



PICS
Prévision Immédiate Intégrée
des Impacts des Crues Soudaines



Subvention
ANR-17-CE03-0011



hepex.inrae.fr



HIWeather

<http://www.hiweather.net>



www.hymex.org

De nouveaux produits pour l'anticipation des pluies

Restitution PICS, 18 mai 2022

François Bouttier, Hugo Marchal, Axelle Fleury, Alexane Lovat, Kévin Walcarius, Adrien Warnan

travaux réalisés dans le cadre du projet ANR PICS (WP1, WP4), période 2018-2022



INRAE



Université
Gustave Eiffel

VIGICRUES

De nouveaux produits pour l'anticipation des pluies

Plan :

1) **Evaluation de prévisions déterministes** de pluie à courte échéance 0-3h

= **combiner** les prévisions immédiates (PIAF, par extrapolation radar) et les prévisions numériques (AROME-PI, modèle météo 3D)

2) **Génération de prévisions d'ensemble** de pluies, pour anticiper les crues/inondations

= **mieux détecter les fortes pluies** que les modèles bruts :

- modèles numériques (AROME et PE-AROME à échéance 0-48h)
- systèmes de prévision immédiate (PIAF à échéance 0-3h)

1. Evaluation des prévisions PIAF et AROME-PI

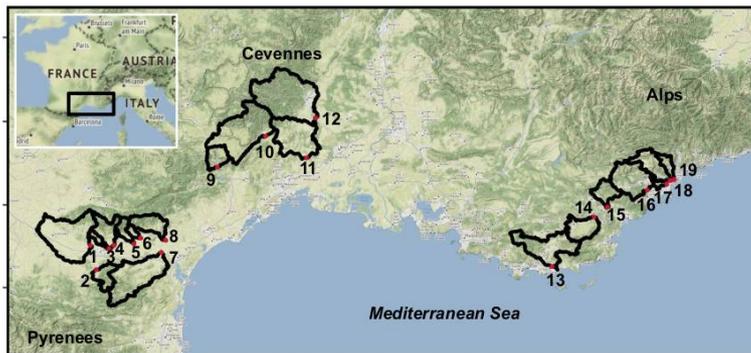
- **AROME-PI** : prévisions numériques horaires, assimilation de données 3D-Var
- **PIAF** : fusion entre extrapolation radar et AROME-PI
- évaluation sur 10 évènements de pluies intenses

originalité :

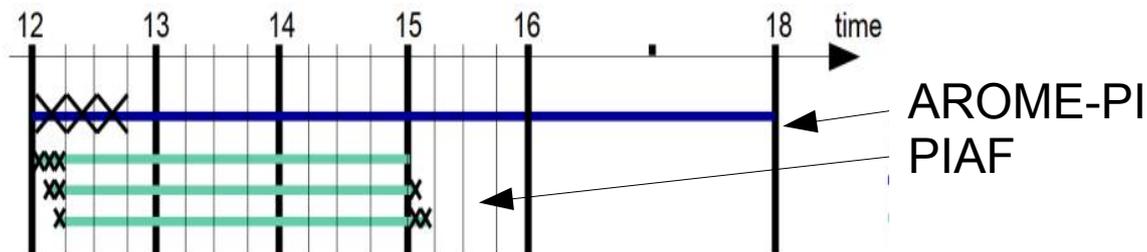
- on tient compte des **délais de disponibilité** des prévisions
- évaluation **à la fois météo et hydro** (modèle ISBA-TOP pour prévision des crues soudaines)

problématique : *optimiser l'utilisation de l'extrapolation des radars et de la prévision numérique ?*

conclusions : approche mixte (PIAF) meilleure jusqu'à 1h15 d'échéance, mais pas plus



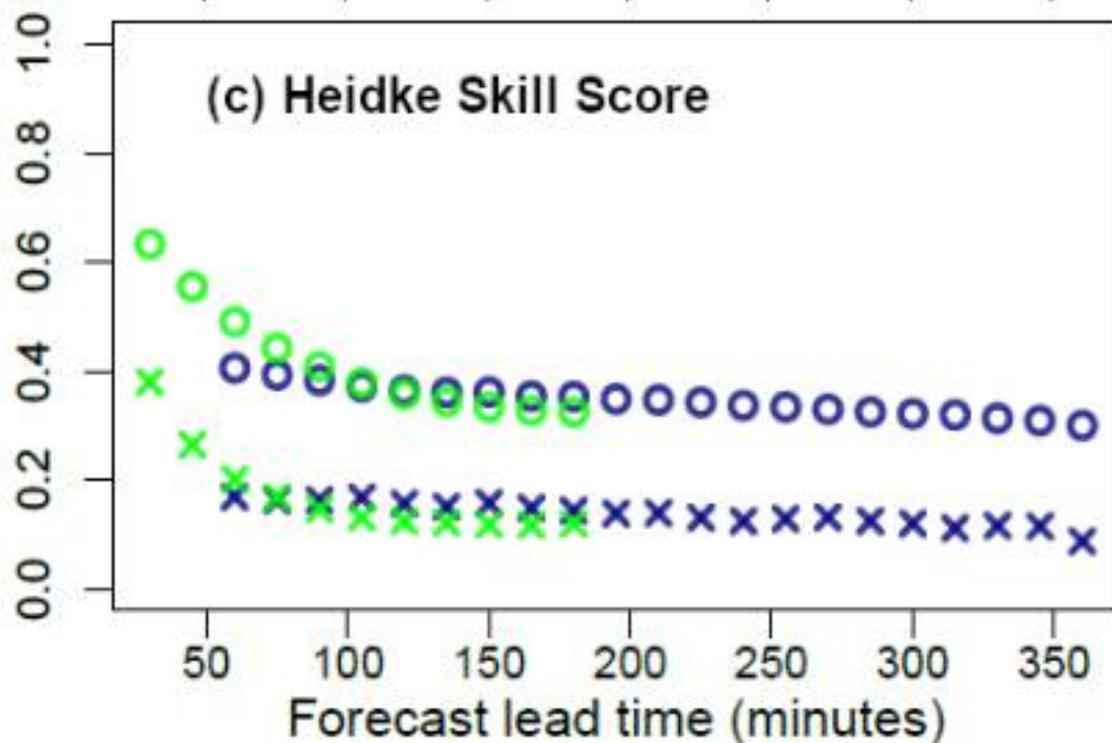
zone & bassins d'évaluation



timing des prévisions

Evaluation des prévisions PIAF et AROME-PI : pluies

Qualité moyenne des **pluies prévues**, par pas de 15mn :



Heidke skill score :

(a,b,c,d)= table de contingence

$$\kappa = 2(ad-bc)/\rho$$

$$\rho = (a+c)(c+d)+(a+b)(b+d)$$

o x : PIAF

o x : AROME-PI

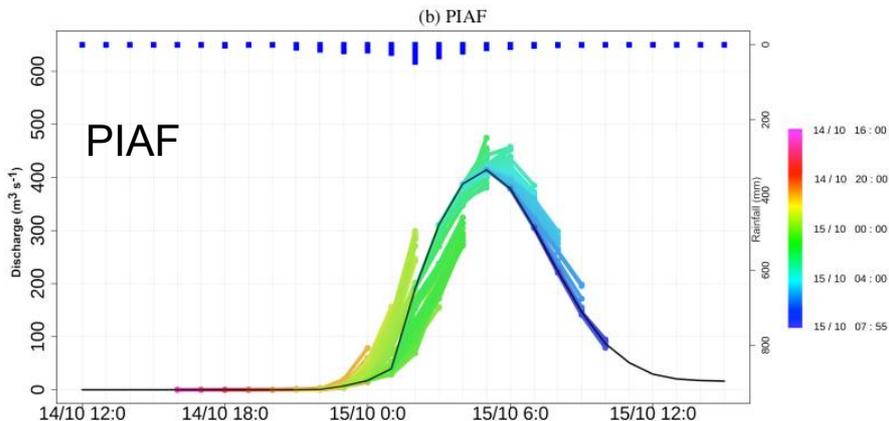
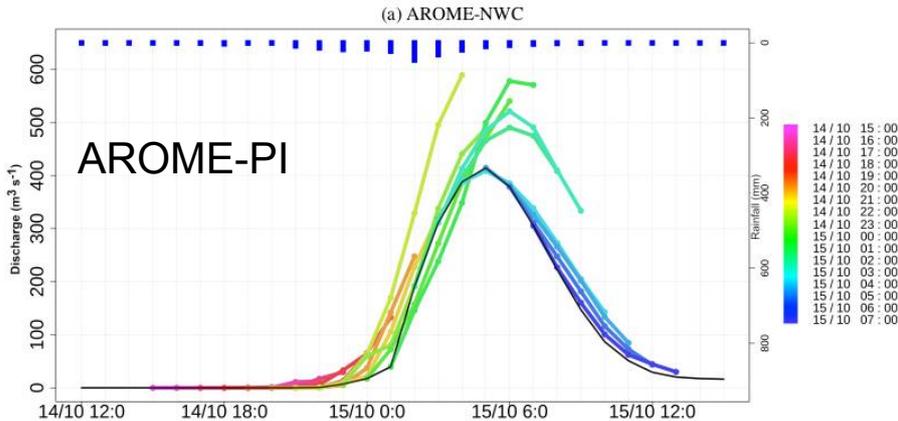
seuil 0.5mm/15min

