

**Utilisation d'images radar RHYTMME incluant la bande X, pour améliorer la répartition horaire des précipitations journalières analysées par SAFRAN
Application au Mercantour et au Haut-Var / Haut-Verdon.**

**Use of RHYTMME radar images including X Band data, to improve hourly disaggregation of SAFRAN daily precipitation analyse.
Application on Mercantour and Haut-Var / Haut-Verdon.**

Auteurs : Mérindol Laurent (1), Durand Yves (1), Fradon Béatrice (2), Tzanos Renaud (3), Westrelin Samuel (4)

(1) *Météo France/CNRS, CNRM-GAME UMR-3589, Grenoble, France*

(2) *Météo France, DSO/CMR, Toulouse, France*

(3) *Météo France, DPREVI/PI, Toulouse, France*

(4) *IRSTEA, Aix-en-Provence, France*

RESUME : Dans le cadre du projet RHYTMME, un réseau de radar a été déployé dans les Alpes du Sud. Trois radars en bande X (Mont Vial, Maurel, Mont Colombis) produisent une information nouvelle complétant le réseau opérationnel ARAMIS. Un dernier radar bande X (Vars Mayt) sera intégré à l'automne 2013. La mosaïque RHYTMME mélange l'information issue des radars en bande X et ceux opérationnels en bande C et S. Le modèle d'analyse SAFRAN fournit des estimations des précipitations en zone montagneuse. Pour les précipitations, SAFRAN réalise une analyse journalière principalement basé sur les précipitations observées et des climatologies par massif et altitude. Ensuite SAFRAN désagrège au pas horaire les analyses journalières en utilisant les humidités ainsi que les temps présents et passés.

Dans ce travail, le but est d'améliorer la désagrégation horaire des précipitations.

En premier lieu, sur deux massifs couverts par les radars Mont Vial et Maurel, les estimations journalières de précipitations RHYTMME et SAFRAN sont comparées. Celles RHYTMME sont obtenues en moyennant le cumul journalier des précipitations sur tous les pixels à l'intérieur de chaque massif. Les estimations SAFRAN sont disponibles à différentes altitudes. Nous faisons aussi des comparaisons avec des pluviomètres inclus dans chaque massif.

Dans une deuxième étape, nous proposons une amélioration du schéma horaire, utilisant les mosaïques radar. La méthode retenue et les premiers résultats sont décrits.

En conclusion, nous esquissons les améliorations attendues ainsi que les limites du schéma horaire SAFRAN et des images mosaïques RHYTMME en zone montagneuse.

MOTS-CLEF : RADAR, BANDE X, PRECIPITATIONS, DESAGGREGATION HORAIRE

ABSTRACT: In the framework of RHYTMME project, a X Band weather radar network is currently being installed in the French southern Alps. Three X Band polarimetric radars (Mont Vial, Maurel, Mont Colombis) provide today new information. This information can be mixed with the operational Météo France radar network ARAMIS. A last X Band radar (Vars Mayt) will be integrated during 2013 autumn. The RHYTMME mosaic images mixes these different radar band (X,S,C) informations.

The analysis model SAFRAN can also be used to estimate the precipitation in mountainous areas. For the precipitation, SAFRAN performs a daily analysis mainly based on daily precipitations and climatologic patterns. Then SAFRAN performs an hourly disaggregation based on humidity, past and present observed weather. In this work, particular emphasis is given to ameliorate hourly disaggregation. First, we compare several daily estimates of precipitations in two massifs in an overlapping area cover by Mont Vial and Maurel radars. The radar daily estimates are obtained by averaging daily sum over all radar pixel inside each massif. The SAFRAN daily estimations are kept at different elevations in the considered massifs. We also use direct comparisons with rain gauges located in these massifs. Secondly, we present the scheme to improve the hourly disaggregation with the radar images. We describe the method used, and the first results.

In conclusion, we describe the possible improvement and also the limits of hourly disaggregation SAFRAN module and of this new source of information in the mountainous areas.

