

Approche probabiliste de prévision immédiate de dépassements de seuils de précipitations à l'échelle communale

Adrien WARNAN¹, François BOUTTIER², Thibaut MONTMERLE¹, Renaud TZANOS¹

¹Météo-France - Prévision Immédiate - 42 av. G. Coriolis 31057 Toulouse –

contacts : adrien.warnan@meteo.fr, thibaut.montmerle@meteo.fr, renaud.tzanos@meteo.fr

²Météo-France - CNRM - 42 av. G. Coriolis 31057 Toulouse –

contacts: francois.bouttier@meteo.fr

Résumé :

La prévision immédiate des précipitations est effectuée à Météo-France par le produit PIAF-RR, basé sur une fusion entre des extrapolations temporelles de lames d'eau observées et les lames d'eau prévues par le modèle AROME-PI. Ce produit permet une prévision jusqu'à 3h d'échéance, dans le sens où le poids des deux prédicteurs dépend de leurs performances récentes. De manière à prendre en compte une partie des incertitudes croissantes selon l'échéance des prévisions, dues notamment aux erreurs de modélisation et déplacements dans les extrapolations, une approche probabiliste a depuis été élaborée. Des ensembles PIE (Prévision Immédiate d'Ensemble) ont ainsi été mis en place à partir de membres constitués (i) de perturbations spatiales anisotropes dépendantes du déplacement des précipitations prévues par la prévision déterministe PIAF-RR, (ii) de prévisions PIAF-RR antérieures valides aux mêmes instants.

Trois différentes applications de cette approche sont présentées ici. Tout d'abord, une extension à 3h d'échéance du produit public "Pluie Dans l'Heure", fournissant des probabilités de dépassements de seuils à l'échelle communale, est présentée. Ce produit s'appuie sur des cartes de probabilités de non-pluie/pluies faibles/modérées/fortes. Des quantiles, optimaux en termes de scores probabilistes, sont appliqués pour traduire les distributions de probabilité en information déterministe, information qui est ensuite agrégée en valeur privilégiée à l'échelle communale. Une deuxième application vise à informer les abonnés au service d'Avertissement aux Pluies Intenses à l'échelle des communes (APIC) de la tendance à 3h des cumuls extrêmes à l'origine de l'envoi d'un avertissement sur une commune. Enfin, des scénarios de précipitations prévues par des ensembles PIE sont mis à disposition de services de prévision des crues pour le forçage de modèles hydrologiques. Ces deux dernières applications ne sont présentées ici que comme des perspectives et se baseront grandement sur les outils de la première application.

Mots clefs : Prévision Ensembliste – Dépassement de seuils de pluie – Échelle communale

1. Introduction

La prévision immédiate (PI) des précipitations fait la jonction entre l'utilisation de l'extrapolation des lames d'eau observées, qui correspondent aux cumuls de précipitations tombées au sol durant un temps donné, avec les premières échéances de la Prévision Numérique du Temps (PNT). Dans ce cadre, le département DirOP/PI de Météo-France a développé le produit PIAF-RR (Prévision Immédiate Agrégée Fusionnée, Moisselin et al., 2019), qui fournit une prévision déterministe de lame d'eau sur la France métropolitaine à 1km de résolution jusqu'à 3h d'échéance. Une première version, en s'appuyant sur les lames d'eau radar SERVAT 5 min (lames d'eau observées extrapolées sans correction par des pluviomètres), fournit des prévisions à une cadence de 5 min avec des échéances toutes les 5 min. Une deuxième (PIAF-RR2), opérationnelle depuis mars 2023, exploite sur la lame d'eau ANTILOPE 15 min (Laurantin 2013) et fournit des prévisions toutes les 15 min avec des échéances toutes les 15 min. Grâce à ANTILOPE, cette dernière version prend en compte, en plus de la lame d'eau Servat, des observations par pluviomètres. Elle est donc particulièrement recommandée pour des applications hydrologiques.

Les deux PIAF sont donc des produits de fusion entre deux prédicteurs que sont l’extrapolation des lames d’eau observées et la prévision numérique du modèle AROME-PI (Auger et al. 2016). L’extrapolation se base sur le champ de déplacement 2PIR restitué à partir de l’analyse de deux images espacées de 10 min de la mosaïque de réflectivité. AROME-PI, qui effectue une mise à jour du dernier run d’AROME-France par assimilation des dernières données disponibles (principalement des observations radar et de surface), fournit des prévisions jusqu’à 6h d’échéance toutes les heures. De ce fait de nombreux réseaux PIAF consécutifs se basent sur le même réseau AROME-PI. La fusion est obtenue en pondérant de manière dynamique chacun de ces deux prédicteurs :

$$LE_{PIAF}(t) = a(t) \cdot LE_{Extrapolation}(t) + [1 - a(t)] \cdot LE_{AROME\ PI}(t) \quad (Equation 1)$$

Avec LE les Lames d’Eaux de PIAF, de l’Extrapolation et d’AROME PI
et a le coefficient de pondération, compris entre 0 et 1 selon l’échéance de prévision.

PIAF-RR et PIAF-RR2 se basent sur une pondération statistique par agrégation de prédicteur par poids exponentiel. Le poids a , variant selon l’échéance et permettant la bascule entre les deux prédicteurs de PIAF, est déduit à partir de scores calculées dans des fenêtres glissantes de 6h et 12h respectivement.

Comme toute prévision météorologique, les prévisions déterministes résultantes sont sujettes à des erreurs dues notamment à la modélisation ou aux calculs des déplacements dans les extrapolations. Une approche probabiliste se basant sur les prévisions déterministes de PIAF-RR a été développée afin de tenir compte de ces incertitudes.