seuil 3mm/15min

Evaluation des prévisions PIAF et AROME-PI : débits simulés

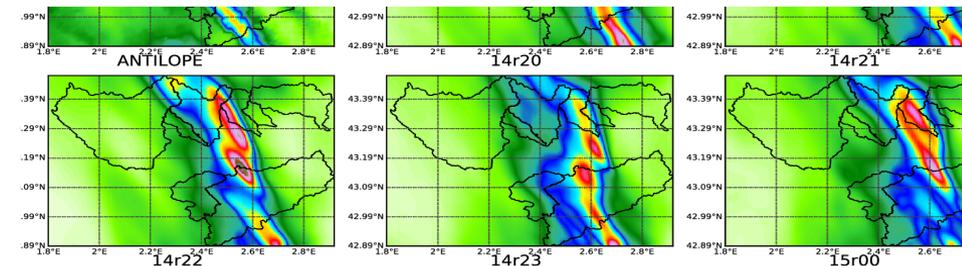
débits ISBA-TOP successifs sur Orbiel
par les prévisions successives, 15 Oct 2018

(anticipation de 1 à 5 h suivant les cas)



cf. aussi l'étude météo :

Olivier Caumont, Marc Mandement, François Bouttier, Judith Eeckman, Cindy Lebeaupin Brossier, Alexane Lovat, Olivier Nuissier, and Olivier Laurantin, 2021: The heavy precipitation event of 14--15 October 2018 in the Aude catchment: A meteorological study based on operational numerical weather prediction systems and standard and personal observations. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 21, 1135–1157. <https://doi.org/10.5194/nhess-21-1135-2021> et <https://hal.archives-ouvertes.fr/insu-03290539>



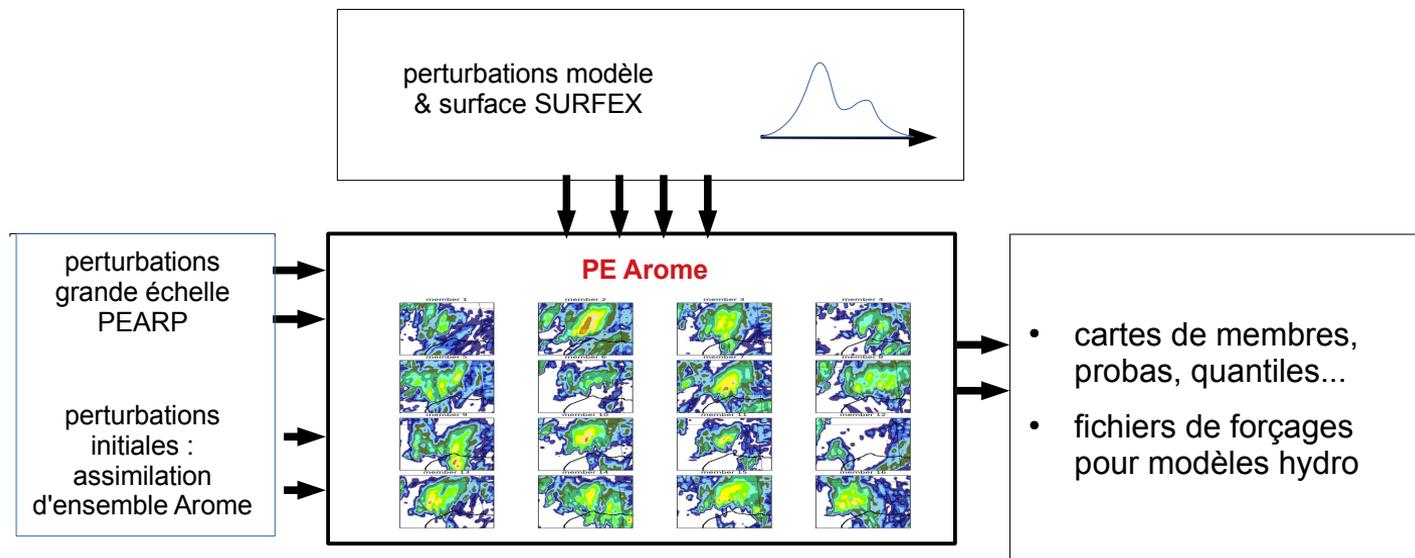
2. Génération de prévisions d'ensemble de pluie

Les prévisions d'ensemble (**PE**) servent à modéliser les incertitudes météo sous une forme compatible avec le forçage de modèles hydrologiques en temps réel.

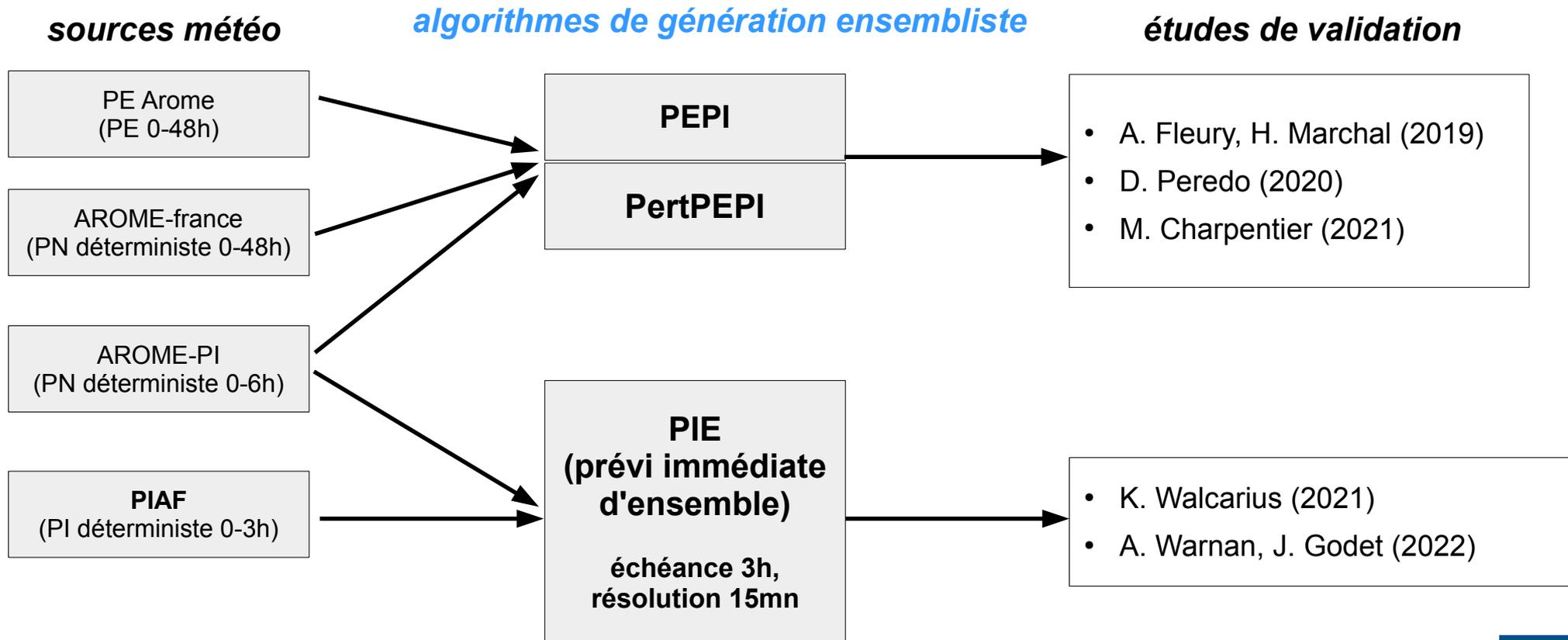
Exemple : PE AROME : 16 membres à résolution 2,5km - dispo 4x/jour avec délai de 4h.

