

Assimilation 1D-Var+3D-Var des précipitations radar dans AROME

Zahra Sahlaoui

2018

1. Introduction

Avec l'avènement des modèles de prévision numérique non hydrostatiques à maille fine tel qu'AROME, la prévision des précipitations a connu une nette progression et atteint un degré de réalisme assez avancé. Cependant, la maîtrise de certains événements convectifs donnant lieu à d'intenses pluies reste à améliorer. L'assimilation des données de haute résolution, en particulier les données radar, est un atout majeur permettant une meilleure prévision des épisodes de pluies intenses. Cependant, la nature des variables observées ainsi que la complexité des phénomènes impliqués posent plusieurs contraintes pour un usage optimum de ces données. En effet, les données radar du réseau français Aramis sont assimilées dans la chaîne opérationnelle d'AROME France en se basant sur la méthode 1D+3D-Var telle qu'établie et mise en œuvre par Wattrelot *et al*, 2014.

Dans ce travail, une approche différente est proposée pour assimiler les données radar. En effet, on s'intéresse à l'assimilation de l'estimation quantitative des précipitations à partir de la réflectivité radar dans AROME. Cette approche est inspirée par le travail de Philippe Lopez au CEPMMT qui consiste à assimiler les précipitations des radars américain NEXRAD dans le modèle IFS (Lopez et al, 2007). Dans le cas d'AROME, il s'agit de produire des pseudo-observations d'humidité à partir des données de précipitation ANTILOPE via un modèle 1D-Var. Les pseudo-observations sont ensuite assimilés dans le 3D-Var AROME en tant que données de sondage.

La première étape consistait à évaluer les performances du 1D-Var en réalisant une validation du schéma physique via la comparaison des ébauches et des analyses des précipitations 1D-Var avec celles d'AROME. L'étude des écarts entre les observations et l'ébauche et des écarts entre les observations et l'analyse a aussi été réalisée.

Les pseudo-profiles d'humidité produits par le 1D-Var ont été assimilés dans AROME durant deux épisodes Cévenoles du 19 Octobre et du 04 Novembre 2017. La comparaison avec une expérience AROME sans données d'humidité radar puis avec une deuxième expérience se basant sur l'assimilation 1D+3D-Var des réflectivités radar a permis une évaluation objective de la méthode proposée.

2. L'inversion 1D-Var des précipitations radar en profils d'humidité

2.1 Principe

Pour une observation donnée, le 1D-Var cherche l'état du modèle x qui minimise la fonction coût suivante :

$$J(x) = \frac{1}{2} (x-x_b)^T B^{-1} (x-x_b) + \frac{1}{2} (H_{1D}(x)-y^o)^T R_{1D}^{-1} (H_{1D}(x)-y^o)$$

- x est le vecteur d'état du modèle. Il est constitué des profils de température et d'humidité spécifique ainsi que la pression de surface.
- x_b est l'ébauche fournie par une prévision antérieure du modèle de courte échéance valable au moment de l'analyse. Ce sont des champs prévus par le modèles AROME qui sont utilisés. Il s'agit des profils de température, d'humidité spécifique et de la pression de surface. Pour alimenter les paramétrisations physiques appelées par 1D-Var (H_{1D}), on a aussi utilisé les tendances de la pression et de l'humidité spécifique sur la dernière heure, la température de surface, les flux de chaleur sensible et latente en surface ainsi que le stress dynamique du vent. A noter que les champs AROME sont d'abord interpolés vers les 60 niveaux du modèle 1D-Var.
- B et R_{1D} sont respectivement les matrices des covariances de l'erreur l'ébauche et de l'observation.
- H_{1D} est l'opérateur d'observation qui permet de calculer l'équivalent modèle au point d'observation. Dans le cas des précipitations, l'opérateur d'observation est une version linéarisée du schéma de convection et du schéma condensation à large échelle (Marécal and Mahfouf 2000, Lopez and Moreau 2005).
- y^o est l'observation. Dans la version d'origine du 1D-Var, l'observation est le taux de précipitation. Dans ce travail, c'est le cumul des précipitations sur une heure qui est utilisé. Ces précipitations sont issues de la lame d'eau « ANTILOPE ». Il s'agit d'un krigage basé sur les observations radar et celles du réseau pluviométrique au sol (Pauthier et al 2015). ANTILOPE produit des cumuls horaires de précipitation sur une grille de 1km de résolution. Une sélection aléatoire a été réalisée sur les points d'observation ANTILOPE pour avoir 30 données non nulles sur la région des Cévennes (zone d'étude) en plus de 15 données sur le reste de la France.

