

INTERCOMPARAISON RADAR-PLUVIOMÈTRE POUR L'ESTIMATION DES PLUIES À HAUTE RESOLUTION

PAUTHIER B.⁽¹⁾, BOIS B.⁽¹⁾, CASTEL T.⁽¹⁾, THEVENIN D.⁽²⁾, RICHARD Y.⁽¹⁾

(1) Centre de Recherche de climatologie, Biogéosciences, UMR 6282 CNRS-Université de Bourgogne, 6 bd Gabriel 21000 Dijon [basile.pauthier@u-bourgogne.fr]

(2) Météo France Direction régionale Centre-Est, 22 rue Louis de Broglie 21000 Dijon [Denis.Thevenin@meteo.fr]

Résumé – De nombreux domaines ont besoin d'une estimation de la pluie la plus précise possible, notamment la viticulture de précision. Deux méthodes sont classiquement employées pour estimer la pluie : les radars et les pluviomètres. Le réseau de pluviomètres haute densité Hydravitis a été installé début 2014. Les données provenant du radar, du produit composite et du réseau ont été extraites pour l'événement des 3 et 4 novembre 2014. Les résultats montrent que l'image radar PANTHERE retranscrit bien la variabilité spatiale des précipitations mais a tendance à sous-estimer les cumuls horaires au-delà d'une intensité de 4 mm/h. Le produit composite ANTILOPE, lui, permet une bonne visualisation de la variabilité spatiale et de l'intensité des précipitations. Les attentes des professionnels ne peuvent donc être satisfaites que par l'utilisation d'une lame d'eau composite de type ANTILOPE ou par l'installation d'un réseau de pluviomètres haute densité.

Mots-clés : réseau haute densité, comparaison radar/pluviomètre, spatialisation, précipitations.

Abstract – Radar-rain gauges intercomparison for the estimation of high resolution rainfall. An accurate rainfall estimation is essential for many applications like precision viticulture. Rainfall is most of the time estimated by two methods: radar and rain gauges. High resolution rain gauges network Hydravitis was installed in 2014. Data coming from radar, composite product and the network was extracted for the 2014 3 to 4 November event. Data from the network were kriged to compare with the other products. Results show that PANTHERE radar image well reproduces the spatial variability of rainfall but underestimates rainfall amounts over a 4 mm/h intensity. Composite product ANTILOPE gives a good visualization of spatial variability and intensity of rainfall. Expectations of viticulture can be therefore complete only a composite product like ANTILOPE or the implementation of a high density rain gauges network.

Keywords : high density network, radar/rain gauge intercomparison, spatialisation, rainfall.

Introduction

Une estimation précise de la pluie est essentielle dans de nombreux domaines comme, par exemple, la gestion d'un réseau urbain des eaux de pluies (Russo *et al.*, 2005) ou encore l'agriculture de précision. En Bourgogne, la viticulture est l'une des principales activités économiques. Dans ce domaine, la mesure de la pluie est cruciale dans la gestion phytosanitaire et dans les calculs de bilan hydrique, elle doit donc être aussi précise que possible. Dans la plupart des cas, les mesures de pluie disponibles sont issues de deux méthodes : les pluviomètres et le radar. Depuis le début des mesures radar dans les années 1940 (Marshall *et al.*, 1947), la calibration des systèmes reste difficile, tout particulièrement pour des événements brefs, locaux et apportant de forts cumuls de pluie. En 2002, Atlas a écrit « Après 56 ans de recherche en météorologie radar, nous échouons encore à trouver une méthode fiable et universelle pour la calibration du radar ». L'utilisation du pluviomètre pour la calibration de radars a été suggérée pour la première fois par Hitschfeld et Bordan (1954) : « un radar utilisé pour la mesure de la pluie devrait être calibré en le comparant à un pluviomètre plutôt que par tout autre moyen ». Cette stratégie a donné des résultats satisfaisants mais peut présenter quelques biais. La variabilité de la relation Z-R (avec Z la réflectivité et R le cumul de pluie), le PVR (Profil Vertical de Réflectivité) et les effets de représentativité rendent difficile la comparaison entre les deux produits (Austin, 1987 ; Tabary, 2003). De plus, dans la plupart des comparaisons radar-pluviomètres, les réseaux de pluviomètres employés ne sont pas assez denses pour autoriser une spatialisation des données. Par exemple, Tabary *et al.* (2007) ont utilisé la partie Sud du réseau opérationnel de pluviomètres Météo France d'une densité d'environ un pluviomètre pour 1000km². La comparaison a été faite entre les pixels radars et les points correspondant aux pluviomètres. Seul un faible nombre d'études s'appuie sur un réseau de pluviomètres dense (Kitchen et Blackall, 1992 ; Habib *et al.*, 2009 ; Rojas *et al.*, 2009) et comparent des données pluviométriques haute résolution à des données radar ou composites ayant, elles, des