Buts :

- **améliorer l'échantillonnage** de la PE pour mieux anticiper les pluies intenses
- **mieux traiter les échéances <4h**, avec des données plus fraîches.



Génération de prévisions d'ensemble : algorithmes testés durant PICS



Génération de prévisions d'ensemble : références

- Fleury A. and F. Bouttier, 2019: Ensemble-derived precipitation forecasts for flash-flood events prediction. *European Meteorological Society meeting*, Copenhagen, sept. 2019, session UP2.6, ref EMS2019-670
- Peredo, D., A. Fleury, M.-H. Ramos, V. Andréassian, L. Oudin et F. Bouttier, 2020: Short-term flash flood ensemble forecasting: evaluation of three precipitation forecast products for the October 2018 flood event in the Aude region (France). *HyMeX workshop*, 25-29 May 2020, Toulouse, France.
- Charpentier-Noyer, M., Payraastre, O., Gaume, E., Nicolle, P., Bouttier, F., and Marchal, H., 2021: Evaluation of three short-range (0-6h) rain ensemble forecasts: study of the Aude October 2018 flash floods (southeastern France), *EGU General Assembly*, 19–30 Apr 2021, EGU21-11946, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-11946>.
- Peredo Ramirez, D., Quels gains d'une modélisation hydrologique adaptée et d'une approche d'ensemble pour la prévision des crues rapides ? *Thèse de doctorat Sorbonne Université*, 12 mars 2021. HAL:tel-03469456
- Peredo D., M.-H. Ramos, H. Marchal and F. Bouttier, 2021: Challenges of event-based evaluation of flash floods: example of the October 2018 flood event in the Aude catchment in France. *HEPEX workshop*. 29 June - 1 July 2021, <https://events.ecmwf.int/event/222/>
- Walcarius, K., 2021 : Prévision immédiate probabiliste de précipitations adaptée à la prévision des crues. *Rapport de stage KTH Royal Institute of Technology & Ecole Centrale de Lyon*, 70pp, encadré par F. Bouttier, J.-M Moisselin et T. Montmerle.
- Charpentier-Noyer Maryse, Peredo Daniela, Marchal Hugo, Fleury Axelle, Payraastre Olivier, Gaume Eric, Ramos Maria-Helena, and Bouttier François, 2022: A methodological framework for the evaluation of short range flash flood hydrometeorological forecasts at the event scale. Submitted to Copernicus Publications end 2021.
- Warnan, A., F. Bouttier, T. Montmerle, P. Cau, H. Marchal and J.-M. Moisselin, 2022: A pseudo-probabilistic approach to rainfall nowcasting. *European nowcasting conference*. <https://www.eumetnet.eu/4th-european-nowcasting-conference/>

Génération de prévisions d'ensemble : méthodes

Objectifs :

- augmenter la taille des ensembles (pour améliorer détection des extrêmes & réduire "double peine")
- faire la jonction des probabilités prévues entre Prévision Immédiate (PI 0-3h) et PE (>4h):
 - **ensembles multimodèles de tailles variables** AROME-PI / AROME-France / PE-AROME
 - **rendre ensembliste la PI** (PIAF-RR d'extrapolation radar)

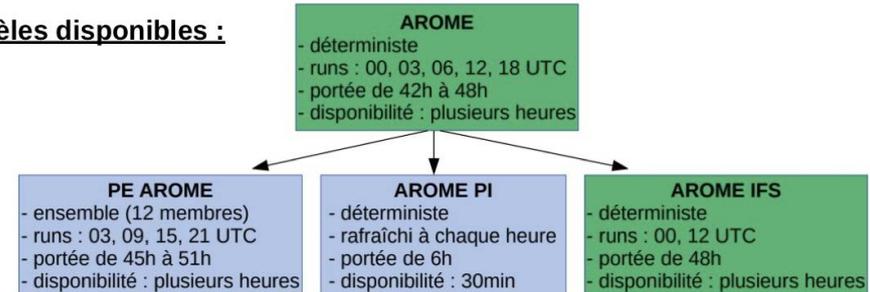
Techniques développées durant PICS :

- **multimodèle "PEPI"** = PE-AROME + AROME déterministe + AROME-PI
- **perturbation spatiale des prévisions** de pluie : algo "**pertdPEPI**"
- **ensembles de prévisions immédiates** : calibration + pert. spatiale + lagging + amplitude + Bayes

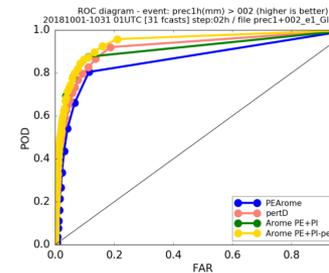
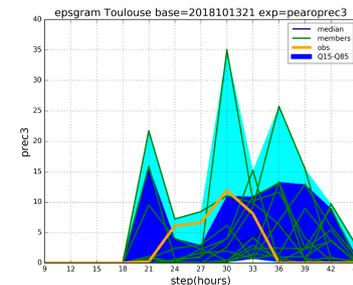
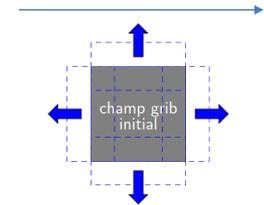
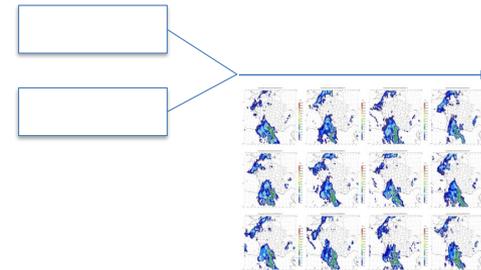
Génération de prévisions d'ensemble de pluie:outils

- combinaisons de modèles numériques (H. Marchal 2020)

▪ **Modèles disponibles :**



- grand ensemble (~100 membres) obtenu par perturb. spatiale de 12 membres PE AROME (A. Fleury 2019)



Génération de prévisions d'ensemble de pluie: validations

cf. exposés/posters dédiés : études de cas et statistiques

- thèse D. Peredo-Ramirez

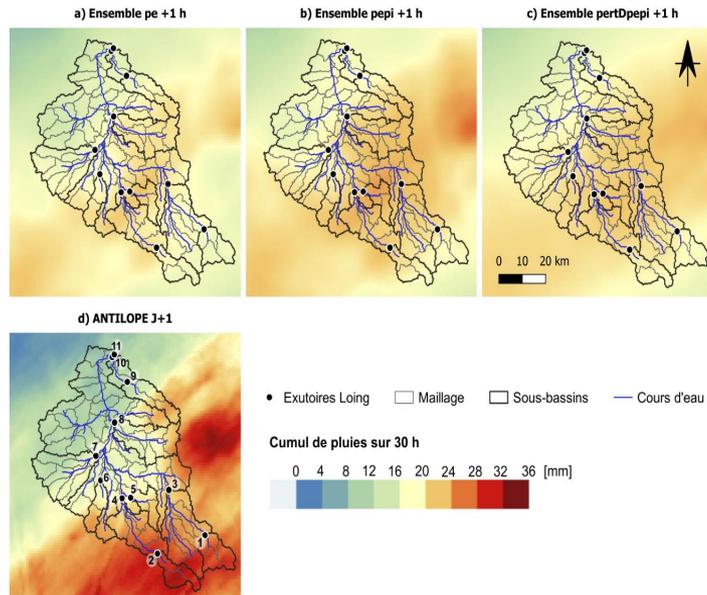


FIGURE 6.7 – Cumul sur 30 h de la moyenne des pluies prévues des ensembles pe (a), pepi (b) et pertDpepi (c) à l'échéance 1 h pour le bassin versant du Loing et cumul sur 30 h des pluies observées (d) (lames d'eau ANTILOPE J+1). Période : du 25/01/2018 à 0 h au 26/01/2018 à 06 h.