2. Approche probabiliste et génération d’ensembles

Dans la suite de cet article nous appelons PIE (Prévision Immédiate d’Ensemble) l’approche probabiliste pour la prévision immédiate. Les différentes techniques et processus pour la génération d’ensembles et de champs de probabilités de dépassements de seuils de cumuls de pluie présentés ci-après sont en grande partie issues de l’algorithme PROGEN (Bouttier et Marchal, 2020) développé au Centre National de la Recherche Météorologique (CNRM).

2.1 Time-lagging

En prévision immédiate comme en prévision à plus long terme, la dispersion entre les prévisions issus des derniers réseaux est une indication de leur incertitude (Osinski et Bouttier, 2018). Cela permet de produire une prévision d’ensemble à faible coût. Cette approche validée pour la prévision numérique a peu été étudiée pour un modèle de fusion de données extrapolées et de prévision numérique.

Une méthode de time-lagging, combinant un ensemble de prévisions plus ou moins anciennes pour la même date de validité, est appliquée en prenant en compte en plus du réseau H ($n = 1$), 2 réseaux antérieurs : $H - 15min$ ($n = 2$) et $H - 30min$ ($n = 3$). Un réseau H désigne le point de départ à l’heure H d’une prévision météorologique. Cette approche est illustrée sur la Figure 1.

Une pondération W_n des différents réseaux issus du time-lagging n est mise en place pour donner un poids plus important au réseau le plus récent selon la formule suivante qui s’adapte au nombre total de réseaux issus du time-lagging $N_{lag} + 1$ (N_{lag} étant le nombre de réseaux antérieurs):

$$W_n = \frac{1}{(N_{lag} + 1)} \left[2 - \left(\frac{1}{(N_{lag} + 1)} + 2 * \frac{n-1}{(N_{lag} + 1)} \right) \right] \quad (Equation 2)$$

Pour un cas de $N_{lag} = 2$, nous avons donc la pondération normalisée suivante:

- $W_{1(H)} \simeq 0.56$
- $W_{2(H-15)} \simeq 0.33$
- $W_{3(H-30)} \simeq 0.11$

Le time-lagging n'étant pas adaptés aux lames d'eau advectées qui sont retenues par PIAF-RR aux premières échéances, il est introduit progressivement au cours des échéances pour s'appliquer essentiellement sur les prévisions de PIAF-RR issues d'AROME-PI. Ainsi le réseau $PIAF_{2(H-15min)}$ est introduit à partir de +45 min d'échéances et le réseau $PIAF_{3(H-30min)}$ à partir de +75 min.

Étant donnée l'échéance maximum de PIAF à +180 min, les dernières échéances sont par construction sous-dotées en membres, ce qui peut engendrer un sous-échantillonnage de l'incertitude en fin de prévision. Une solution serait de prendre pour ces dernières échéances les réseaux d'AROME-PI bruts, dont l'échéance finale est 6h, pour compléter l'ensemble et garder un nombre de membres constant. Cette méthode se justifie d'autant plus que sur les dernières échéances de PIAF-RR, ce prédicteur étant largement prédominant. Actuellement le relai Arome-PI n'est pas encore testé.

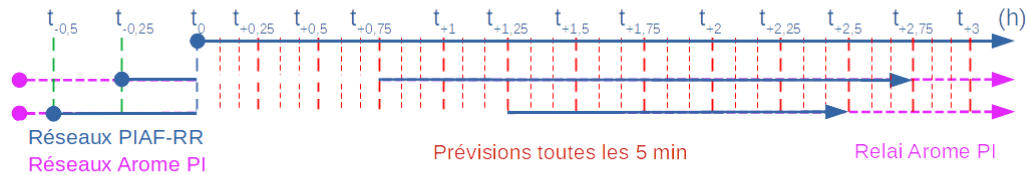


Figure 1: Time-lagging pour la génération des membres de PIAF-RR pour générer l'ensemble PIE

2.2 Perturbation spatiale anisotrope

Perturber spatialement un champ physique consiste à déplacer les structures dans plusieurs directions autour du champ déterministe dans un rayon cohérent afin de tenir compte de l'incertitude de positionnement des structures. Après avoir généré par time-lagging entre 1 et 3 membres par échéance, un ensemble de perturbations spatiales est donc appliqué à chacun de ces membres. Depuis les études préliminaires de Walcarius (2021), plusieurs configurations ont été testées, en fonction du nombre de membres, de l'amplitude de la perturbation (voisinage) et la forme isotrope ou non des perturbations spatiales. Dans le cas de la prévision immédiate, il a fallu trouver un compromis entre les taux de fausses alarmes et les taux de détection généralement plus élevés avec les prévisions ensemblistes. En effet, les taux, notamment de détection, étant déjà considérés comme satisfaisants notamment pour les premières échéances de la prévision immédiate avec une prévision déterministe.

Les perturbations anisotropes sont déduites des champs de déplacement de type 2PIR calculés en chaque point de grille entre deux échéances du réseau PIAF-RR de référence, ainsi qu'à l'aide d'un rayon de voisinage R_{ech} évoluant en fonction de l'échéance ech (en heure) :

$$R_{ech}(km) = 2 * (1 + 4 * ech) \text{ (Equation 3)}$$

Par exemple, au bout de 3h de prévision: $R_{3h} = 26 km$

L'ensemble de perturbations spatiales des champs PIAF-RR est construit dans un voisinage orientée selon la direction du flux et selon l'amplitude du déplacement de PIAF-RR et de R_{ech} (cf Figure 2).