résolutions assez lâches (4x4 km minimum). Très récemment, une nouvelle approche a été proposée (Gires *et al.*, 2014). Elle prend en compte la variabilité des précipitations à haute résolution spatiale et est basée sur la multifractalité universelle. Cette approche s'est avérée pertinente pour une approche de descente d'échelle sur les précipitations, ce, à différentes intensités. En Bourgogne, un important événement pluvieux s'est déroulé les 3 et 4 novembre 2014. Le réseau de pluviomètres à méso-échelle Météo France indique que cet événement a engendré des cumuls oscillants entre 60 et 100 mm sur 24h. Ici nous comparons quatre produits pluviométriques : les enregistrements issus de réseaux de pluviomètres (Hydravitis, très haute densité, situé aux alentours d'Aloxe Corton et Météo France) et deux produits radar Météo France (PANTHERE et ANTILOPE). A partir de valeurs horaire, la comparaison porte sur les lames d'eau et leurs géographies.

1. Matériel et Méthodes

1.1. Un événement exceptionnel sur le nord-est de la France

Durant les journées des 3 et 4 novembre un événement pluvio-orageux a généré de forts cumuls de pluie sur la Bourgogne. Cet événement est lié à une dépression qui s'est positionnée au-dessus de la France durant la journée du 3 novembre. Dans les basses couches, cette dépression généra un puissant flux de sud-ouest au niveau de la zone d'étude provoquant de fortes précipitations accompagnées de rafales de vent (source : Météo France).

1.2. Les réseaux de pluviomètres Météo France et Hydravitis

Le réseau opérationnel de pluviomètres Météo France est composé de pluviomètres SPIEA à lecture directe et de pluviomètres à augets basculants. Nous avons extrait 547 pluviomètres situés dans la partie centrale et sud-est de ce réseau dans le but de suivre la dynamique de l'événement et d'avoir un échantillon suffisamment important pour pouvoir kriger ces données (Figure 1.A). L'un de ces pluviomètres est situé à Savigny-les-Beaune au niveau d'une zone dans laquelle, depuis avril 2014, un réseau de pluviomètres très dense financé par le programme de recherche Hydravitis a été installé. Ce réseau Hydravitis est composé de 45 pluviomètres Rainew 111 à augets basculants (Rainwise® inc) répartis sur une surface de 28 km². Un contrôle préliminaire a été fait sur 10 pluviomètres choisis au hasard afin de vérifier la qualité des données produites. Le volume des augets basculants a été contrôlé par le biais d'une burette graduée de 25mL. La précision des pluviomètres a, elle, été vérifiée grâce à l'utilisation d'une pompe péristaltique suivant la méthode de Humphrey *et al.* (1997). Les intensités testées allaient de 2 à 200mm/h et les erreurs de mesures moyennes étaient comprises entre 3 et 9,3% de la plus basse à la plus forte intensité. Chaque pluviomètre a été implanté à une distance minimale de 3 fois la hauteur de l'obstacle le plus proche et a été relié à un enregistreur température/événement Hobo Pendant UA-002-64 (Onset® corp). Cette sonde permet l'enregistrement des données à un pas de temps de l'ordre de la seconde avec une résolution de 0.258 mm.