Adresse de l'auteur correspondant :

Laurent Mérindol, *Météo France/CNRS, CNRM-GAME UMR-3589, 38400 Grenoble, France*

tel: +33 476 637 919; fax: ++33 476 515 346;

email: Laurent.merindol@meteo.fr

KEYWORDS: RADAR, X-BAND, PRECIPITATION ANALYSIS, HOURLY DISAGGREGATION

1 INTRODUCTION

Depuis maintenant plusieurs dizaines d'années, des réseaux opérationnels de radar météorologiques sont déployés. Leur principal avantage réside dans la fréquence maintenant au pas de 5 min d'acquisition des images. Dans les zones montagneuses, les bandes utilisées (C ou S) souffrent de défauts liés à la fois à la distance des radars opérationnels par rapport à notre zone d'intérêt et aussi de limitations propres à la méthode radar (masque, bande brillante, faisceau trop haut) voir figure 1. L'idée de compléter les réseaux opérationnels par des radar en bande X moins puissants et moins coûteux a été proposée depuis de nombreuses années. Le projet RHYTMME réalise pour les Alpes du Sud, cette proposition.

Le modèle SAFRAN a été développé pour l'analyse en zone de montagne nécessaire pour la prévision du risque d'avalanche (PRA), (DURAND, 1993), la partie d'analyse des précipitations comporte quelques particularités qui seront exposés dans le chapitre 3. En particulier, le module de répartition horaire des précipitations est très délicate, du fait des plusieurs phénomènes à seuil ou intermittents comme la limite pluie-neige ou les précipitations elles-mêmes.

L'idée d'utiliser les images radar et en particulier celles incluant les nouveaux radar Bande X est donc assez naturelle, c'est le but de cette étude.

1.1 but de cette étude.

Dans cette étude, nous allons dans une première phase valider la précipitation journalière estimée par les radars sur nos massifs d'intérêts (Mercantour, Haut-Var Haut-Verdon). L'avantage principal des images radar, réside dans la haute fréquence temporelle des images. Cela va nous permettre d'améliorer la répartition horaire des précipitations journalières obtenues dans Safran.

2 PRESENTATION DU RESEAU RHytMME

Depuis maintenant plusieurs dizaines d'années, des radars météorologiques sont déployés dans des réseaux opérationnels. En France, celui-ci s'appelle ARAMIS (Champeaux, 2012), en donne une présentation générale. Afin d'obtenir rapidement, une couverture complète du territoire, le choix a été fait d'avoir des radars en bande C ou S, qui ont une portée de détection d'environ 150km. Dans les zones montagneuses, voir figure 1, les limites des méthodes

radars empêchent une utilisation quantitative des mesures radar, du fait des échos fixes, des masques, ou des problèmes liés à la hauteur du faisceau radar, avec des nuages précipitants bas non vus.

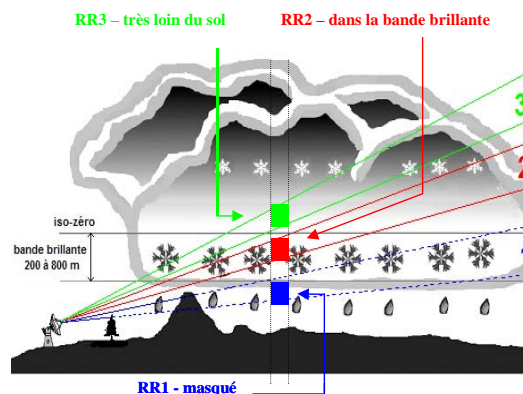


Figure 1 : différentes difficultés en zone montagneuse pour la mesure radar

Pour palier à ces problèmes, le projet RHYTMME (Radars Hydrologiques en Terrains Montagneux et Méditerranéens) a pour but de déployer un réseau de radars en bande X (Westrelin, 2010) permettant de compléter le réseau opérationnel, et du fait de leur moindre puissance et plus faible coût de résoudre les problèmes de masque par mélange (mosaïque RHYTMME) des images des différents radars du réseau ARAMIS ou RHYTMME, voir figure 2.