- article M. Charpentier-Noyer

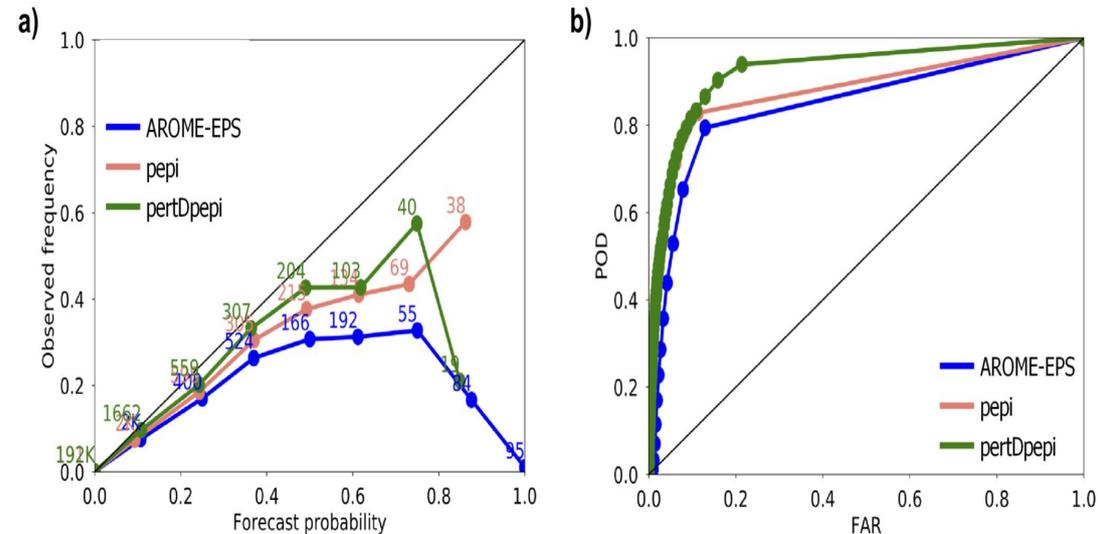
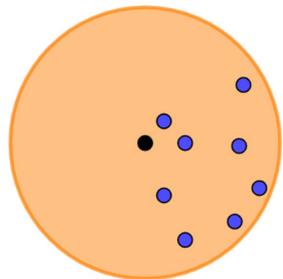


Figure 3. Evaluation of rainfall ensembles for rainfall exceeding 5mm/h and lead-times from 2h to 6h: a) Reliability diagram, b) ROC curves (POD, Probability of detection and FAR, false alarm rate).

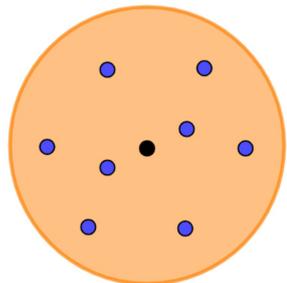
Génération de prévisions d'ensemble immédiates de pluie

Extensions de l'approche précédente :

- **calibration des lames d'eau à résolution 15mn**
- **amélioration des perturbations** : échantillonnage spatial gaussien par **algorithme MD** (mixture de Dirac, Wang 2019) calibré par diagnostics dFSS (Dey 2014)
- **perturbation de vitesse de déplacement des pluies**

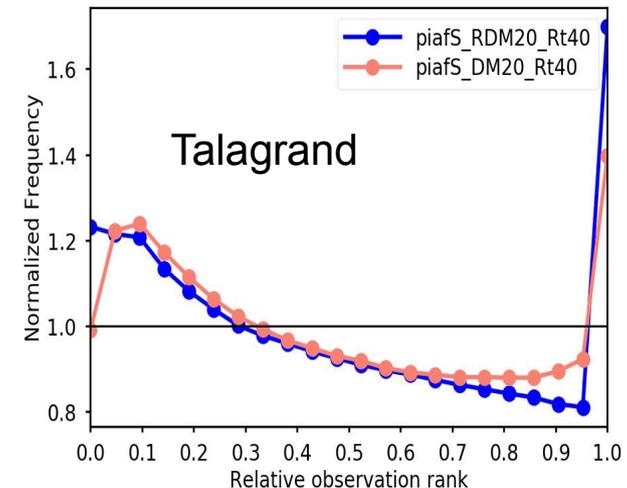
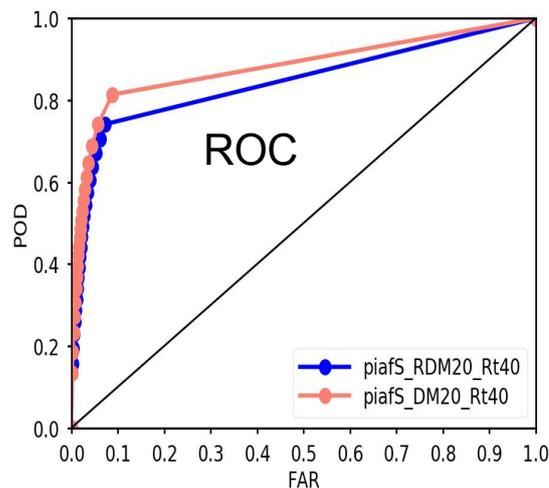


(a) Tirage Monte-Carlo :
Non dispersion
Non conservation des moments



(c) Mixture de Dirac :
Dispersion
Conservation des moments

Scores de l'algorithme MD :
meilleures résolutions et fiabilités ensemblistes

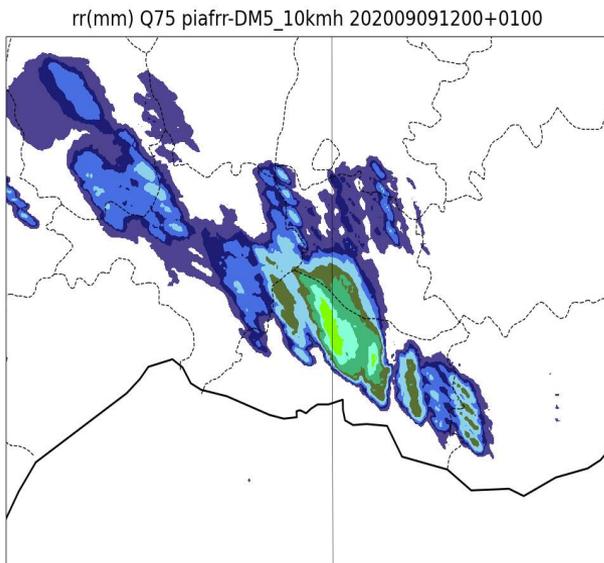


Génération de prévisions d'ensemble immédiates de pluie

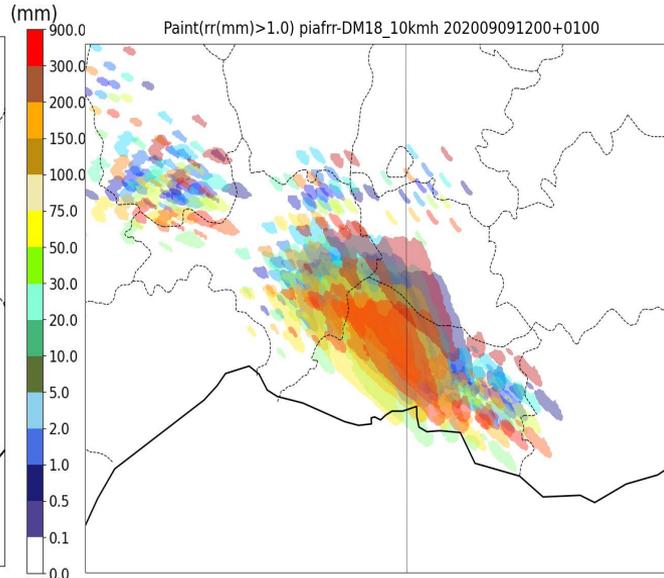
La perturbation spatiale MD (mixture de Dirac):