Durant l'événement du 3 au 4 novembre 2014, 13 pluviomètres ou sondes ont présenté des problèmes de fonctionnement, les données provenant de ces dispositifs ont donc été supprimées du jeu de données.

1.3. Krigeage des données pluviométriques

Une analyse préliminaire basée sur les semi-variogrammes directionnels (angle de 22.5° avec une tolérance de 11.25°) obtenus à partir des données issues des pluviomètres Météo France, montre une structure spatiale allongée suivant un axe SSO-NNE (Figure.1A). Cette

observation est confirmée par l'analyse des images radar horaires. La spatialisation a donc été faite suivant un processus de krigeage prenant en compte cette anisotropie.

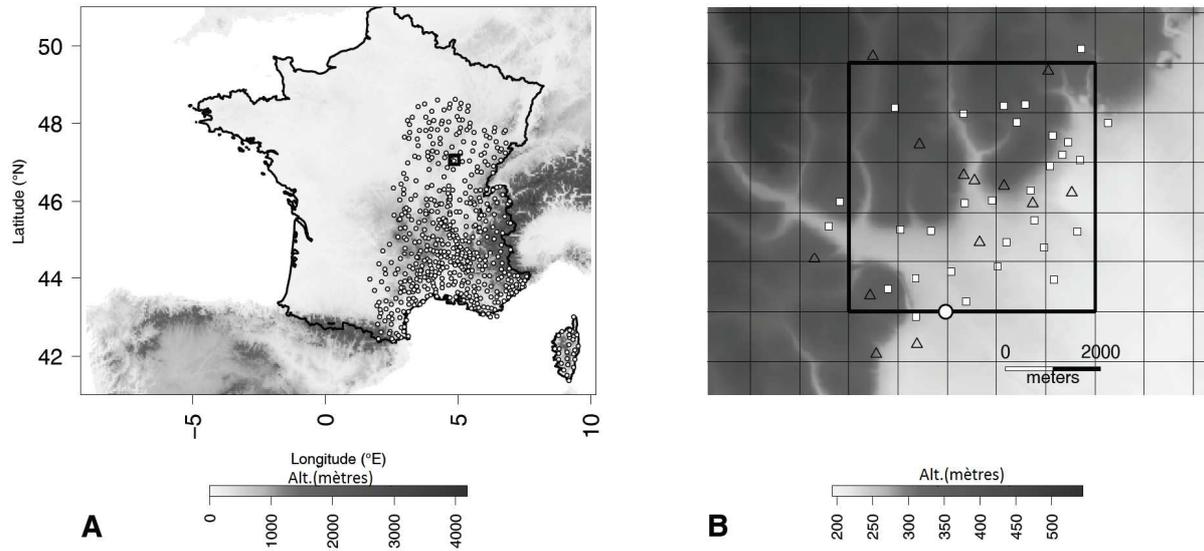


Figure 1. A : Les ronds blancs : pluviomètres du réseau opérationnel Météo France. Carré noir : zone « Hydravitis ». B: Carrés blancs pluviomètres Hydravitis exploitables pour l'étude. Triangles : pluviomètres défaillants. Rond blanc : Station Météo France de Savigny-les-Beaune. Encadré noir : zone « Hydravitis » pour comparaison radar/pluviomètres. Quadrillage : pixels radar de 1 km².

1.4. La lame d'eau radar PANTHERE

PANTHERE est l'acronyme de la lame d'eau radar Météo France dont la résolution spatiale est d'1 km² et la résolution temporelle de 5 minutes. L'Estimation Quantitative des Précipitations (EQP) inclut plusieurs modules visant à corriger notamment les effets de sol, les blocages partiels de faisceaux, les effets des Profils Verticaux de Réflectivité (PVR) et la non simultanéité des mesures radar (voir Tabary *et al.* 2007 pour une description complète). Les images radar ont été collectées par un radar en bande C possédant la double polarisation situé à 31 km du réseau Hydravitis (Blaisy-haut 47.355278°N 4.775833°E). La zone d'étude est particulièrement bien placée pour l'observation radar compte tenu du fait que les masques sont inférieurs à 5% à un angle de 0.5°.