Les profils de température et d'humidité analysés sont utilisés pour produire des analyses de précipitation, du contenu intégré en vapeur d'eau (TCWV) ainsi que des analyses des profils de pluie et de neige.

2.2 Validation des précipitations 1D-Var

2.2.1 Contrôle de qualité

L'erreur d'observations (σ_o) appliquée aux précipitations est égale à 30% de la valeur observée avec un minimum de 0.05 mm. En plus du contrôle de convergence de la fonction coût durant la minimisation 1D-Var, des seuils $\pm 2 \cdot \sigma_o$ sont imposés aux écarts entre les précipitations analysées et celles observées. Seuls les points d'observation avec le bon indice de qualité (IFAIL = 0) sont utilisés pour l'analyse AROME 3D-Var. Pour les points d'observation avec un bon indice de qualité, des profils d'humidité relatives sont produits

pour les niveaux où les incréments de précipitations sont supérieures à 0.1mm. Un seuil de 100% est fixé pour les valeurs de l'humidité relative. Ces profils sont produits sous forme d'un OBSOUL pour être assimilé dans le 3D-Var AROME en tant que données de radiosondage, plus précisément dropsonde.

2.2.2 Validation du schéma physique linéarisée simplifiée.

Des champs AROME ont été utilisés pour alimenter le schéma de convection et le schéma de condensation large échelle constituant l'opérateur d'observation du 1D-Var. Ainsi, L'équivalent des précipitations aux points d'observation a été généré pour donner la valeur de l'ébauche pour la variable précipitation. Le premier test réalisé a été la validation des paramétrisations physiques du 1D-var par rapport à celle d'AROME. Ainsi, les valeurs des précipitations de l'ébauche 1D-Var ont été comparées avec leurs équivalents AROME. La figure 1.a montre le scatterplot des précipitations de l'ébauche 1D-Var par rapport aux précipitations AROME. On remarque une sous-estimation du 1D-Var par rapport à AROME surtout pour les valeurs de précipitation dépassant les 4 mm. Cette comparaison a été réalisée aussi pour les analyses de précipitations produites par le 1D-Var (figure 1.b). On note une surestimation des analyses 1D-Var par rapport à AROME pour les faibles valeurs de précipitations (4 mm). Pour les valeurs plus importantes il n'y a pas de tendance notable.

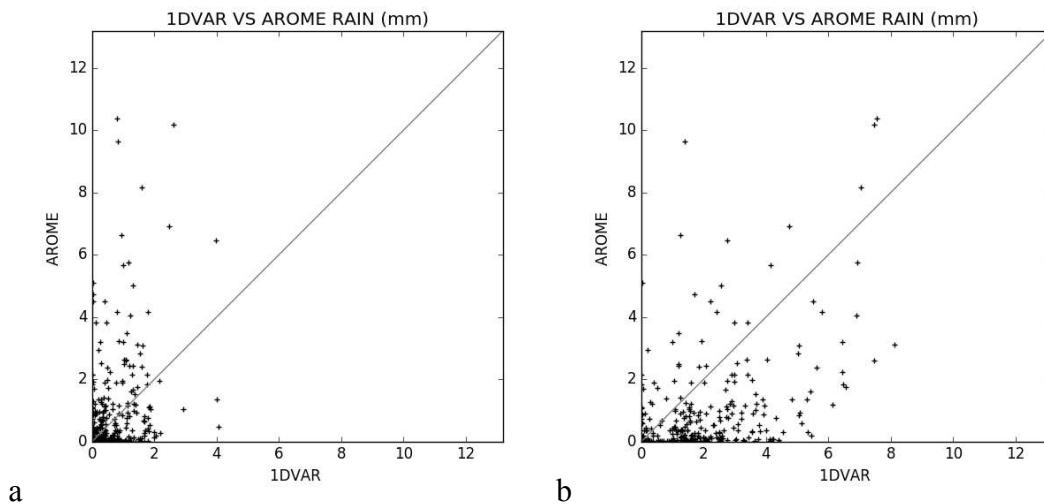
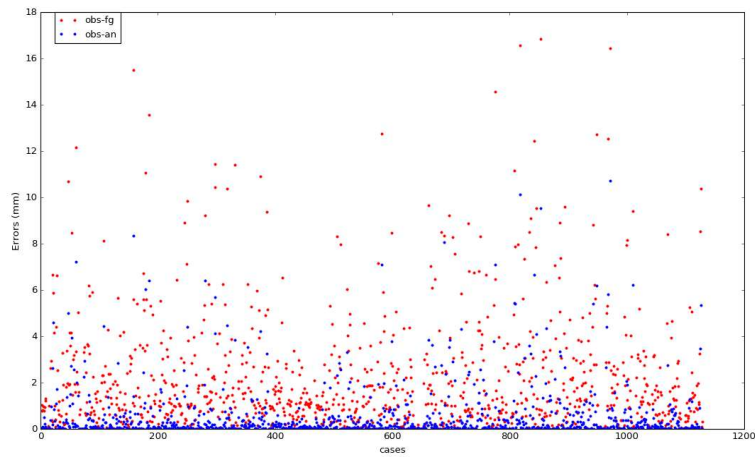