Cette méthode permet de mieux contrôler l’amplitude des perturbations spatiales, en cohérence avec la vitesse et la direction des déplacements des structures de précipitations.

Selon l’échéance le nombre de membres peut fortement varier, en fonction du nombre de réseaux antérieurs N_{lag} utilisés en plus du dernier réseau disponible $PIAF_{1(H)}$, selon le nombre de perturbations spatiales N_{pert} choisies en plus du membre déterministe de chaque réseau antérieur mais également en fonction de la disponibilité des différents réseaux PIAF ou d’AROME-PI à une échéance de prévision donnée.

Le nombre de membres final se calcule ainsi: $N_{mb} = (N_{lag} + 1) * (N_{pert} + 1)$

La pondération de chaque membre est issue de la pondération définie à la section 2.1 divisée par le nombre de membres créé par la perturbation spatiale anisotrope. Les membres perturbés issus d’un même réseau $PIAF_n$ ayant tous le même poids, W_n devient:

$$W_n = \frac{\frac{1}{(N_{lag}+1)} \left[2 - \left(\frac{1}{(N_{lag}+1)} + 2 * \frac{n-1}{(N_{lag}+1)} \right) \right]}{(N_{pert}+1)} \quad (Equation 4)$$

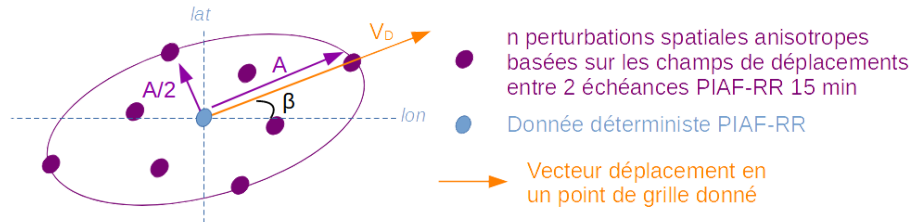


Figure 2: Perturbations spatiales pour la génération des membres de PIAF-RR pour la PIE

De nombreuses méthodes de perturbations anisotropes sont actuellement testées, nous présentons ici un cas simple qui illustre l’intention principale de la perturbation anisotrope.

Dans le cas d’une perturbation isotrope, nous utilisons le cas de 9 perturbations, 4 perturbations Nord / Est / Sud / Ouest sur un rayon de R_{ech} , puis 4 perturbations Nord-Est / Sud-Est / Sud-Ouest / Nord-Ouest sur un rayon de $R_{ech} * \sqrt{2}/2$, toutes équiprobables de poids W_n .

Dans le cas d’une perturbation anisotrope, nous utilisons le même schéma simple, en modifiant 3 paramètres.

1. L’ensemble des perturbations est pivoté d’un angle β entre l’axe Ouest-Est et le vecteur déplacement V_D au point de grille comme illustré en Figure 2.
2. L’amplitude A de la perturbation dépend à la fois de R_{ech} et de l’amplitude du vecteur de déplacement V_D au point de grille selon la formule $A = R_{ech} * (1 + \frac{V_{DNorm}}{2})$ (Equation 5) avec: $V_{DNorm} = \frac{V_D - V_{moy}}{V_{max}}$

(V_{DNorm} normalisé au point de grille), où V_D est l’amplitude du vecteur déplacement au point de grille, V_{moy} l’amplitude moyenne des vecteurs déplacements de la grille entière en excluant les valeurs nulles et V_{max} l’amplitude maximale de la grille.

3. La composante perpendiculaire au vecteur déplacement V_D est divisée par 2 pour l’ensemble des perturbations afin de favoriser les perturbations dans l’axe du déplacement du champ de pluie.

Une contrainte particulière a été rencontrée lors de ces travaux: le temps de calcul. En effet une prévision immédiate actualisée toutes les 5 min doit respecter des temps d’exécution extrêmement contraignants de l’ordre de la minute. Étant donné la haute résolution de 1 km de ce produit, le nombre de membres a été limité ou

l'application de filtres comme le “filtre max” prenant la valeur maximale des RR dans un certain voisinage afin de lisser le champ n'a pas été utilisé.

A la suite de la génération de l'ensemble des membres, de taille variable selon l'échéance, la probabilité d'occurrence est calculée en chaque point de grille selon la pondération appliquée à la section 2.2. Nous obtenons in fine, pour chaque seuil d'intérêt, un champ de probabilité de dépassement de seuil de résolution 1km.

2.3 Scores probabilistes

La génération d'un ensemble puis d'une prévision probabiliste est donc portée par deux composantes que sont le time-lagging, qui est une façon de perturber temporellement les champs de pluie PIAF-RR, et la perturbation spatiale.

Plusieurs cas testés sont présentés ci-dessous:

- PIAF-RR déterministe (un seul membre: réseau PIAF-RR le plus récent): *probgen_det*
 $N_{mb} = 1 ; \text{avec } N_{lag} = 0 \text{ et } N_{pert} = 0$
- PIE 3 membres (time-lagging): *probgen_lag*
 $N_{mb} = 3 ; \text{avec } N_{lag} = 2 \text{ et } N_{pert} = 0$
- PIE 27 membres-A (time-lagging et perturbations spatiales isotropes): *probgen_iso*
 $N_{mb} = 27 ; \text{avec } N_{lag} = 2 \text{ et } N_{pert(isotrope)} = 8$
- PIE 27 membres-B (time-lagging et perturbations spatiales anisotropes): *probgen_aniso*
 $N_{mb} = 27 ; \text{avec } N_{lag} = 2 \text{ et } N_{pert(anisotrope)} = 8$

Le test a été réalisé sur le domaine PIAF sur la France métropolitaine sur 184 réseaux entre le 20 mai et le 07 juillet 2023 échantillonnées toutes les 3h pour des forecasts entre 30 min et 2h, soit près de 1300 forecasts au total. La situation météorologique présente de nombreux cas de perturbations synoptiques, de convection diurne pilotées par des flux synoptiques ou de convection diurne stationnaire.