- permet d'ajuster librement la taille de l'ensemble
- améliore la détection des pluies maximum
- expansion des forts quantiles prévus, mais réduction des plus faibles quantiles : "dilution des petites cellules"

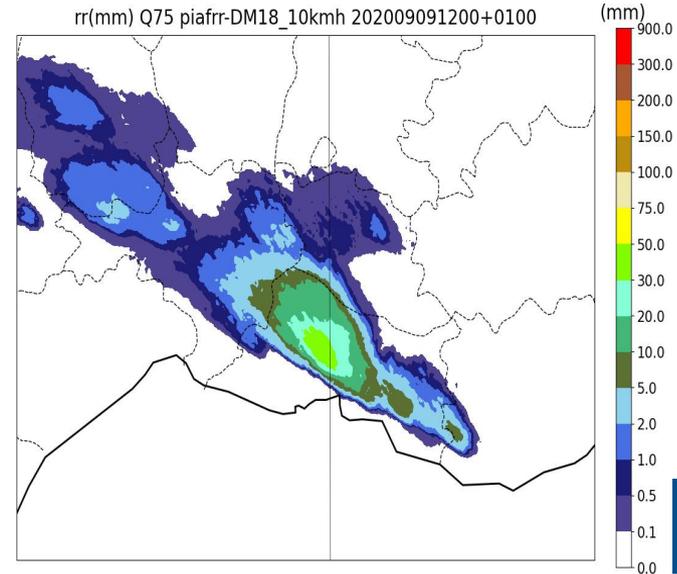
PI pluie avec N=1 membre



MD, N=18

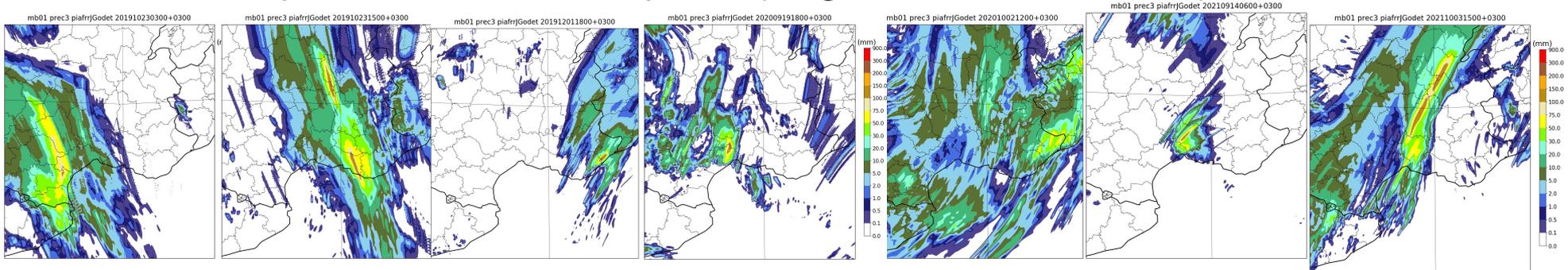


quantile 75 %

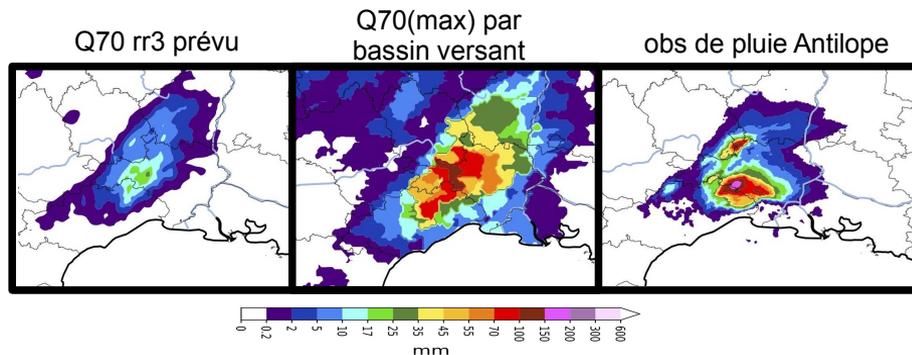


Conclusion : Prospective sur les ensembles

- évaluation sur plus de cas de fortes pluies (stage en cours - J. Godet)



- optimisation des perturbations
- modélisation de la stationnarisation des pluies
- amélioration et valorisation PI (PIAF-Antilope, évolution produits MF : PDH et APIC)
- méthodes de voisinage et extrapolation aux pluies extrêmes (thèse H. Marchal, Météo-France)



Perspectives

Conclusions:

- **on a démontré l'apport des nouveaux produits météo** pour l'anticipation des crues soudaines
- la **prévisibilité des pluies reste limitée** et très variable (performance des modèles météo)
- on a **adapté les ensembles** pour la modélisation des crues soudaines, mais ils restent **complexes à utiliser**.

Améliorer la prévision des pluies reste un **objectif majeur de Météo-France** (Contrat COP 2022-2026) :

- mieux prévoir les lames d'eau (échéance 0-3h)
- anticiper les risques infra-départementaux et fournir les données

Axes scientifiques futurs:

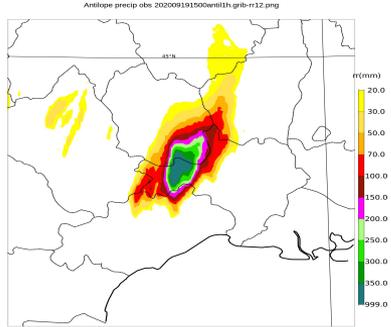
- amélioration des **systèmes de prévision** (PIAF, AROME, PE AROME, IA, assimilation de données)
- amélioration des **produits ensemblistes** : probabilités, forçages pour ensembles hydro
- aider à l'**utilisation des ensembles** : anticiper les attentes (modèles d'impact)
- problématiques spécifiques : risques **villes, littoral...**

Merci

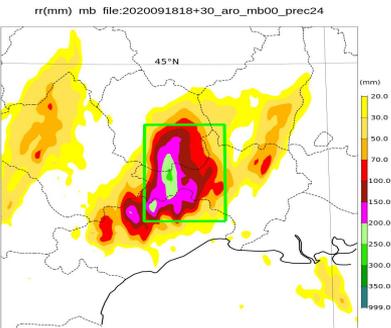
(-> diapos suivantes = annexes)