Figure 2 : emplacement et portée hydrologique théorique des 4 radars insérés dans le réseau RHYTMME

2.1 Difficultés en zone de montagne et solutions apportées

En bande X, du fait de la plus faible puissance, les phénomènes d'atténuation par les précipitations intenses sont plus sensibles. En utilisant les propriétés polarimétriques de ceux-ci, cela peut être évité (Kabeche, 2012 et Tabary, 2007). Le premier radar X utilisé dans ce projet est celui du Mont Vial déployé dans le cadre du projet FRAMEA (Diss, 2006), et une chaîne particulière de pré traitement a du être développé pour celui-ci.

Dans la figure 3, nous donnons la chaîne de pré traitement développé à Toulouse par le service radar de la Direction des systèmes d'Observation (DSO/CMR/dev), dans le cadre du projet RHytMME. Pour ce qui nous concerne, nous prendrons les images mosaïques type SYCOMORE, dans la banque de données images (BDI), pour des raisons d'accès distants et aussi pour profiter des traitements amont effectués par le service radar de Toulouse.

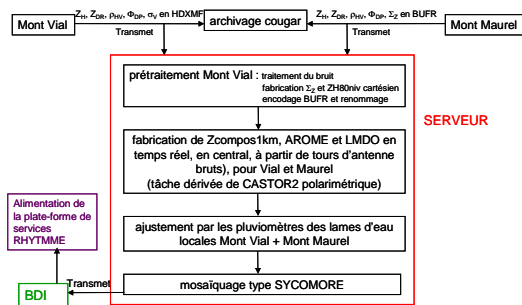


figure 3 : chaîne de pré-traitement des différents radar utilisés dans le projet RHytMME

3 PRESENTATION DE L'ANALYSE SAFRAN

SAFRAN (Durand 1993) est un module d'analyse des paramètres météo dans un repère (massif, altitude, versant). L'Analyse est à l'échelle du massif avec 23 massifs pour les Alpes Françaises et dans la zone concernée par cette étude, les massifs du Mercantour, Haut Var-Haut Verdon, Ubaye, Embrunais-Parpaillon, Champsaur, Dévoluy, Queyras, Thabor, Pelvoux seront potentiellement concernés au fur et à mesure de l'installation des radars RHytMME.

SAFRAN fournit des analyses en altitude par pas de 300m et sur les 4 expositions (N,E,S,O), ainsi que sur le plat. De façon générale, l'estimation d'une quantité Y^a (a = analyse) au point d'analyse "k" à partir des quantités X^o (o = observation) situées aux point "i", pouvant être de nature différentes de Y (par exemple: Y est la composante méridienne du vent et X la composante zonale) revient à trouver les poids

Pik qui vont combiner linéairement l'information disponible des N points d'observation adjacents.

$$Y_k^a = Y_k^e + \sum_{i=1}^{i=N} P_{ik} (X_i^o - X_i^e) \quad (1)$$

Les valeurs d'ébauche Y^e (e = ébauche) sont utilisées à la fois aux points d'analyse et aux points d'observation ; ce qui implique l'utilisation d'opérateurs d'interpolation et d'extrapolation. La détermination des poids P_{ik} se fait par minimisation de l'erreur quadratique moyenne de la différence analyse moins ébauche via les structures statistiques modélisées.

3.2 Analyse des précipitations SAFRAN

La lame d'eau journalière dépend principalement du massif et de l'altitude analysé. L'analyse est « presque » homogène sur les 4 expositions. En analyse, les lames d'eau Safran sont une combinaison linéaire des observations contrainte par la climatologie

L'analyse des précipitations est effectuée une fois par jour car c'est la période sur laquelle les données d'observation sont disponibles (en particulier dans le réseau nivo-météo). Avant de commencer l'analyse, l'ébauche déduite d'AURELHY (Benichou 1986) est ajustée par massif avec les données observées. Le schéma d'analyse est de type interpolation optimale, sans corrélation verticale, mais une contrainte supplémentaire impose au résultat de respecter une certaine structure climatologique. Ainsi l'équation (1) devient (schéma à une seule variable R et l'exposant y indique une ébauche AURELHY):

$$R_k^a = R_k^y + \sum_{i=1}^{i=N} P_{ik} (R_i^o - R_i^y) \quad (2)$$

On y ajoute la contrainte supplémentaire:

$$R_k^y = \sum_{i=1}^{i=N} P_{ik} R_i^y \quad (3)$$

qui permet de s'affranchir des corrélations verticales (difficiles à modéliser en montagne) et assure un résultat nul en cas de précipitations observées nulles. Le modèle statistique sous-jacent tient compte de la distance entre point analysé et points d'observation et des résultats d'une étude préalable qui caractérise la corrélation qui peut exister entre deux massifs. Cependant, lorsque le massif d'analyse est pourvu de suffisamment d'observations (internes à son massif) SAFRAN juge qu'il n'est pas nécessaire d'utiliser des données de plaine ou d'autres massifs et au lieu de calculer les poids P_{ik} par la

méthode d'interpolation optimale, il utilise des poids "simplifiés" via la formule:

$$P_{ik} = \frac{R_k^y}{\sum_{j=1}^{j=N} R_j^y} \quad (4)$$

3.2 Difficultés liées à la répartition horaire

Toutes les quantités analysées par SAFRAN doivent être interpolées au pas horaire pour les modules suivants CROCUS (Brun, 1989) ou SURFEX (Vionnet, 2012). Le problème est différent dans le cas des précipitations pour lesquelles on calcule une fonction de répartition horaire avec l'humidité spécifique analysée (Durand, 2000).

Un des principaux problèmes est la phase des précipitations surtout quand elle varie dans la journée. Nous avons essayé de le résoudre en 3 étapes:

- la première est la détection horaire pour chaque versant de l'isotherme 0°C qui fournit une première indication sur la limite pluie/neige.

- la seconde est la modification de la limite pluie-neige avec les observations de "temps présent" ou "passés" toutes les 6 heures complétée par un ajustement en fonction de l'altitude et du gradient vertical de température dans des limites raisonnables car parfois le diagnostic est contradictoire.

- la troisième étape est l'évaluation journalière du rapport de la masse d'eau tombée sous forme de pluie sur la masse d'eau totale pour chaque altitude. Pour cela on utilise les postes nivo-météo, et le résultat de la seconde étape. Enfin, un calcul variationnel ajuste pour chaque altitude les 24 valeurs de précipitations et leur phase à la valeur du rapport ainsi estimé.

4 COMPARAISON JOURNALIERE RADAR/SAFRAN

4.1 Précisions sur les données comparées.

Pour Safran, nous utilisons pour chaque massif, la valeur analysée à l'altitude mini et maxi du massif (soit 600m et 2700m pour Haut-Var / Haut-Verdon) et (1200m et 3000 m pour le Mercantour). Pour RHyTMME, la lame d'eau mosaïque est une composite multi-sites et multi-radar obtenue avec des volumes d'exploration à

différentes altitudes en fonction de la distance au radar utilisé et aussi en fonction de l'altitude du radar concerné. Les radars RHyTMME utilisés ont une altitude de 1550m pour le Mt Vial et 1770m pour le Maurel. Voir figure 4 et les deux panels de la figure 5.

4.2 Traitements sur les images mosaïques

Les mosaïques RHyTMME sont projetés dans le repère de la mosaïque nationale française pour faciliter l'insertion de ce réseau dans les outils opérationnels. La projection se fait sur le géoïde WGS84 par une projection stéréographique polaire. Nous obtenons une image 1536x1536 pixels, chacun de taille 1 km².

Pour chaque massif montagneux utilisé pour la prévision du risque d'avalanche (PRA) inclus dans la zone couverte par les radars, nous transformons la liste de bords longitude, latitude du polygone qui approche la frontière du massif considéré dans le repère mosaïque. Nous obtenons un polygone :

{B_n,n=1,NB_m}, où chaque sommet B_n du polygone est donné par ses coordonnées I,J dans le repère mosaïque.

Pour trouver si le pixel P est à l'intérieur du massif concerné, on se base sur la somme des angles orientés B_nPB_{n+1}. Si le point est intérieur, la somme des angles orientés est de 2 π, et nulle si le pixel est extérieur au massif.