La Figure 3 représente la courbe ROC à gauche (*Receiver Operating Characteristic*) qui permet d'apprécier la sensibilité de la prévision en montrant sa capacité de détection mais également à créer des fausses alarmes. Les points les plus en haut à gauche représentent les meilleures prévisions possibles. A droite, le diagramme de fiabilité montre la capacité d'un modèle à surestimer ou sous-estimer la probabilité d'occurrence d'un événement en fonction de la probabilité d'occurrence prévue. Une prévision fiable correspond à une droite $y = x$ où y = fréquence d'observation et x = probabilité prévue.

L'apport du time-lagging en utilisant des réseaux PIAF-RR antérieurs reste peu significatif mais améliore les taux de détection. Nous observons un apport de la perturbation spatiale ajoutée au lagging, même en cas de perturbation isotrope. La perturbation spatiale anisotrope tenant compte du déplacement des champs de précipitations montre tout de même un léger gain par rapport aux autres méthodes.

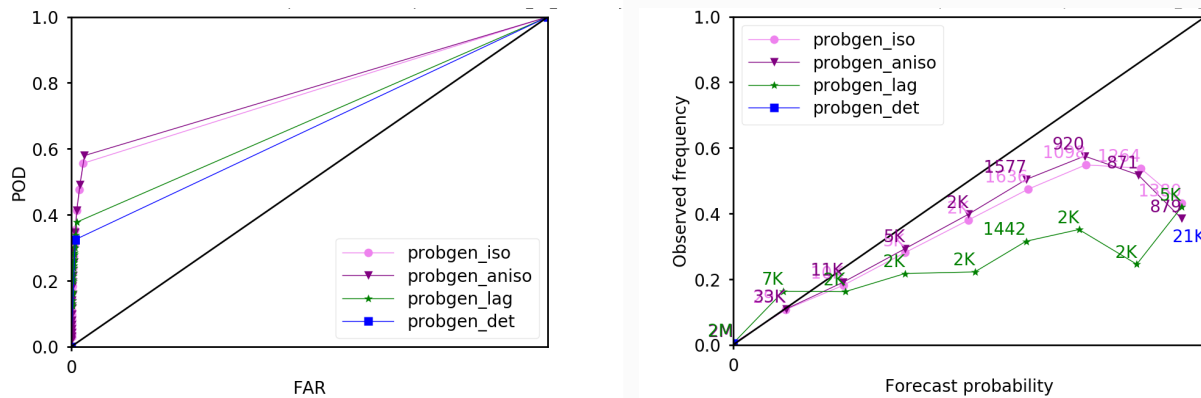


Figure 3: Receiver Operating Characteristic (courbe ROC) à gauche et Diagramme de fiabilité à droite pour un dépassement du seuil de 0.6mm/15min pour PIAF-RR déterministe, PIE 3 membres, PIE 27 membres-A, et PIE 27 membres-B.

3. Applications de l'approche ensembliste

3.1 Agrégation communale

Dans le but d’une diffusion plus lisible de la prévision immédiate, l’information est couramment transmise à l’échelle communale. La taille et la forme des communes étant très variables sur l’ensemble du territoire, nous utilisons des fonctions de densité pour agréger les prévisions probabilistes à l’échelle des communes comme décrit en Figure 4: dans chaque commune, la probabilité de dépasser un seuil est calculée en comptant la fraction des membres PIE qui dépassent ce seuil quelque part sur le territoire de la commune.

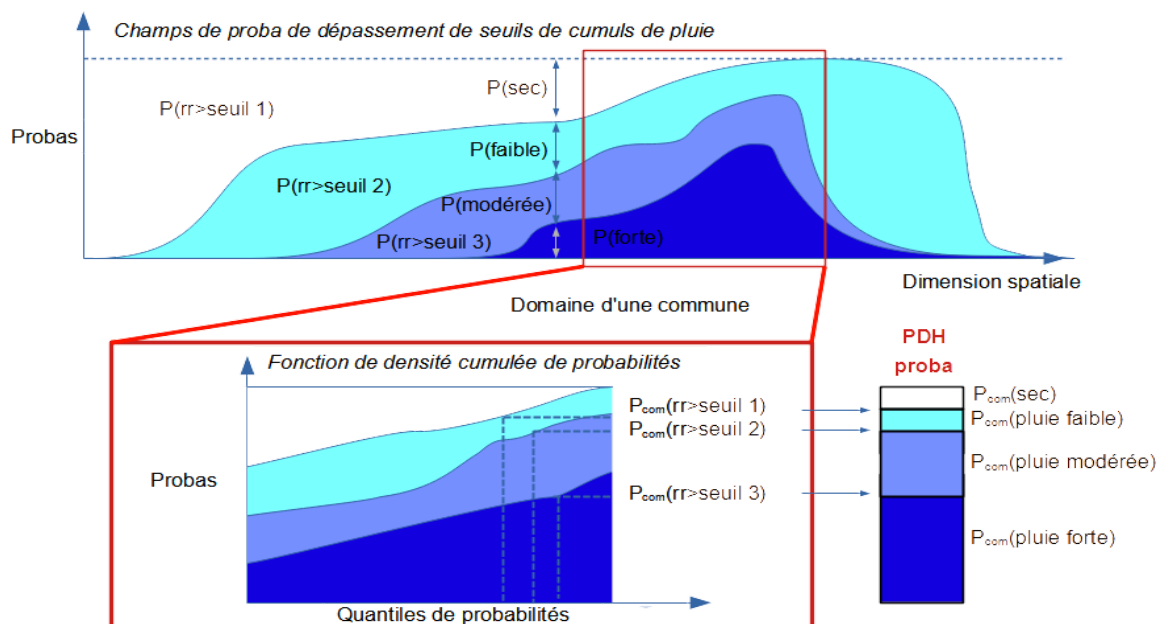


Figure 4: Agrégation spatiale schématique à l'échelle communale des champs de probabilités de dépassement de seuils (3 dans cet exemple) de cumuls de pluie générés par PROBGEN. Les quantiles de probabilités utilisées sont respectivement de 70, 80 et 90 pour les probabilités de pluie faible, modérée et forte.