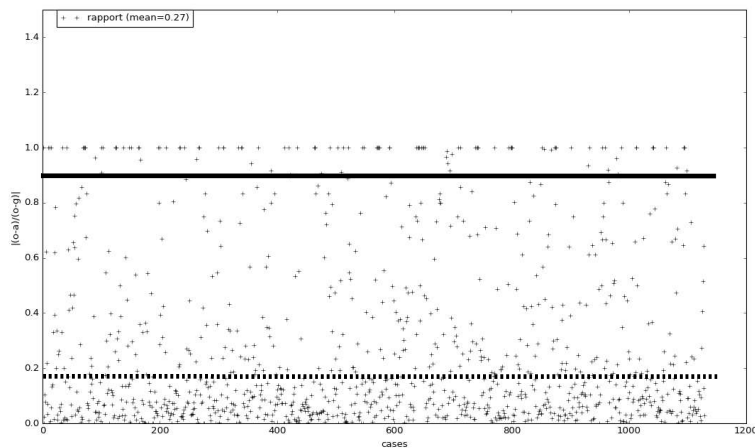
Figure 1: a (respectivement b) Scatterplot des précipitations de l'ébauche (respectivement de l'analyse) 1D-Var par rapport aux précipitations AROME.

2.2.3 Validation de l'analyse 1D-Var

La figure 2.a monte deux séries d'innovation par rapport aux observations des précipitations, la série en rouge pour l'ébauche et celle en bleu pour l'analyse 1D-Var. On remarque que les analyses sont toujours plus proches des observations que les ébauches. Ce résultat est clairement visible sur la figure 2.b qui représente le rapport, en valeur absolue, des innovations d'analyse et de l'ébauche ($|\text{observation-analyse}|/|\text{observation-ébauche}|$). La valeur moyenne de ce rapport ne dépasse pas 0.27, ce qui monte l'efficacité du 1D-Var à s'approcher des observations.



a



b

Figure 2: Les innovations des précipitations de l'ébauche en rouge et de l'analyse en bleu (a) et leurs rapports (b) aux points d'observation utilisés pour les situations étudiées.

3. Impact des pseudo-observations dans AROME : Evaluation pour deux cas Cévenoles

3.1 Description des expériences

Pour évaluer l'impact des pseudo-profiles d'humidité relative dans AROME, trois expériences ont été tournées. La première expérience est une assimilation AROME 3D-Var qui n'utilise pas de données de réflectivité ou de précipitation radar, c'est l'expérience de référence noté REF. Dans la deuxième expérience notée RAD_Z, la réflectivité radar est assimilée par la méthode du 1D-Bayésien (Wattrelot et al).

Dans la troisième expérience, les précipitations radar sont assimilées via les pseudo-profiles d'humidité relative inversés par la méthode 1D-Var. Cette dernière expérience est notée RAD_R. Notant que pour réaliser cette expérience, les champs de l'ébauche pour le 1D-Var sont extrait de la chaîne AROME opérationnelle.