2. Comparaison PEARome et PI ensembliste

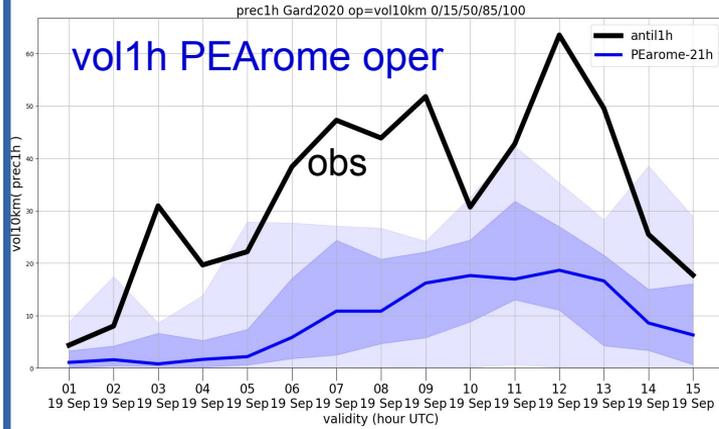
rr24 obs Antilope



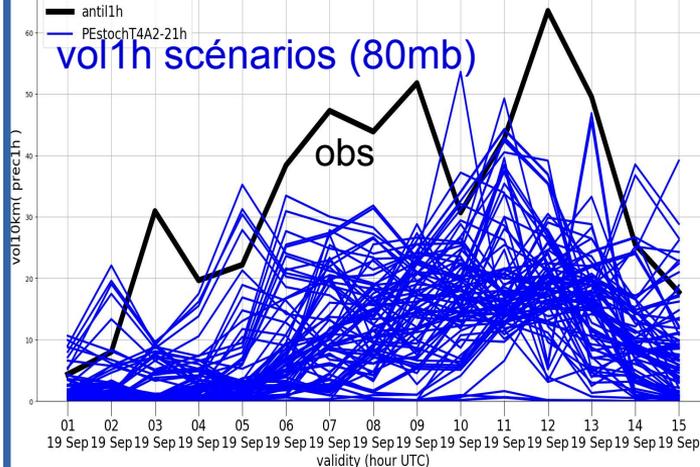
rr24 prévi AromeF-0h



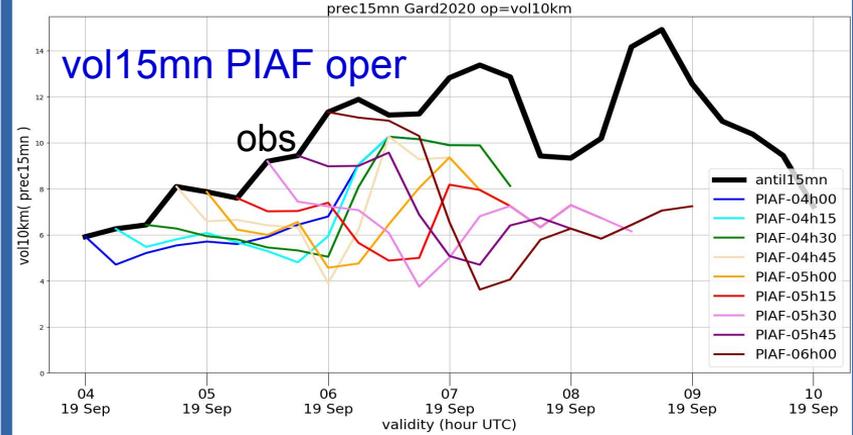
PE la veille au soir



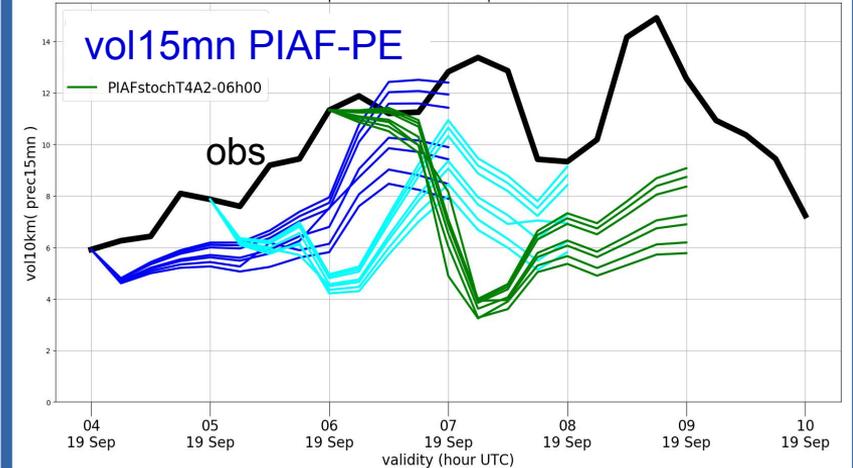
prec1h Gard2020 op=vol10km



PI par pas de 15mn



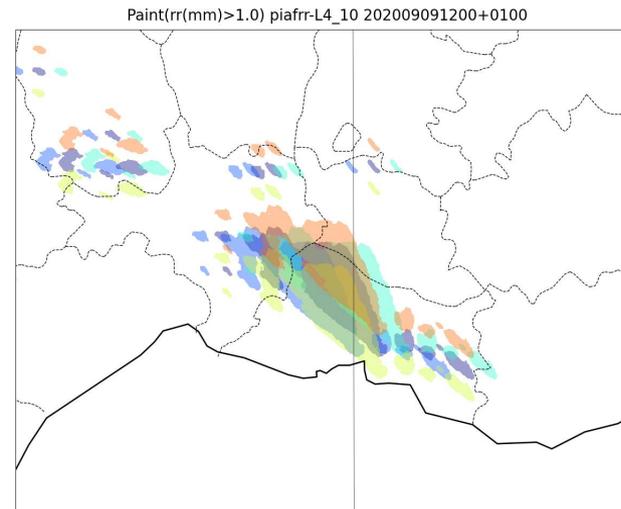
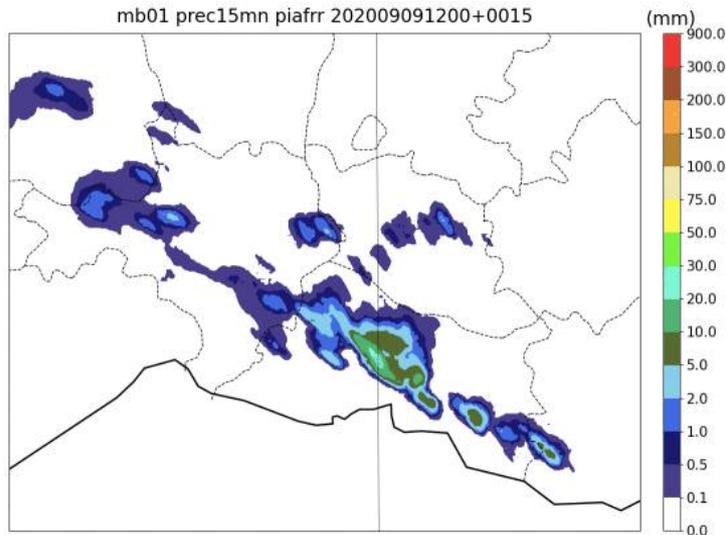
prec15mn Gard2020 op=vol10km



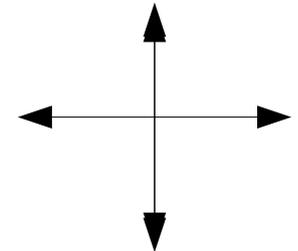
Prévisions d'ensemble immédiates

Pour alimenter des simulations hydrologiques ensemblistes :

- PIAF-rr fusionne une extrapolation d'images radar (freq 15mn) avec Arome-PI, mais est déterministe
- à courte échéance on génère un ensemble avec PIAF-rr :
 - par **perturbation spatiale** avec translation par échantillonnage optimisé (Gaussian Mixture par algorithme Cramer Von Mises), équivalente à une perturbation de l'advection
 - par **perturbation d'amplitude** : bruit multiplicatif AR1 avec corrélations spatiales



translation NSWE
d'amplitude constante
(à la pertdPEPI)

