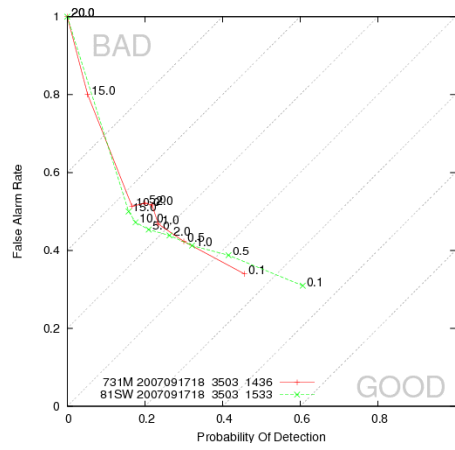
Expérience de référence 81SW (sans données radar)



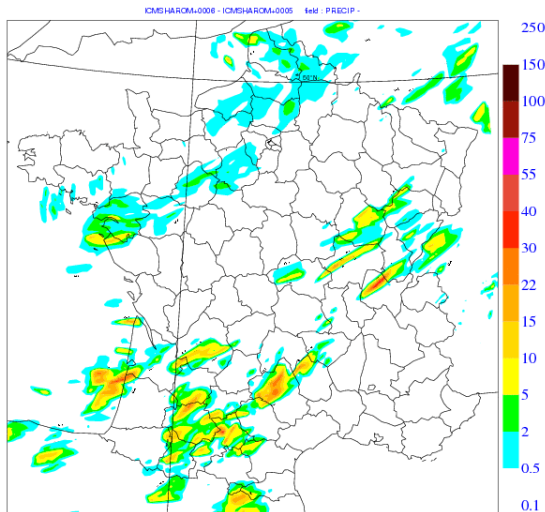
Cumul horaire des précipitations mesurées entre 17h et 18h le 17/09/2007



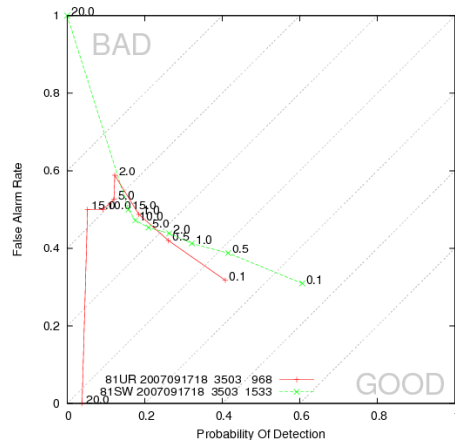
Expérience 731M (49 profiles, 30 Km de distance inter-profile)



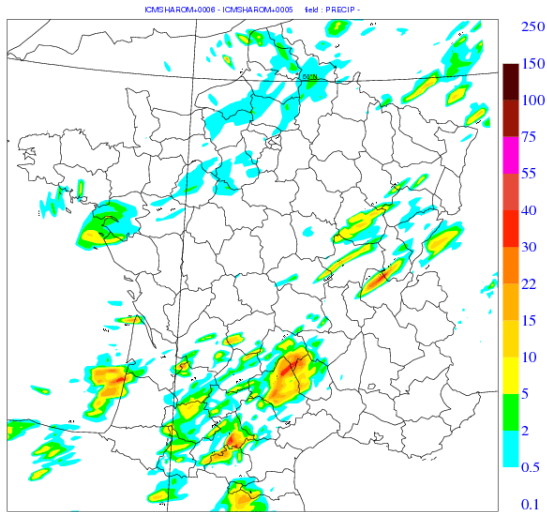
Probabilité de détection et fausses alarmes (expérience de référence 81SW en vert et 731M en rouge)



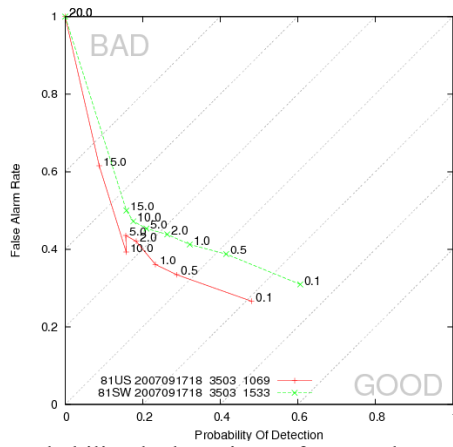
Expérience 81UR (81 profiles, 30 Km de distance inter-profile)



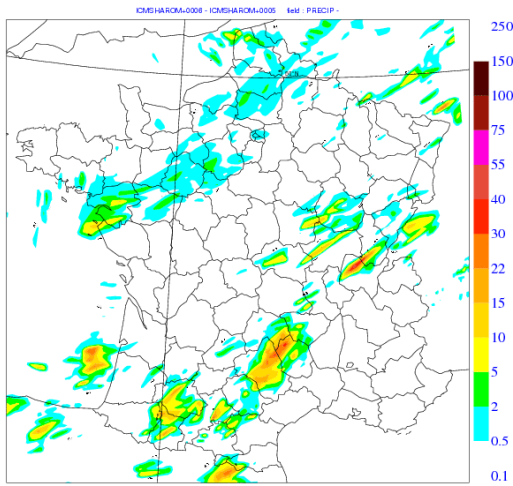
Probabilité de détection et fausses alarmes (expérience de référence 81SW en vert et 81UR en rouge)