Par un ensemble de scripts et programmes, nous récupérons les images pour les journées voulues dans la BDI, puis pour nos massifs d'intérêt nous calculons différents paramètres pour chacune des heures de la journée traitée (lame d'eau horaire moyenne, nombre de pixels pluvieux, et des cumuls horaires avec différents seuils, ...) Les images utilisées sont des mosaïques, pour chaque pixel, l'information est une fusion venant de différents radars et de différents angles de visées du radar (multi-sites). Cela rend impossible l'affectation d'une altitude précise à un pixel traité de la mosaïque. C'est pourquoi, les images radar seront surtout utilisées pour leur modèle temporel en utilisant l'apport indéniable de leur haute fréquence temporelle par rapport aux autres systèmes d'observation (réseau nivo-météo au pas bi-quotidien ou réseau climatologique au pas quotidien).

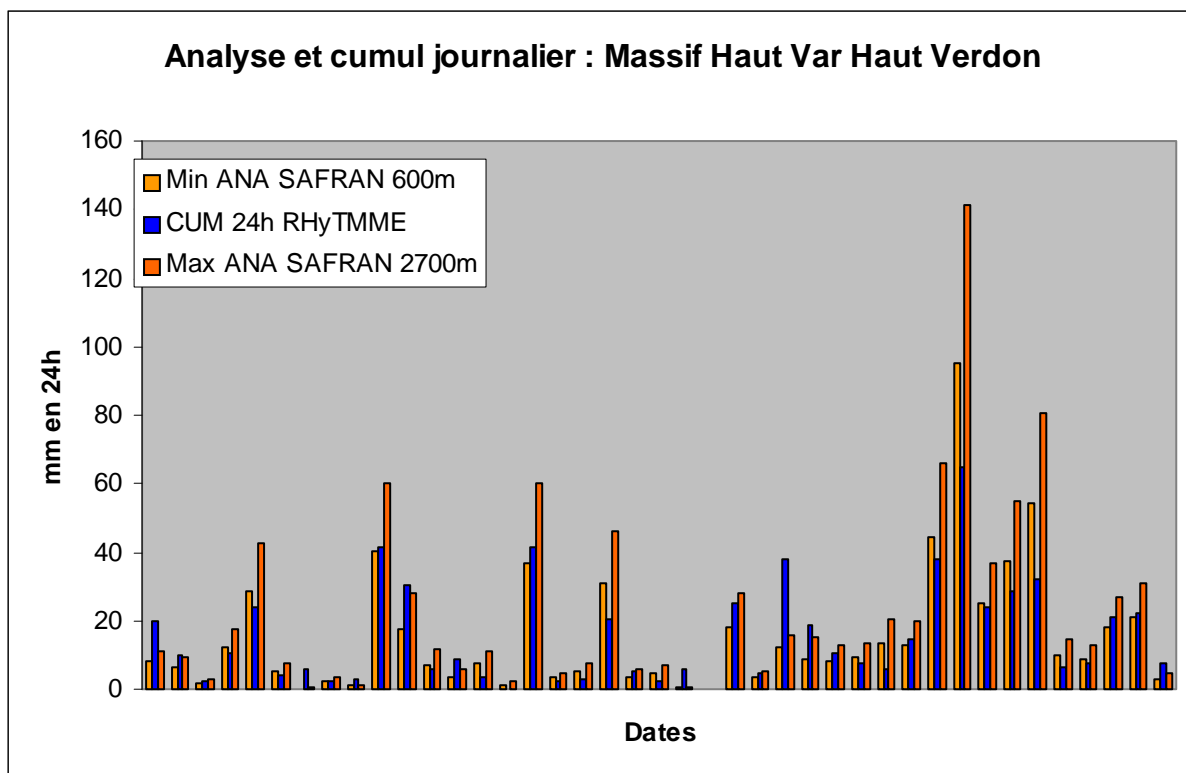


figure 4 : comparaison cumul journalier estimé radar et valeurs analysées SAFRAN à deux niveaux d'altitudes pour le massif du Haut Var Haut Verdon pour 41 journées pluvieuses entre septembre 2011 et mai 2012. les dates les plus anciennes sont à droite.