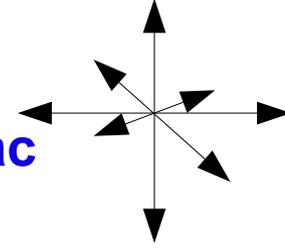


prévision PIAF-rr brute, échéance 0-3h par pas de 15mn

Prévisions d'ensemble immédiates

Compléments sur Perturbation spatiale Mixture de Dirac

N translations échantillonnent une gaussienne



N=5

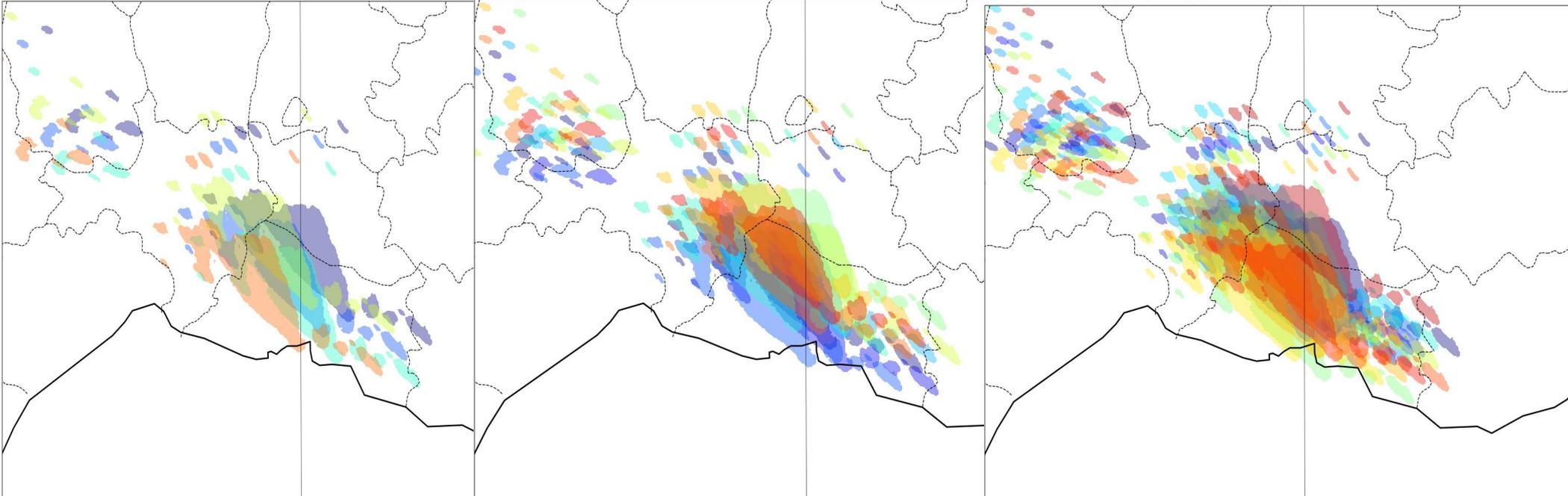
Paint(rr(mm)>1.0) piafrr-DM5_10kmh 202009091200+0100

N=10

Paint(rr(mm)>1.0) piafrr-DM10_10kmh 202009091200+0100

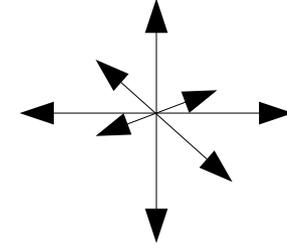
N=18

Paint(rr(mm)>1.0) piafrr-DM18_10kmh 202009091200+0100

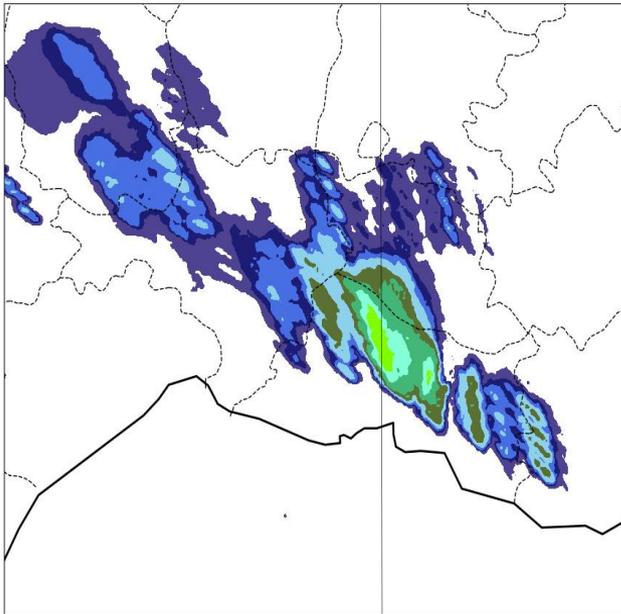


Prévisions d'ensemble immédiates

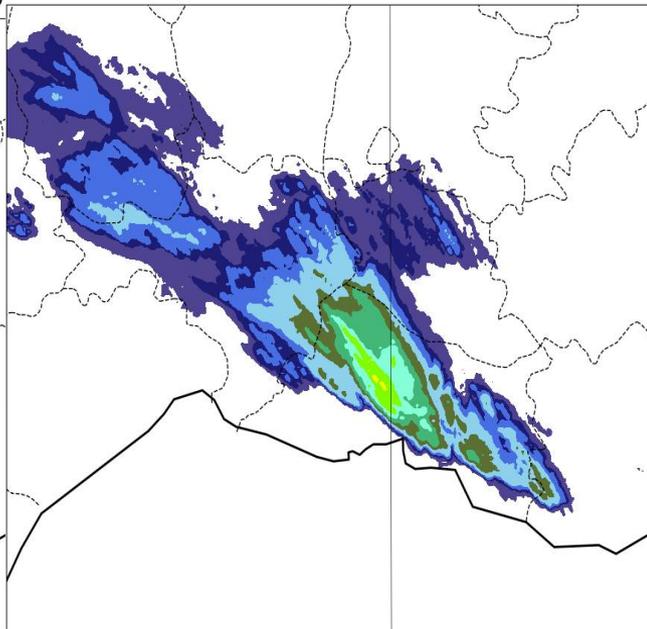
Perturbation spatiale Mixture de Dirac

**N=1****N=5****N=18**

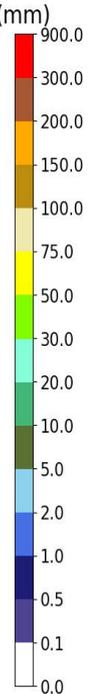
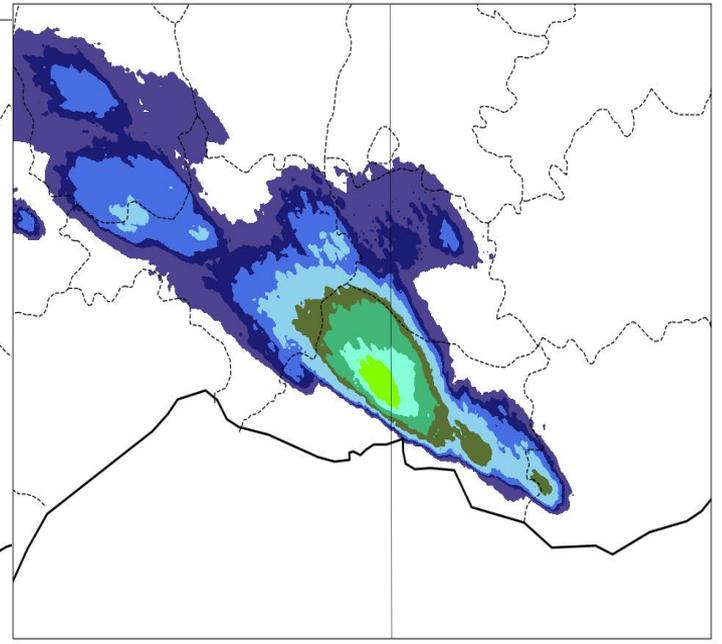
rr(mm) Q75 piafr-DM5_10kmh 202009091200+0100