$P_{(rr>seuil\ n)}$: probabilité de dépassements de seuils de cumuls de pluie au point de grille.

$P_{com\ (rr>seuil\ n)}$: probabilité de dépassements de seuils de cumuls de pluie pour la commune.

$P_{com\ (classe)}$: probabilité d'appartenir à une classe pluie pour la commune.

Une fois les $P_{com\ (classe)}$ probabilités de pluie définies à l'échelle communale, une valeur privilégiée VP résultante de la combinaison des $P_{com\ (classe)}$ probabilités est déduite. Pour cela nous déterminons les probabilités de la façon suivante: $P_{com\ (seuil\ n)} = P_{com\ (seuil\ n)} - P_{com\ (seuil\ n+1)}$ pour les seuils de pluies faibles et modérées et $P_{com\ (seuil\ 3)} = P_{com\ (rr>seuil\ 3)}$, avec : seuil 1 = pluie faible ; seuil 2 = pluie modérée ; seuil 3 = pluie forte.

L'algorithme est ensuite construit comme suit:

Si ($P_{com\ (sec)} > 70\%$) alors $VP = sec$

- sinon si: $\left[(P_{com\ (seuil\ 3)}) > (P_{com\ (seuil\ 1)} + P_{com\ (seuil\ 2)}) \right]$ alors $VP = seuil\ 3$
- sinon si: $\left[(P_{com\ (seuil\ 1)}) > (P_{com\ (seuil\ 2)} + P_{com\ (seuil\ 3)}) \right]$ alors $VP = seuil\ 1$
- sinon $VP = seuil\ 2$

Dans cet algorithme nous privilégions le seuil de dépassement le plus représenté au sein de la commune. En cas de forte dispersion à l'intérieur de la commune avec un fort taux de pluie forte et de pluie faible, la valeur privilégiée moyenne la cdf en prenant la valeur de pluie modérée.

3.2 Pluie dans les trois heures.

Actuellement le produit public "Pluie Dans l'Heure" (PDH) de Météo-France fournit une prévision déterministe de dépassement de seuils à l'échelle de la commune jusqu'à une échéance maximale d'une heure. Ce produit est notamment disponible sur l'application mobile de Météo-France et sur le site meteofrance.com. Il indique trois intensités de pluie : faible, modérée et forte, correspondant respectivement à des cumuls sur 5 min de 0,05 , 0,2 et 0,6 mm. Afin de tenir compte de l'incertitude temporelle, les échéances proposées passent de 5 min à 10 min après une demi-heure.

Dans ce cadre, les ensembles PIE sont exploités pour prolonger l'échéance jusqu'à +3h. De manière à produire une information interprétable pour le grand public, les probabilités de dépassement de seuils sont complétées par la valeur privilégiée VP (cf. 3.1) plus synthétique. De manière analogue à PDH, les échéances proposées par pluie dans les 3 heures sont :

1	échéances	5	10	15	20	25	30	40	50	60	75	90	105	120	150	180
2	pluie faible	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.1	0.1	0.1	0.1	0.15	0.15
3	pluie modérée	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.6	0.6
4	pluie forte	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.9	0.9	0.9	1.2	1.2	1.2	1.2	1.8	1.8

Tableau 1: Échéances des prévisions pour "pluie dans les trois heures" (en minutes) sur la ligne 1 avec les seuils de dépassements de pluie faible, modérée et forte en mm sur les lignes 2,3 et 4.

Les seuils des trois types de pluies sont adaptés à partir de ce qui est défini pour PDH en fonction de la profondeur des échéances, qui varient donc de 5, 10, 15 à 30 minutes.

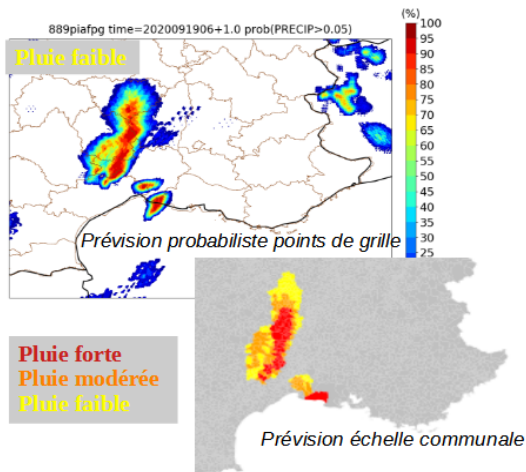


Figure 5: Exemple de prévision probabiliste à 1h d'échéance pour le Sud-Est: 2020-09-19 r06. Les quantiles utilisés pour les trois seuils sont le quantile 70, 80 et 90 respectivement pour la pluie faible, modérée et forte.