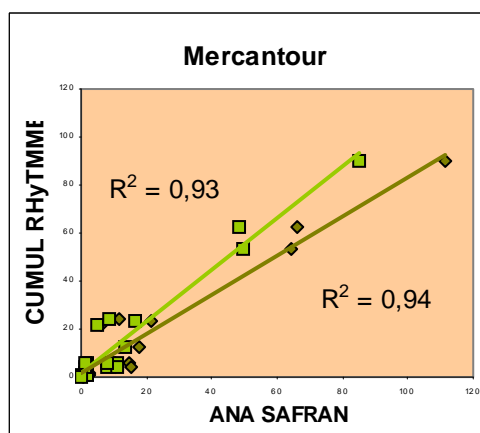
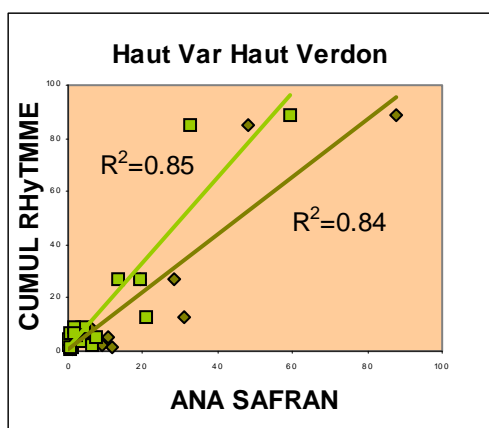


Figure 5: graphe de dispersion avec la V2.1 sur 20 journées, en ordonnée le cumul journalier radar, en abscisse les valeurs journalières analysées par SAFRAN, en vert clair au min du massif, en vert marron au max analysé du massif. Panel gauche : Haut Var-Haut Verdon, panel droit : Mercantour

Massif	Haut Var Haut Verdon				Mercantour			
	Biais RHY-SAFn	Biais RHY-SAFx	Écart type RHY-SAFn	Écart type RHY-SAFx	Biais RHY-SAFn	Biais RHY-SAFx	Écart type RHY-SAFn	Écart type RHY-SAFx
V2.1 : 20 journées traitées avec V2	7,0	2,2	13,7	10,9	3,0	-1,4	6,6	8,4
V1.3 : 14 journées avec correction d'atténuation et masque échos fixes statique	2,2	-2,6	5,1	7,9	0,1	-3,2	3,2	6,1
V1.2 : 10 journées avec masque échos fixes sta- tique	-0,2	-5,1	4,5	9,1	-1,5	-5,5	3,7	7,1
V1.1 : 18 journées avec masque échos fixes dy- namique	-1,4	-12,4	12,0	21,9	2,5	-4,6	30,5	34,4

Figure 6 : tableau synthétisant les différents résultats en terme de biais et d'écart type entre les estimations journalières radar et les analyses journalières SAFRAN aux altitudes min et max des deux massifs traités.

5 COMPARAISON JOURNALIERE RADAR/PLUVIOMETRES

Les cumuls ont été pris sur la plate-forme RHYTMME et obtenu par somme des cumuls semi-journaliers.

Nous retenons les min, max observé pour chaque massif. Cette comparaison a été effectuée depuis l'installation de la V2 RHyTMME et les panels de la figure 7 montrent les 26 journées extraites de juillet à mi-novembre 2012.

Nous constatons une sur-estimation, du cumul moyen radar journalier, très nette sur les épisodes récents du 4 au 5 novembre et 10 au 11 novembre où sur le Haut Var -Haut Verdon, le cumul moyen radar (vers 88mm/jour) est plus fort que l'obs max du Massif (74mm/jour et 68mm/jour resp.). Cela arrive parfois aussi sur le Mercantour mais pour des cumuls plus faibles autour de 20 à 30mm/jour. Cela provient de la trop forte correction de l'atténuation surtout à grande portée.

Ce défaut a été corrigé dans la V2.2 de la plate-forme de traitement RHyTMME, en même temps qu'un nouveau traitement des échos fixes du Mont Vial. Les nouvelles journées extraites et non encore totalement traitées permettent d'espérer que l'on dépasse les scores obtenus avec la V1.