Cet ensemble d'expériences a été tourné pour deux épisodes Cévenoles qui ont eu lieu le 19 Octobre et le 04 Novembre 2017.

La figure 3.a montre l'ANASYG du 19/10/2017 à 00UTC. La région des Cévennes est intéressée par un front occlus devancé par une zone de forte instabilité et d'activité convective. Cette configuration a donné lieu à d'importantes précipitations dépassant les 150 mm en particulier sur l'Aveyron, l'Hérault, l'Aude et les Pyrénées Orientales.

L'épisode du 04 Novembre 2017 (figure 3.b) a été caractérisé en surface par des valeurs de pression entre 1010 hPa et 1015 hPa sur la moitié sud de la France. En altitude un courant jet s'étale du Nord du Maroc jusqu'au golf du Lion. La région des Cévennes qui est en sortie gauche de ce jet connaît une forte activité convective. D'intenses orages ont eu lieu avec des cumuls de précipitations approchant les 300 mm par endroit dans l'Hérault, le Gard et la Lozère.

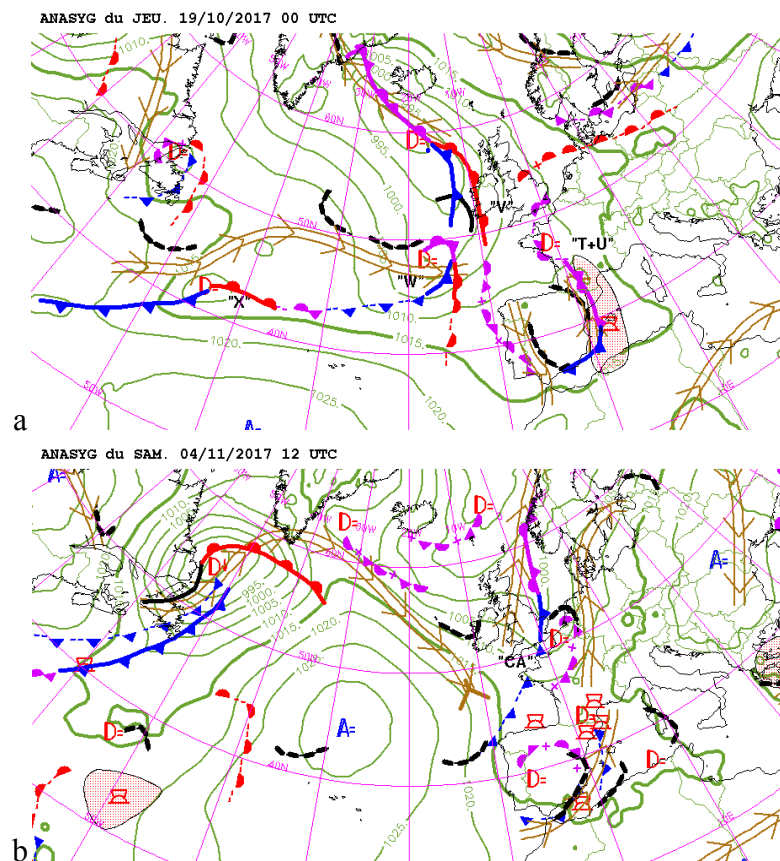


Figure 3: ANASYG du 19/10/2017 à 00UTC (a) et du 04/11/2017 à 12UTC (b).

3.2 Impact sur la prévision des précipitations

Le cumul 24 heures des précipitations ANTILOPE (figure 4.a) pour la journée du 19 Octobre 2017 montre des cellules importantes en particulier sur le relief de l'Hérault, et en plaine dans l'Aude et les Pyrénées Orientales. La prévision par l'expérience REF sur la même période (figure 4.b) fait décaler les précipitations vers l'Est, avec une surestimation sur le relief à l'Ouest du Gard et une sous-estimation sur le relief de l'Hérault. On assiste aussi à une surestimation des précipitations en plaine pour le département de l'Hérault. Les expériences RAD_Z (figure 4.c) et RAD_R (figure 4.d) limite ce décalage vers l'Est mais intensifient les

intensités sur l'Ouest du Gard. Ces deux expériences tendent également à donner des intensités plus importantes sur la partie sud-ouest du relief de l'Hérault.