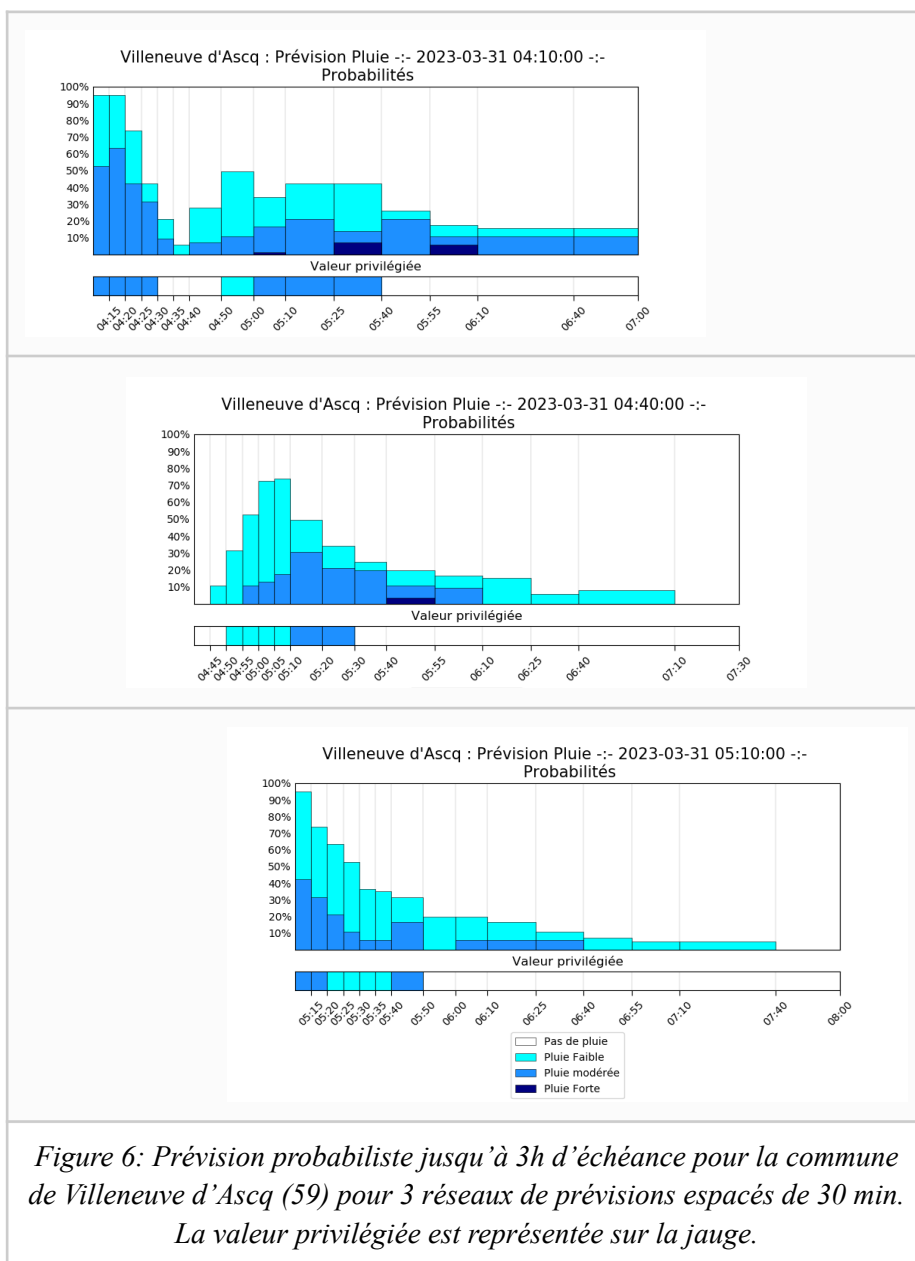
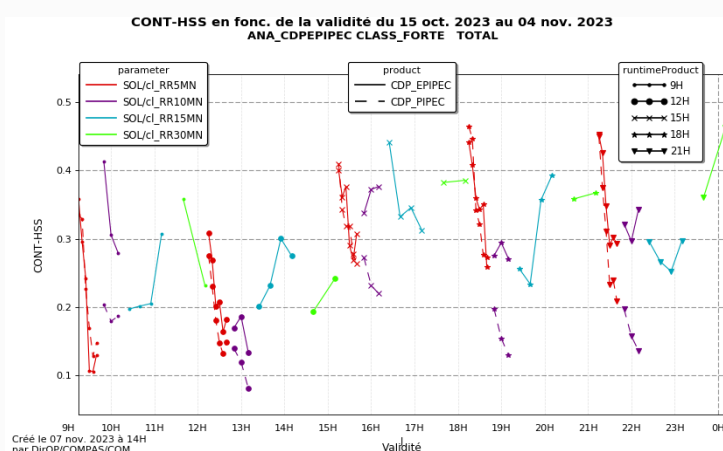


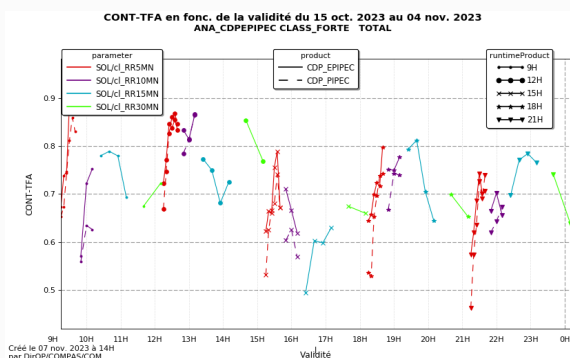
Figure 6: Prévision probabiliste jusqu'à 3h d'échéance pour la commune de Villeneuve d'Ascq (59) pour 3 réseaux de prévisions espacés de 30 min. La valeur privilégiée est représentée sur la jauge.