Dans le but de corriger les difficultés de la méthode PANTHERE à restituer des cumuls de pluies réalistes, notamment lors d'événements convectifs, Météo France a mis au point le produit ANTILOPE, dérivé de la fusion de PANTHERE avec les données issues de leur réseau de pluviomètres (Champeaux *et al.*, 2009). Cette méthode vise à corriger les sous-estimations du radar.

2. Résultats

2.1. Analyse à méso-échelle.

Les zooms de la lame d'eau issue du krigeage des 547 pluviomètres Météo France et la lame d'eau radar PANTHERE donnent une bonne vue d'ensemble de l'événement (figure 2.C et D). Le radar donne une information avec une meilleure résolution spatiale. Cependant la littérature indique qu'il aurait tendance à sous-estimer les cumuls de pluie (Lamarque *et al.*, 2004 ; Tabary *et al.*, 2007 ; Champeaux *et al.*, 2009). En effet, l'étude des cumuls sur l'événement (3-4 novembre) montre une sous-estimation, tout particulièrement là où les précipitations mesurées par les pluviomètres dépassent 50 mm (Figure 2.B). La lame d'eau

krigée issue du réseau de pluviomètres Météo France représente donc la référence en termes de cumuls de pluie, alors que PANTHERE serait la référence en termes de structures spatiales.