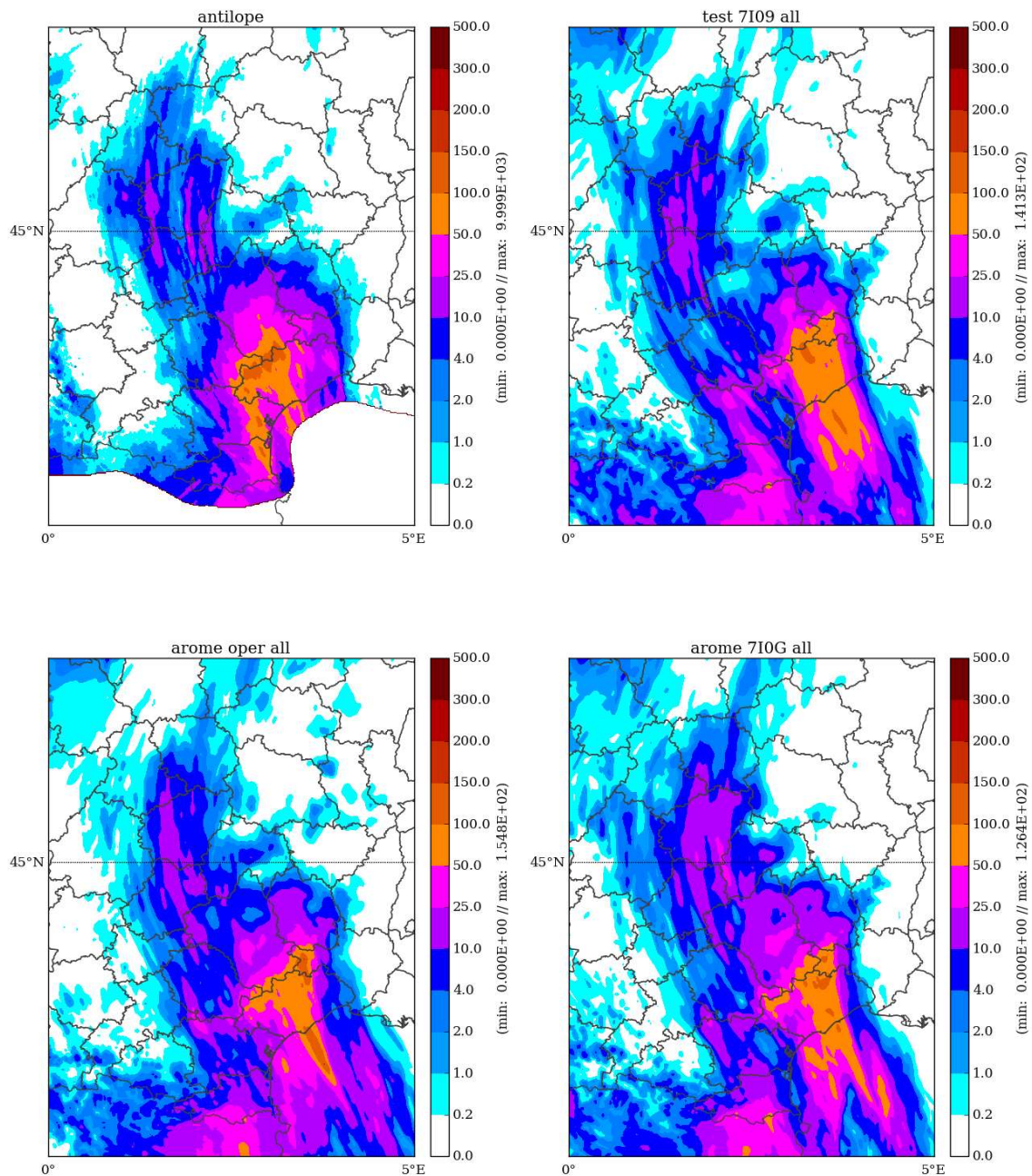


Figure 4: Cumul 24 heures des précipitations pour le 19/10/2017. a)ANTILOPE, b)REF, c)RAD_Z et d)RAD_R

Le taux de détection a été amélioré dans l'expérience RAD_R par rapport aux expériences REF et RAF_Z (figure 5.a et 5.b) et ceci pour quasiment tous les seuils. Cependant, pour les seuils 5 mm et 10 mm, une dégradation du taux de fausse alerte a été constaté dans l'expérience RAD_R.