Comme illustré par la Figure 5, les champs de probabilités pour les trois seuils de pluie sont traduits en valeur privilégiée par commune, en bas à droite, comme l’explique le schéma de la Figure 4 ainsi que l’algorithme de la section 3.1.

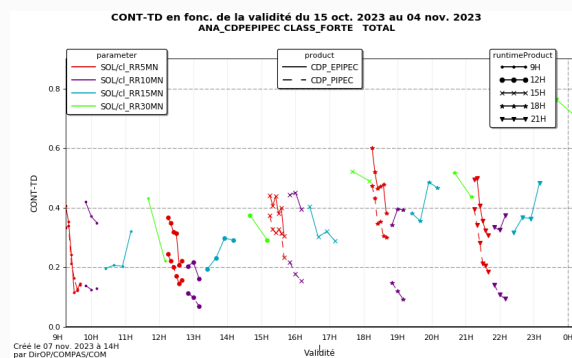
Sur l’exemple de la Figure 6, la probabilité de pluie augmente lorsqu’on se rapproche de l’événement confirmant une finesse plus importante pour les plus courtes échéances. Dans ce cas, les heures prévues d’arrivée de la pluie selon la valeur privilégiée semblent correctement retranscrire, sous forme déterministe, la dynamique des prévisions probabilistes. L’intensité des pluies (faible, modérée ou forte) est également bien analysée par la valeur privilégiée.



(a)



(b)



(c)

Figure 7: (a) Scores à l’échelle communale HSS en haut (Heidke Skill Score), (b) TFA en bas à gauche (Taux de Fausses alarmes) et (c) TD en bas à droite (Taux de Détection) sur octobre-novembre 2023 sur la classe de pluie forte appelée CLASS_FORTE entre la valeur privilégiée déduite des ensembles PIE en trait continu (notée EPIPEC) et la production déterministe pour PDH en pointillé (notée PIEC) pour 5 réseaux de la journée (9h, 12h, 15h, 18h et 21h UTC).

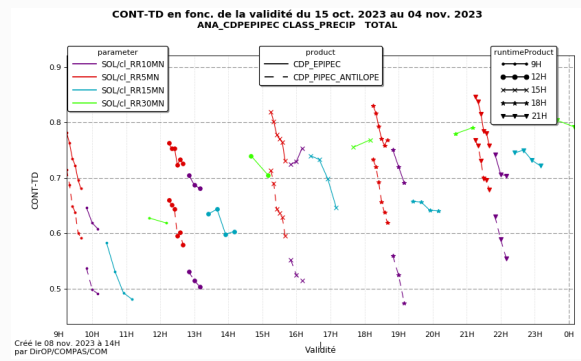
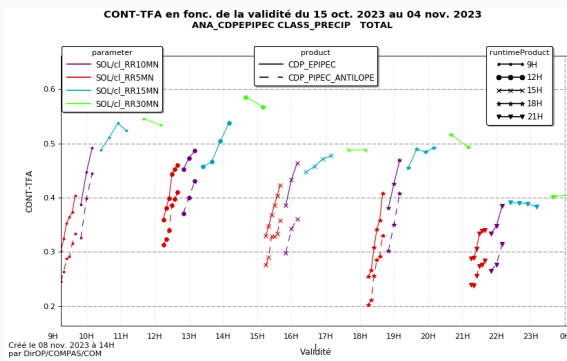
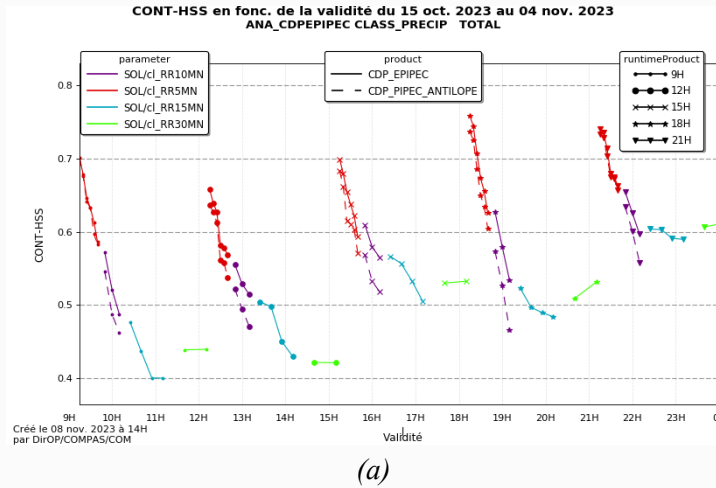


Figure 8: (a) Scores à l'échelle communale HSS en haut (Heidke Skill Score), (b) TFA en bas à gauche (Taux de Fausses alarmes) et (c) TD en bas à droite (Taux de Détection) sur octobre-novembre 2023 sur les trois classes de pluie (faible, modérée et forte) appelée CLASS_PRECIP entre la valeur privilégiée déduite des ensembles PIE en trait continu (notée EPIPEC) et la production déterministe pour PDH en pointillé (notée PIEPEC) pour 5 réseaux de la journée (9h, 12h, 15h, 18h et 21h UTC).

Nous estimons l'apport de la prévision probabiliste à l'échelle communale en construisant une table de contingence Figure 9. La référence utilisée est constituée des lames d'eau Antilope agrégée à l'échelle communale. Suivant la table de contingence en Figure 9, On définit le Taux de détection $TD = \frac{a}{a+b}$ qui désigne la proportion d'événements observés qui étaient bien prévus, le Taux de Fausses Alarmes $TFA = \frac{c}{a+c}$ qui désigne la proportion des événements non observés parmi l'ensemble des événements prévus et le Heidke Skill Score $HSS = \frac{2(ad-bc)}{(a+b)(b+d)+(a+c)(c+d)}$ qui fait la synthèse entre le TD et le TFA sont analysés plus particulièrement.