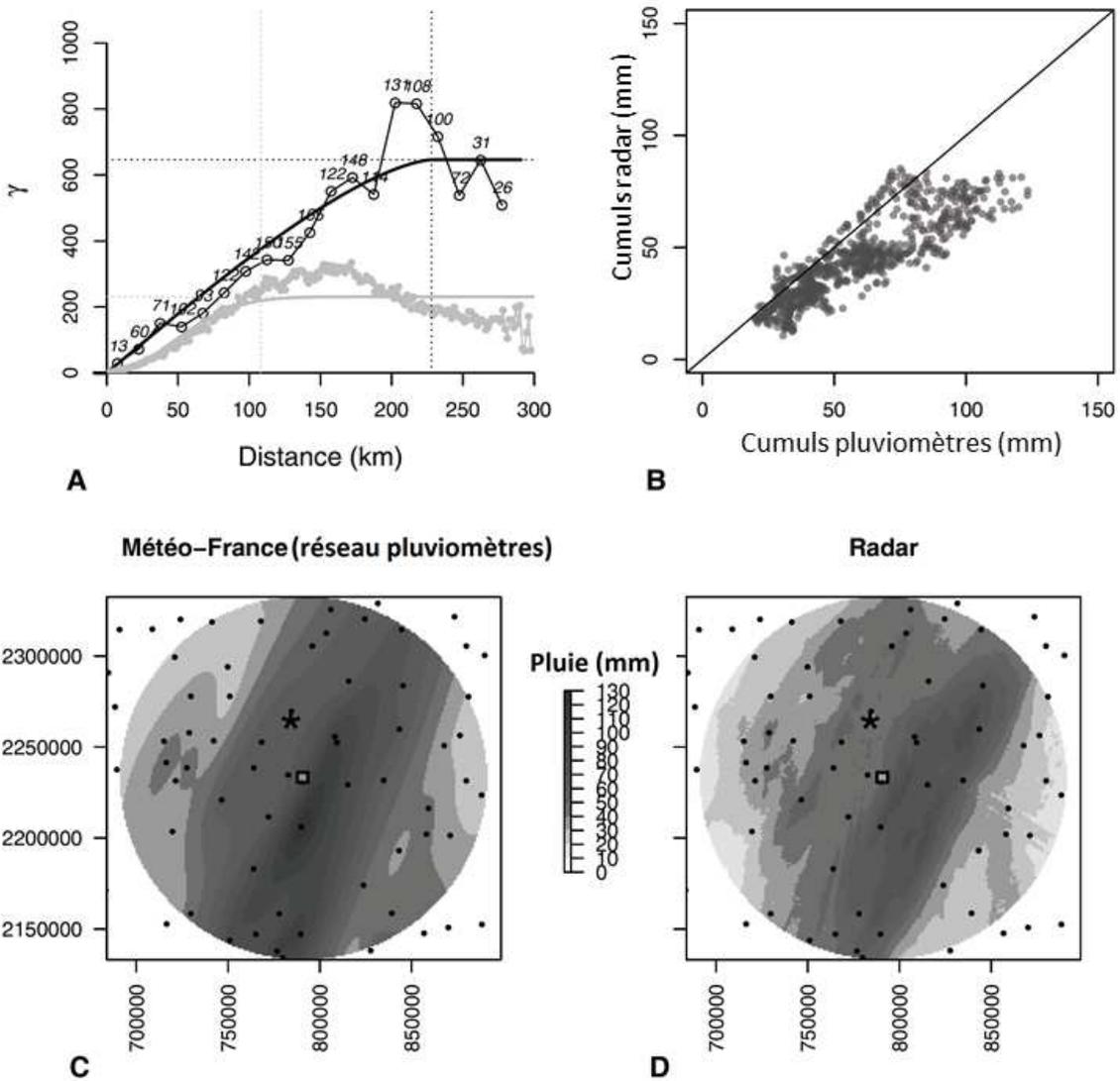


Figure 2. A : Semi-variogrammes. Noir : lame d'eau radar. Gris pluviomètres Météo France. B : Nuage de points comparant la lame d'eau issue du krigage des données du réseau de pluviomètres Météo France et le produit radar PANTHERE. C et D : Respectivement la lame d'eau issue du krigage des données du réseau de pluviomètres Météo France et la lame d'eau radar PANTHERE. Carré blanc : zone Hydravitis. Astérisque noire : position du radar de Blaisy-Haut.

Les deux méthodes indiquent également que le réseau Hydravitis est situé au niveau d'une zone de transition entre des cumuls moyens et forts (figure 2.C et D) et pourrait donc être un outil intéressant pour capturer cette variabilité spatiale.

2.2. Analyse à échelle locale

Les comparaisons radar-pluviomètres sont basées sur une simple analyse au niveau d'une grille radar de 5x5 km (figure. 3). Cette grille permet de prendre en compte 31 pluviomètres Hydravitis, 25 pixels du produit radar PANTHERE, 25 pixels du produit composite ANTILOPE et 25 pixels de la lame d'eau spatialisée obtenue par spatialisation des données des pluviomètres Météo-France.