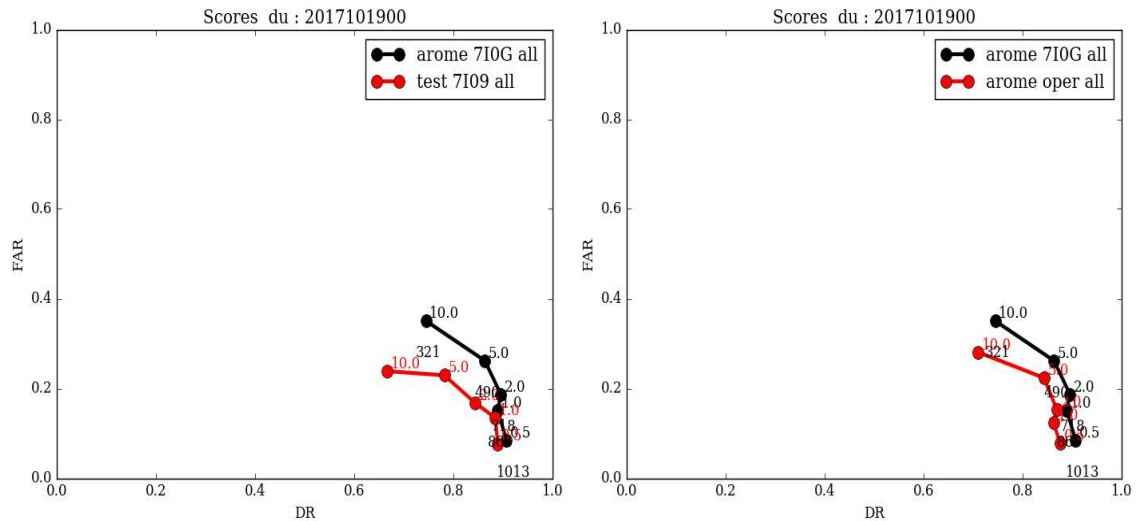


Figure 5: comparaison des taux de détection (DR) et de fausse alerte (FAR) entre REF et RAD_R (gauche) et entre RAD_Z et RAD_R (droite) pour les seuils 0.5, 1, 2, 5 et 10.
19/10/2017

Pour le cas Cévenol du 04 Novembre 2017, le cumul 24 heures ANTILOPE (figure 6.a) montre des pluies très intenses sur la façade Sud-Est du Massif Central en particulier la limite entre l'Ardèche, le Gard, la Lozère et l'Aveyron. Une deuxième branche de fortes pluies concerne la plaine du Gard et de l'Hérault. L'expérience REF (figure 6.b) reproduit la moitié Nord du système pluvieux sur la Lozère et l'Ardèche mais sous-estime fortement les précipitations ailleurs. Cette solution est améliorée lors de l'assimilation des radiances radar dans l'expérience RAD_Z (figure 6.c) notamment sur la plaine de l'Hérault. L'assimilation des précipitations radar dans l'expérience RAD_R (figure 6.d) apporte un impact positif remarquable surtout en intensifiant considérablement les précipitations sur l'Aveyron et l'Hérault.