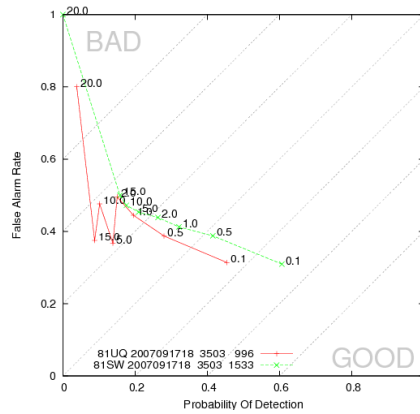
Expérience 81US (121 profiles, 30 Km de distance inter-profile)



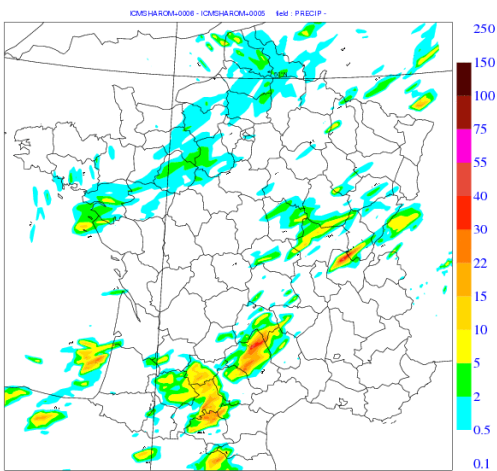
Probabilité de détection et fausses alarmes (expérience de référence 81SW en vert et 81US en rouge)



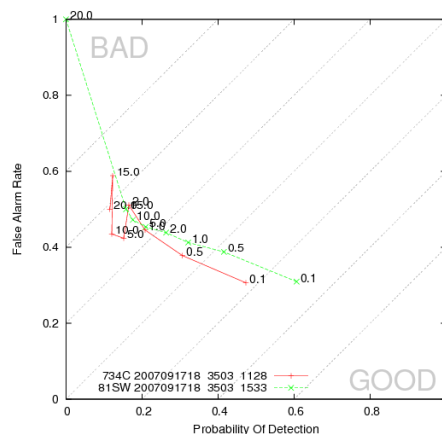
Expérience 81UQ (49 profiles, 60 Km de distance inter-profile)



Probabilité de détection et fausses alarmes (expérience de référence 81SW en vert et 81UQ en rouge)



Expérience 734C (49 profiles, 100 Km de distance inter-profile)



Probabilité de détection et fausses alarmes (expérience de référence 81SW en vert et 734C en rouge)

En analysant les cartes présentées ci-dessus on se rend compte que le système est très sensible au nombre de profils pris en compte dans la formule de l'inversion des réflectivités radar et aussi à l'inter-distance entre ces profils. Les deux systèmes pluvieux au nord ouest et au sud de la France sont, cependant mieux prévus par le modèle sans assimilation des données radar que lors de l'assimilation des réflectivités. Une augmentation du nombre de profils a montré une légère amélioration pour la prévision du système frontale au nord de la France là où les précipitations étaient plutôt faibles et bien étalées. Cependant, aucune amélioration n'a été observée pour le système quasi stationnaire à fort cumul de précipitations au sud. L'augmentation de l'inter-distance entre les profils semble avoir le même effet que le nombre de ces derniers. Cependant il reste un problème majeure que l'on peut facilement détecter sur les différentes cartes. L'assèchement des zones où le radar a bien détecté des échos et où les pluviomètres confirment l'existence des précipitations au sol alors que le modèle n'a rien prévu (dans son ébauche) et l'humidification des zones où le radar n'a rien détecté et où l'ébauche était plus humide. En d'autres termes le système n'arrive pas à apporter une correction logique de l'ébauche qui permet de s'approcher plus de la réalité. Nous avons essayé de comprendre pourquoi un tel comportement. Pour cela nous avons tracé le vecteur innovation des réflectivités simulées fg_depar et le vecteur innovation des humidités relatives q_2 (Fig.3). On remarque sur cette figure que la réponse du système n'est pas homogène. Les points dans le carré en bas à droite et en haut à gauche ne sont pas très cohérents avec la réalité. Le système assèche là où le vecteur innovation des réflectivités est positif et humidifie dans le cas contraire alors que la réponse attendue était plutôt l'inverse.