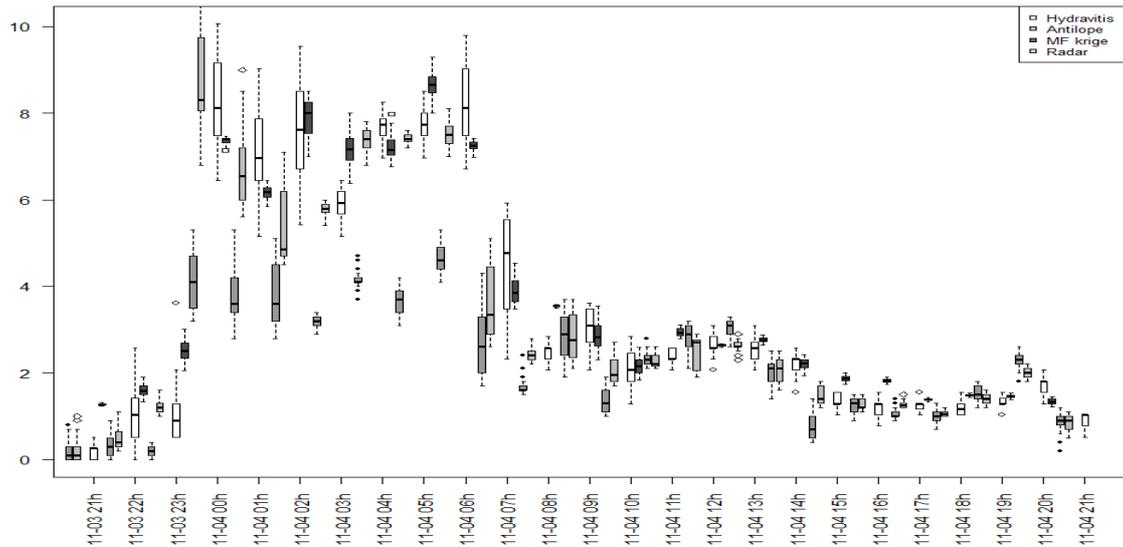


Figure 3. Boîtes à moustache représentant les cumuls horaires au niveau de la zone du réseau Hydravitis.

La figure 3 permet de voir que PANTHERE donne une bonne estimation de la variabilité spatiale des précipitations avec des variations de taille de boîtes similaires avec celles du réseau Hydravitis durant tout l'événement. Les cumuls mesurés durant les heures où les pluies furent les moins intenses sont assez bien restituées. Ce n'est pas le cas durant les heures où les pluies furent les plus intenses. Par ailleurs, la lame d'eau krigée à partir des pluviomètres du réseau Météo France ne reproduit qu'assez mal la variabilité spatiale. En effet, ce réseau ne comporte qu'un pluviomètre dans la zone Hydravitis. Enfin, le produit composite ANTILOPE donne des résultats très similaires à ceux d'Hydravitis tant en termes d'intensité que de variabilité spatiale.

2.3. Évaluation de la performance radar

Le krigeage des données Hydravitis a donné des résultats variables en fonction des heures choisies avec des valeurs de RMSE variant entre 0.13 et 0.86 mm. Les 25 valeurs obtenues pour chaque heure ont été comparées aux produits PANTHERE et ANTILOPE. Pendant cet événement, lorsque les intensités ne dépassaient pas 4 mm/h, PANTHERE présente des cumuls similaires à ceux du réseau Hydravitis. La RMSE varie entre 0.21 et 0.76 mm pour des cumuls totaux de 1 à 3 mm. Les valeurs de l'indice de Nash ne descendant jamais en dessous de 0.99. A partir du moment où les intensités dépassent 4 mm/h, PANTHERE sous-estime systématiquement les cumuls. La RMSE varie entre 2.75 et 4.07 mm avec une moyenne à 1.97mm sur des cumuls compris entre 5.4 et 0.4 mm. Les valeurs de l'indice de Nash, bien qu'encore très élevées diminuent (0.90 à 0.95). Ces sous-estimations peuvent être liées à un mauvais ajustement de la loi Z-R ou une mauvaise correction du profil vertical de réflectivité (PVR). De plus le produit radar PANTHERE est corrigé au pas de temps horaire par les valeurs des plus proches stations. L'hypothèse d'un trop faible nombre de stations disponibles dans la zone peut être avancée. Le produit composite ANTILOPE a été conçu pour corriger la sous-estimation du radar et particulièrement la partie convective de la pluie qui est le point faible du radar. Lors de la comparaison ANTILOPE/Hydravitis la meilleure corrélation entre les données (R^2 de 0.96) a été obtenue. La RMSE à haute comme à faible intensité reste faible (moyenne de 0.54 mm) sauf pour une heure où ANTILOPE sous-estime la pluie la RMSE atteint alors 1.93 mm. L'indice de Nash donne des valeurs maximales (moyenne de 0.99) sauf pour la même heure où sa valeur descend à 0.97. Cette bonne performance d'ANTILOPE peut être cependant relativisée par la présence d'un pluviomètre servant à la correction radar au niveau de notre zone. Il est possible que cette performance

puisse être moins élevée à une distance plus grande d'un des pluviomètres utilisé par la méthode.