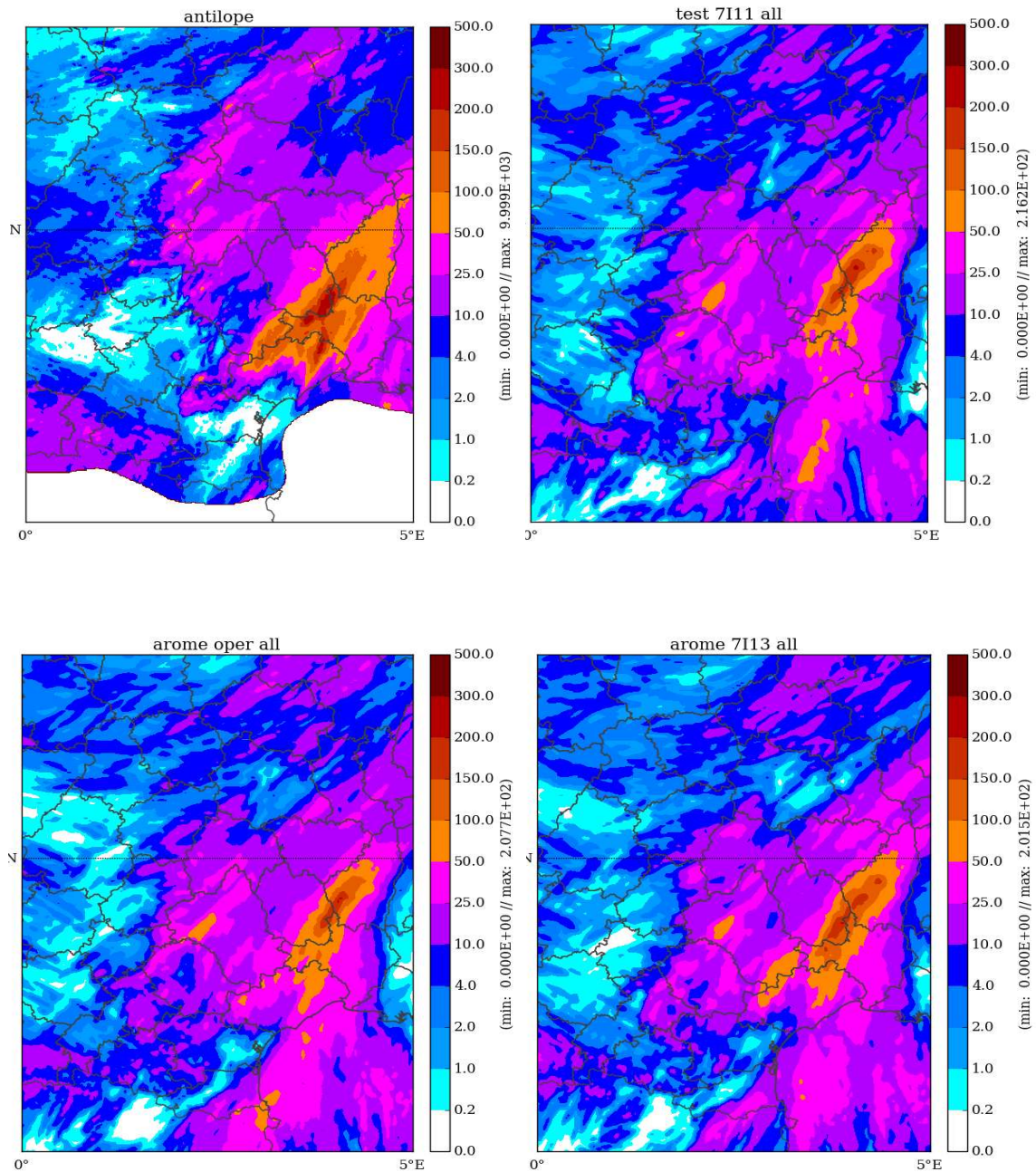


Figure 6: Cumul 24 heures des précipitations pour le 04/11/2017. a)ANTILOPE, b)REF, c)RAD_Z et d)RAD_R

Le taux de fausse alerte ainsi que la probabilité de détection au seuil 10 mm (figure 7) ont été amélioré dans l'expérience RAD_R par rapport aux expériences REF et RAD_Z. Pour les autres seuils, l'impact est quasi-neutre.