Nous constatons aussi la grande variabilité de la précipitation journalière à l'intérieur d'un massif, cette variabilité spatiale s'observe aussi sur les images radar, noyau de pluies plus ou moins stationnaire et n'étant que très rarement homogènes sur tout un massif.

Cela souligne la difficulté d'obtenir une valeur estimée pertinente sur un massif dont les tailles vont de 400 à 1500 km².

Soit, nous sub-divisons les massifs en zones plus petites, mais alors nous réduisons les sources possibles d'informations pour l'analyse journalières Safran et nous aurons une analyse moins robuste, soit nous gardons en mémoire cette inhomogénéité en mémoire comme mesure possible de l'incertitude de nos analyses et estimations.

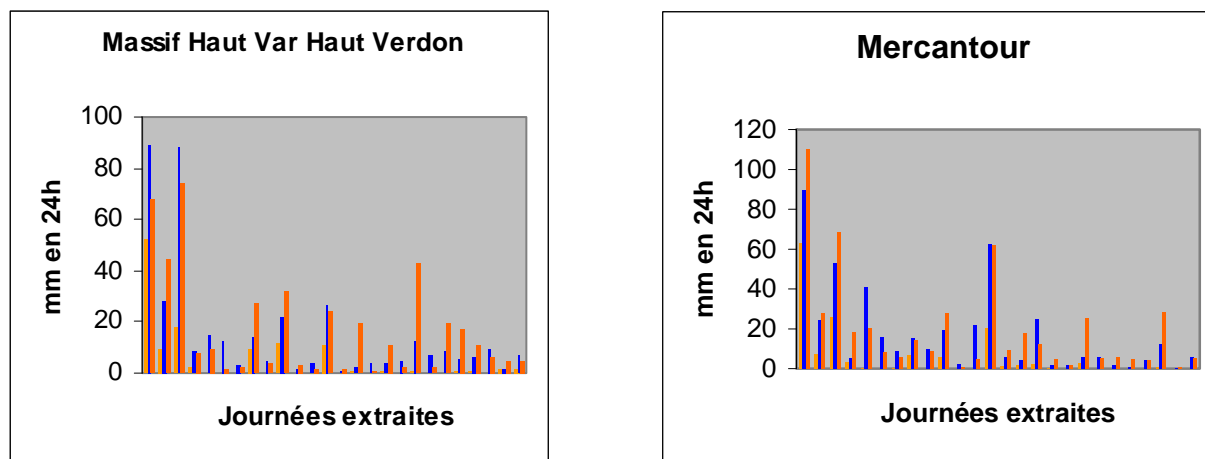


Figure 7 : Comparaison entre les cumuls journaliers RHYTMME en bleu, les cumuls observés min en orange clair et les cumuls observés max en orange foncé sur 26 journées entre juillet 2012 et novembre 2012. Les dates les plus récentes sont à gauche.

6 ESSAIS DE REPARTITION HORAIRE

Grâce aux images traitées, nous pouvons obtenir, 24 valeurs, représentant chacune la fraction horaire de la pluie radar estimée pour chacun de nos deux massifs pour l'heure h .

La fraction horaire estimée est alors :

$$FR_h^{\text{esti}} = RR_h / RR_J \quad (5)$$

Où RR_h (resp. RR_J) représente la pluie horaire (resp. journalière) estimée via la mosaïque radar RHyTMME dans le massif considéré.

Cet ensemble est fourni à Safran, comme une nouvelle source d'information, et si c'était la seule fournie au module d'interpolation horaire nous obtiendrions :

$$RR_{\text{Safran}_h} = FR_h^{\text{esti}} RR_{\text{Safran}_J} \dots \dots (6)$$

Où RR_{Safran_h} (resp. RR_{Safran_J}) représente la pluie horaire (resp. journalière) estimée par Safran.