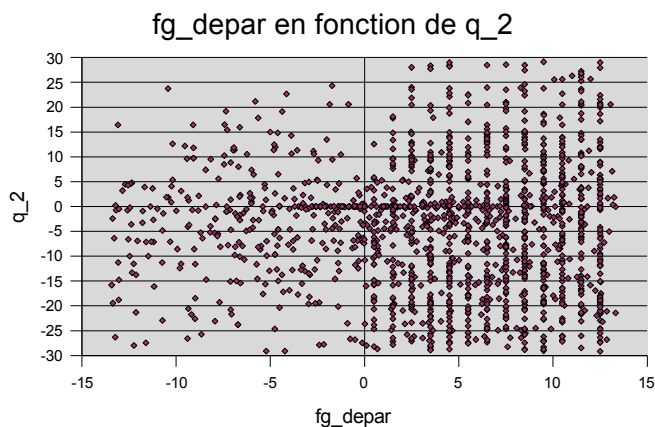


Fig.3 Vecteur innovation de l'humidité relative en fonction du vecteur innovation des réflectivités radar (Expérience 734C le 17/09/2007 à 12h)

L'incrément d'analyse de l'humidité spécifique tracé sur la figure (Fig.4) montre clairement que le système assèche considérablement sur les bouches du Rhône et à l'avant et l'arrière du front au nord de la France.

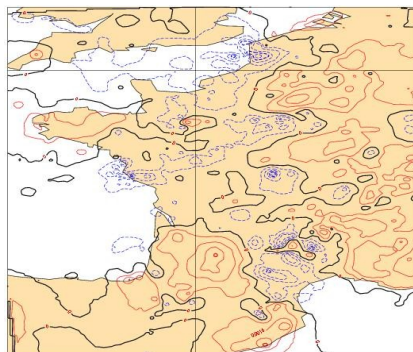


Fig.4 Incrément d'analyse de l'humidité spécifique (Expérience 734C le 17/09/2007 à 12h) valeurs négatives en bleue et positives en rouge

Pour remédier au problème de l'assèchement des zones humides une solution a été largement utilisée dans plusieurs études dans le passé et a été documentée par Olivier Caumont dans sa thèse. Cette solution consiste à imposer une sursaturation à tous les niveaux au dessus du niveau de condensation lorsque le modèle est plus sec que la pseudo-observation d'humidité. Cette solution n'est pas encore codée pour être testée dans Arome. Une autre solution consiste à appliquer un contrôle de qualité supplémentaire pour filtrer ces points qui ont une action négative sur l'analyse de la pseudo-observation d'humidité.

Conclusion

Un nouveau simulateur des réflectivités radar récemment développé dans le post-traitement de méso-NH a été porté dans le code Arome. Nous avons testé ce simulateur dans un RUC 3 heures en n'assimilant que les réflectivités radar en plus des observations habituellement assimilées dans Arome. Le système s'est montré sensible au nombre de profiles pris en compte dans l'inversion des réflectivités et à l'inter-distance entre ces profiles. Une augmentation de ces deux paramètres semble améliorer légèrement la prévision des précipitations. Toutefois le modèle réagit inversement au vecteur innovation des réflectivités radar. Un ajustement de l'humidité et contrôle de qualité supplémentaire sont en cours de test pour remédier à ce problème.

Références

- Caumont Olivier, 2007 : Thèse : Simulation et assimilation de données radar pour la prévision de la convection profonde à fine échelle.
- Sun et N. A. Crook, 1997 : Dynamical and microphysical retrieval from Doppler radar observations using a cloud model and its adjoint. Part I : Model development and simulated data experiments. *J. Atmos. Sci.*, **54**(12). 1642-1661.
- Tang M. et M. Xue, 2005 : Ensemble Kalman Filter assimilation of Doppler radar data with a compressible nonhydrostatic model : OSS experiments. *Mon. Wea. Rev.*, **133**(7), 1789-1807.
- Xiao Q., Y.-H. Kuo, J. Sun, W.-C. Lee, D. M. Barker et E. Lim, 2004 : Assimilation of Doppler radar observations and its impacts on forecasting of the landfalling typhoon Rusa (2002). *Proc. 3rd European Conf. on Radar in Meteorology and Hydrology (Erad3)*, Visby, Suède, Copernicus GmbH, 178-182.
- Gallus W. A. Jr. et M. Segal, 2001 : Impact of improved initialization of mesoscale features on convective system rainfall in 10-km eta simulations. *Wea. Forecasting*, **16**(6) 680-696.
- Caumont O. et al, 2007 : A Radar Simulator for High-Resolution Nonhydrostatic Models. *J. Atmos. Oceanic Technol*, **23** 1049-1067.
- Olson W. S., C. D. Kummerow, G. M. Heymsfield et L. Giglio, 1996 : A method for combined passive-active microwave retrievals of cloud and precipitation profiles. *J. Appl. Meteor.*, **35**(10) 1763-1789.
- Kummerow C., Y. Hong, W. S. Olson, S. Yang, R. F. Adler, J. McCollum, R. Ferraro, G. Petty, D.-B. Shin et T. T. Wilheit, 2001 : The evolution of the Goddard profiling algorithm (GPROF) for rainfall estimation from microwave sensors. *J. Appl. Meteor.*, **40**(11) 1801-1820.