Conclusion

Dans le cadre de la recherche d'une estimation des pluies la plus précise possible, peu de méthodes peuvent satisfaire les attentes des professionnels. Les réseaux de pluviomètres habituels, de par leurs faibles densités ne peuvent capturer la variabilité des précipitations à échelle fine. Le radar restitue mal les cumuls de pluie notamment lors d'événements convectifs. Seule l'utilisation d'une lame d'eau composite radar/pluviomètre, ou l'implantation d'un réseau de pluviomètres de haute densité, peut donner des résultats à la hauteur des utilisateurs finaux, tels que les viticulteurs de la zone Hydravitis.

Références bibliographiques

- Atlas D., 2002 : Radar calibration : some simple approaches. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **83**(9), 1313-1316.
- Austin P.M., 1987 : Relation between measured radar reflectivity and surface rainfall. *Mon. Weather Rev.*, **115**, 1053-1070.
- Champeaux J. L., Laurantin O., Mercier B., Mounier F., Lassegues P., Tabary P., 2009 : Quantitative precipitation estimations using rain gauges and radar networks: inventory and prospects at Meteo-France. WMO joint meeting of CGS expert team on surface-based remotely-sensed observations & CIMO expert team on operational remote sensing, Geneva 5-9 December 2011.
- Gires A., Tchiguirinskaia I., Schertzer D., Schellart A., Berne A., Lovejoy S., 2014 : Influence of small scale rainfall variability on standard comparison tools between radar and rain gauge data. *Atmospheric Research*, **138**, 125-138. doi:10.1016/j.atmosres.2013.11.008
- Habib E., Larson B. F., Grascel J., 2009 : Validation of NEXRAD multisensor precipitation estimates using an experimental dense rain gauge network in south Louisiana. *Journal of Hydrology*, **373**(3), 463-478.
- Hitschfeld W., Bordan J., 1954 : Errors inherent in the radar measurement of rainfall at attenuating wavelengths. *Journal of Meteorology*, **11**(1), 58-67.
- Humphrey M. D., Istok J. D., Lee J. Y., Hevesi J. A., Flint A. L., 1997 : A new method for automated dynamic calibration of tipping-bucket rain gauges. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, **14**(6), 1513-1519.
- Kitchen M., Blackall R. M., 1992 : Representativeness errors in comparisons between radar and gauge measurements of rainfall. *Journal of Hydrology*, **134**(1), 13-33.
- Lamarque P., Tabary P., Desplat J., Do Khac K., Eideliman F., Parent J., 2004 : Improvement of the French radar rainfall accumulation product. In *Proceedings of ERAD (Vol. 440, No. 443)*.
- Marshall J. S., Langille R. C., Palmer W. M. K., 1947 : Measurement of rainfall by radar. *Journal of Meteorology*, **4**(6), 186-192.
- Rojas-González A. M., Harmsen E. W., Pol S. C., 2009 : Performance evaluation of MPE rainfall product at hourly and daily temporal resolution within a Hydro-Estimator pixel. *WSEAS Trans Environ Dev*, **7**(5), 478-487.
- Russo F., Napolitano F., Gorgucci E., 2005 : Rainfall monitoring systems over an urban area: the city of Rome. *Hydrological Processes*, **19**(5), 1007-1019.
- Tabary P., 2003 : Efforts to improve the monitoring of the French radar network. In *Preprints 31st Conference on Radar Meteorology*, 482-485.
- Tabary P., 2007 : The new French operational radar rainfall product. Part I: Methodology. *Weather and forecasting*, **22**(3), 393-408.
- Tabary P., Desplats J., Do Khac K., Eideliman F., Gueguen C., Heinrich J. C., 2007 : The new French operational radar rainfall product. Part II: Validation. *Weather and forecasting*, **22**(3), 409-427.