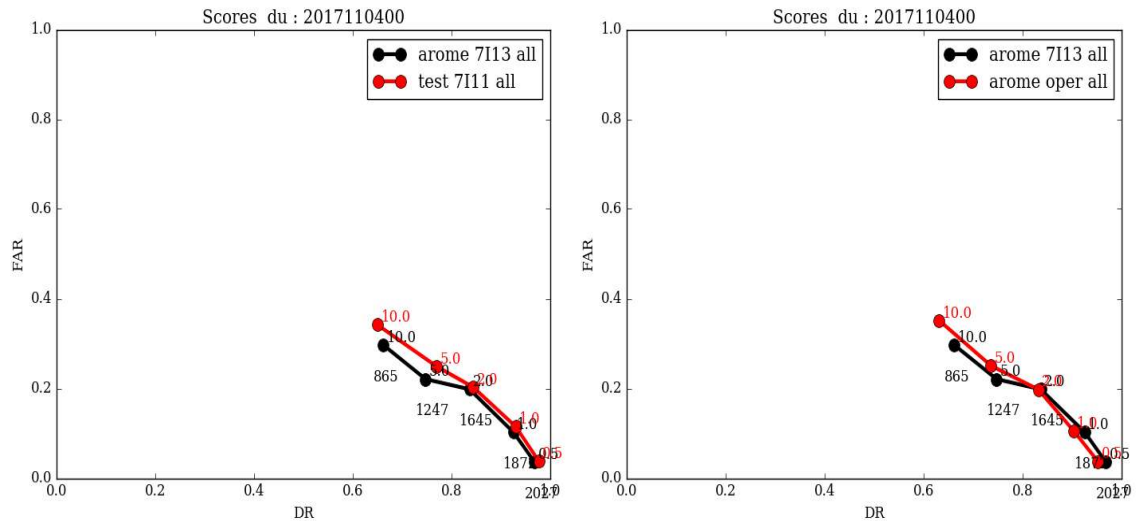


Figure 7: comparaison des taux de détection (DR) et de fausse alerte (FAR) entre REF et RAD_R (gauche) et entre RAD_Z et RAD_R (droite) pour les seuils 0.5, 1, 2, 5 et 10. 04/11/2017

4. Conclusions et perspectives

Ce travail propose une méthode d'assimilation des précipitations radar selon une approche à deux étapes 1D-Var+3D-Var. D'abord un modèle 1D-Var est utilisé pour inverser des pseudo-profils d'humidité à partir des précipitations radar. La validation avec les précipitations du modèle AROME a révélé une sous-estimation des fortes intensités de pluie qui se justifie par la différence entre le schéma physique-simplifiée du 1D-Var et celui de fine échelle d'AROME. Dans la deuxième étape, les profils inversés sont assimilés par le 3D-Var AROME. L'étude de deux épisodes Cévenoles du 19 Octobre et 04 Novembre 2017 a permis une évaluation objective de l'approche proposée. Les résultats ont montré que pour les cas étudiés, l'assimilation des précipitations radar a un impact comparable à celui de l'assimilation des réflectivités radar.

Ces résultats préliminaires sont encourageant et incitent à développer d'avantage le travail sur la méthode 1D-Var+3D-Var. En effet, il est nécessaire d'approfondir le contrôle de qualité dans le modèle 1D-Var, de réaliser des tests de sensibilité par rapport à l'erreur d'observation et à la correction de biais et notamment utiliser des observations indépendantes pour évaluer les précipitations 1D-Var.

Les critères de choix des points d'observation ANTILOPE doivent aussi être améliorés afin de produire les pseudo-données dans les endroits opportuns selon la situation étudiée.

A noter que l'inversion d'un profil à partir d'une donnée de surface peut être sujet à des erreurs relatives à la distribution verticale de la pseudo-observation. Ainsi, l'assimilation du

TCWV inversé par le 1D-Var au lieu des profils d'humidité relative est une alternative à tester et à évaluer.

Références :

- Caumont O, Ducrocq V, Wattrelot E, Jaubert G, Pradier-Vabre S. 2010. 1D+3DVar assimilation of radar reflectivity data: a proof of concept, *Tellus*, 62: 173-187.
- Lopez P, Moreau E. 2005. A convection scheme for data assimilation: Description and initial tests. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 131:409–436.
- Lopez P, Bauer P. 2007. '1D+4D-Var' assimilation of NCEP stage IV radar and gauge hourly precipitation data at ECMWF. *Monthly Weather Review*. 135: 2506–2524.
- Marécal V, Mahfouf J-F. 2000. Variational retrieval of temperature and humidity profiles from TRMM precipitation data. *Monthly Weather Review*. 128: 3853–3866.
- Pauthier B, Bois B, Castel T, Thevenind D, Richard Y. 2015. Intercomparaison radar-pluviomètre pour l'estimation des pluies à haute résolution. XXVIIIe Colloque de l'Association Internationale de Climatologie
- Wattrelot E, Caumont O and Mahfouf J-F. 2013. Operational Implementation of the 1D+3D-Var Assimilation Method of Radar Reflectivity Data in the AROME Model. *Monthly Weather Review.*, 142: 1852-1873.