6.1 Quelques précisions.

Le module d'interpolation horaire de Safran décrit dans le paragraphe 1.4 veut éviter autant que possible les diagnostics contradictoires surtout en cas de voisinage de la limite pluie neige pour l'altitude concernée. Pour la suite de l'analyse du manteau neigeux, une erreur sur la phase (neige ou pluie) est plus pénalisante, création d'état de surface différents ou de croûtes, qu'une erreur de quantité horaire de pluie ou de neige tombées. Cela conduit Safran, à volontairement annuler la pluie horaire sur une heure donnée et une altitude donnée pour la répartir sur les heures adjacentes où le diagnostic phase est plus sûr.

7 CONCLUSION

Le réseau RHyTMME est maintenant complètement déployé, avec le dernier radar de Vars Mayt (2300m) installé depuis cet été. Les images rejoindront la mosaïque à l'automne. Cela devrait nous permettre d'étendre nos traitements aux 9 massifs PRA des Alpes du Sud, avec une qualité théorique satisfaisante. Les derniers réglages de la plate-forme de traitement V2 de RHyTMME permettent de résoudre les principales difficultés de la mesure radar en zone montagneuse. De plus, des projets d'extension du réseau de radar en bande X sont inclus dans les objectifs de Météo France, permettant d'espérer généraliser cette approche sur d'abord toutes les Alpes puis sur l'ensemble des montagnes françaises concernées par le risque d'avalanches.

Il reste encore pas mal de travail pour mieux utiliser les images radar en vue d'améliorer la répartition temporelle dans Safran. Les premières approches sont encourageantes. En lien avec les travaux autour de la future chaîne Safran, Surfex, Mepra, une réflexion amont est à mener sur le repère pertinent pour analyser les précipitations horaires en tenant compte de la disponibilité de ces nouvelles mesures radar, mais en restant prudents pour avoir d'autres sources indépendantes d'information (pluviomètres au pas horaire, réseau nivo-météo suffisamment dense, ..).

6 REFERENCES

- Bénichou, P., Le Breton O., 1986 Prise en compte de la topographie pour la cartographie de champs pluviométriques statistiques : la méthode AURELHY La Météorologie (SMF).
- Brun E., Martin E., Simon V., Gendre C., Coléou C. 1989 An energy and mass model of snow cover for operational avalanche forecasting. *Journal of Glaciology* 35 p 333-342
- Champeaux, J.L., Chèze J.L., Tabary P., 2012. The french operational radar network and products ERAD 2012 24-29 june 2012 (Toulouse, France)
- Diss S., Scialom G., Le Bouar E., Testud J., Lavabre J., Cheze J.L., 2006. FRAMEA : an experimental campaign for severe storm survey and flood warning, associating an x-band weather radar and a discharge hydrological model, *Proceedings of ERAD 2006, 4th European conference on radar in meteorology and hydrology (Barcelona, Espagne)*, 18-22/09/2006. pp. 429-431.
- Durand Y., Guyomarc'h G., Mérindol L., 2000. Prise en compte des observations au pas horaire dans l'analyse Safran, Séminaire AMA 2000, Météo-France Toulouse, 29-30/11/2000, 4p.
- Durand, Y., Brun E., Mérindol L., Guyomarc'h, G., Lesaffre B., Martin E., 1993 A meteorological estimation of relevant parameters for snow models. *Annals of Glaciology* 18 p65-71
- Kabeche, F., Figueras J., Fradon, B., Boumahmoud, A-A., Frasier, S., Tabary, P., 2012. Design and test of an X-band optimal rain rate estimator in the frame of the RHYTMME Project, ERAD 2012 24-29 june 2012 (Toulouse, France)
- Tabary, P., 2007., The new french radar rainfall product. Part I : Methodology *Weather and Forecasting*, 22(3), p393-408
- Vionnet, V., Brun E., Morin S., Boone A., Faroux S., Le Moigne P., E. Martin E., Willemet J.M., 2012., The detailed snowpack scheme Crocus and its implementation in SURFEX v7.2., *Geosci. Model Dev.*, 5, pp.773-791
- Westrelin, S., Mériaux P., Diss S., Chèze J.L., 2010., RHYTMME Hydrometeorological Hazards in Mediterranean Mountainous Areas. ERAD 2010 ,6-10 septembre 2010 Sibiu, Romania