rr(mm) Q75 piafr-DM5_10kmh 202009091200+0100



rr(mm) Q75 piafr-DM18_10kmh 202009091200+0100

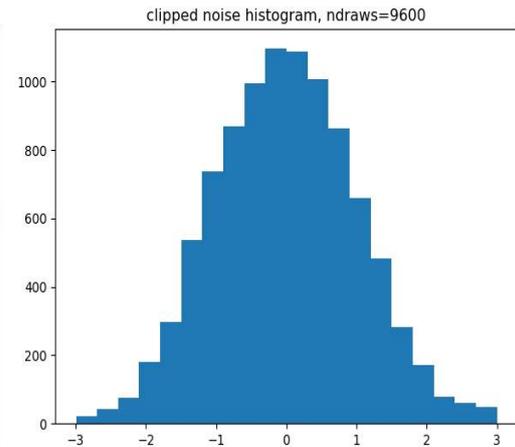
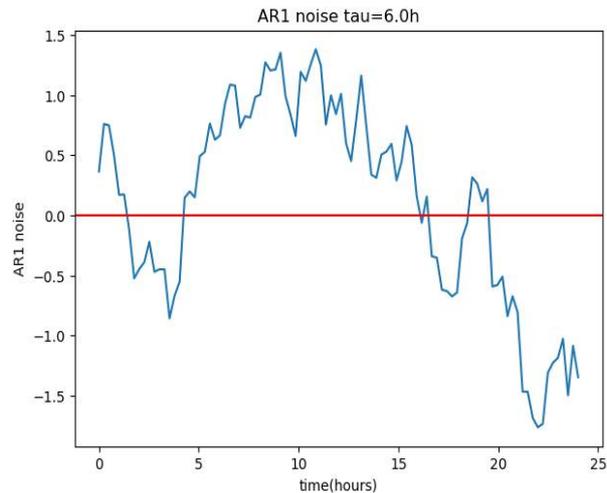
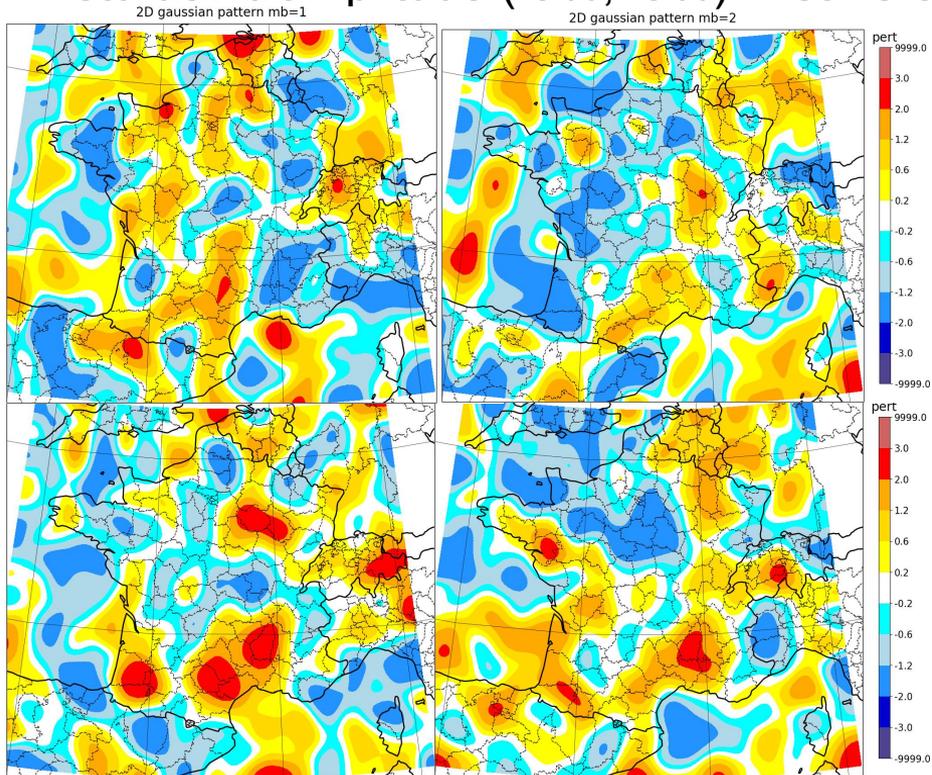


0.0

Nouveau PIAF-PE

Perturbation d'amplitude

- pattern avec corrélations gaussiennes 2D isotropes
- évolution par bruit AR1 + clipping miroir
- std.dev d'amplitude (-a%, +a%) linéaire en t, plafonnée à 20 % après 3h



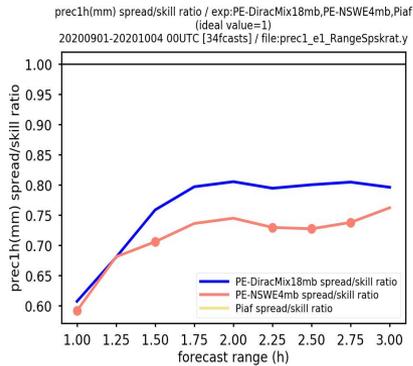
3. Nouveau PIAF-PE

Scores préliminaires de l'ensemble

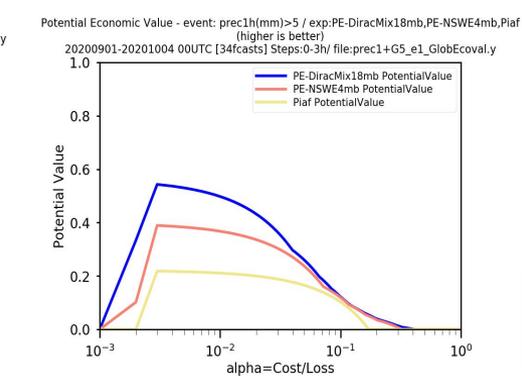
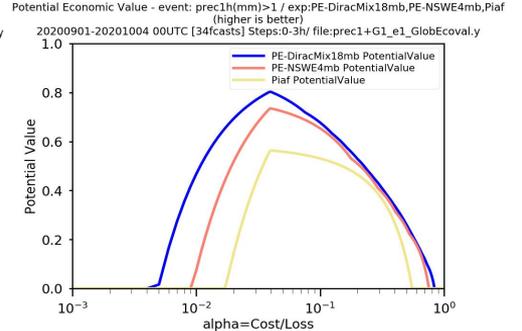
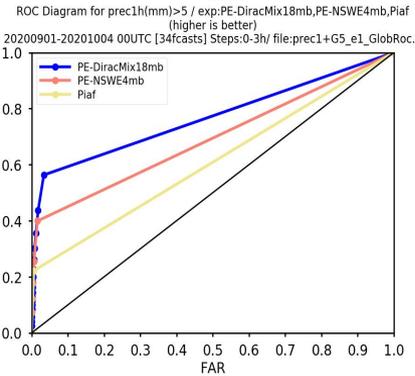
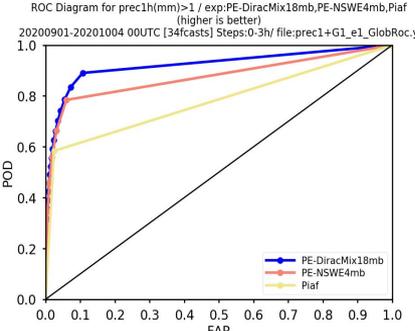
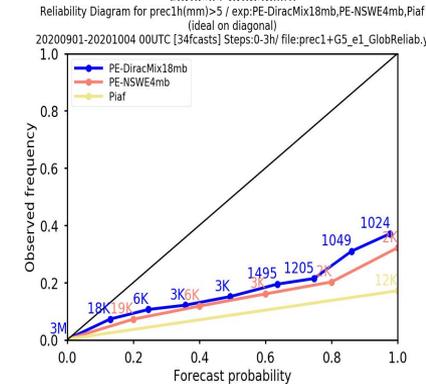
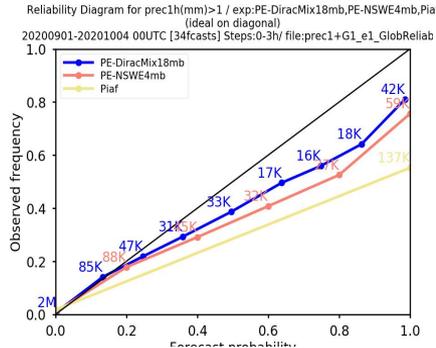
- sur sept/oct 2020 (3 événements inclus)
- avec perturbation spatiale seule pour le moment, test 4 et 18 membres, perturb 10km/h
- rr15mn bien dispersée mais rr1h sous-dispersée -> ajouter d'autres perturbations
- sous-estimation systématique des plus fortes précips (biais modèle Arome)
- relation détection - fausses alertes à analyser aux seuils extrêmes

ratio
spread/skill

rr > 1mm/1h



rr > 5mm/1h



Production de probabilités de pluie à l'échelle de bassins versants

Cas du Gard, 14 sept 2021

Quantiles de pluie prévus par PE Arome, avec précision réduite à la géométrie des bassins versants

cumuls sur 3h, Q70 PE à
résolution 2,5km

idem + tolérance spatiale
versants

obs de pluie (analyse
Antilope)