	Événement prévu	Événement non prévu
Événement observé	(a)	(b)
Événement non observé	(c)	(d)

Figure 9: Table de contingence. a, b, c et d correspondent au nombre d'occurrences de chaque catégorie

Les Figures 7 & 8 montrent un apport de la prévision probabiliste pour les cumuls de pluie forte (Figure 7) qui intéressent tout particulièrement la prévision de crues-éclair et l'ensemble des classes de pluie confondues (Figure 8). L'apport de la perturbation spatiale et temporelle ainsi que de la prévision numérique permet régulièrement d'anticiper des épisodes de pluie forte 2h ou 3h avant avec la même qualité que l'extrapolation seule à 1h d'échéance pour une même heure de validité comme nous pouvons le voir sur le premier graphe du HSS pour l'heure de validité 15h locale. Cette particularité peut notamment s'expliquer par l'arrivée de la convection bien mieux anticipée par la prévision numérique d'AROME PI. Par rapport à la prévision déterministe, PIE permet ainsi d'augmenter fortement les taux de détection au prix d'une légère augmentation des fausses alarmes, ce qui constitue un bénéfice net en termes de scores HSS, notamment pour les cumuls sur 10 min donc aux échéances supérieures à 30 min et jusqu'à 1 heure d'échéance. Cette analyse se vérifie moins pour les prévisions avant 30 min où la prévision déterministe sans apport du lagging est déjà de bonne qualité. Cette période comporte de nombreux épisodes de précipitations avec de forts cumuls ayant concerné l'ensemble de la France métropolitaine.

3.3 Tendances des APIC

Conformément aux scores discutés dans la section 3.2, l'intérêt d'un outil probabiliste de prévision de pluie, bien que toujours en développement, est particulièrement intéressant pour prévoir des dépassements de seuils correspondants à des cumuls importants. L'adaptation d'un produit de type PDH à des cumuls beaucoup plus importants prend sens.

C'est dans ce cadre que des travaux de R&D sont en cours dans le but de fournir aux abonnés au service APIC-VigicruesFlash (Tzanos, 2023) une information sur la tendance à l'aggravation des cumuls à l'origine de l'envoi d'un avertissement APIC. Le but à ce stade n'est pas de prévenir de l'occurrence probable d'un futur APIC, mais bien de caractériser le risque représenté par des cumuls de pluies dans les 3 prochaines heures, cumuls qui viendraient s'ajouter à ceux déjà à l'origine de l'APIC.

3.4 Production de scénarios

De manière analogue à ce qui a été montré par *Fleury et Bouttier (2019)*, les scénarios prévus par chacun des membres de l'ensemble PIE peuvent directement être utilisés pour le forçage de modèle hydrologique. Une première version de cet ensemble, basé sur les perturbations spatiales isotropes développées par *Walcarius (2021)* a par exemple été appliquée par *Godet et al. (2022)* pour forcer le modèle SMASH de l'INRAE pour plusieurs épisodes sévères s'étant produit sur l'arc méditerranéen français. Un apport a clairement été montré par rapport à des scénarios de pluies constantes ou de PIAF déterministe.

Comme exposé dans la section 2, la méthodologie ensembliste a depuis été améliorée : utilisation de la lame d'eau ANTILOPE dans PIAF-RR2, prise en compte des déplacements prévus dans les perturbations spatiales. De nouveaux scénarios peuvent ainsi être générés sur demande pour de nouvelles études de forçage.

4. Conclusion et perspectives

Une méthodologie permettant de générer des membres à partir des prévisions déterministes opérationnelles de précipitations PIAF-RR et PIAF-RR2 s'appuyant respectivement basées, pour leurs premières échéances, sur l'extrapolation des lames d'eau SERVAL 5 min et ANTILOPE 15 min, a été développée à Météo-France. Ces fusions PIAF utilisent les lames d'eau prévues par le modèle de PNT AROME-PI pour les échéances suivantes. Cette méthodologie se base sur l'utilisation de time-lagging et de perturbations spatiales anisotropes déduites des déplacements prévus par les chaînes déterministes.

Les ensembles PIE qui en sont déduits sont exploités (i) pour étendre l'échéance du produit PDH à 3h, (ii) pour fournir des scénarios cohérents en terme spatio-temporel en vue d'une utilisation pour le forçage de modèles hydrologiques, (iii) pour informer d'une possible aggravation des cumuls à l'origine d'un APIC observé. Pour la première application, divers scores objectifs ont permis d'ores et déjà de montrer l'apport de cette approche ensembliste, qui permet notamment d'améliorer les détections tout en ne dégradant pas les fausses alarmes. Un apport a également été montré pour le forçage hydrologique à partir d'une version antérieure de la méthode.

Remerciements : Les travaux de R&D basés sur la prévision probabiliste des précipitations pour les premières échéances bénéficient de financements de la part de la DGPR, effectués dans le cadre de la convention Météo-France/DGPR en cours.

Références

Auger L., Dupont O., Hagelin S., Brousseau P. and Brovelli P., (2016) – AROME–NWC: a new nowcasting tool based on an operational mesoscale forecasting system. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, <https://doi.org/10.1002/qj.2463>.

Bouttier, F. and Marchal, H., 2020. Probabilistic thunderstorm forecasting by blending multiple ensembles, Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography, 72:1, 1-19, DOI: 10.1080/16000870.2019.1696142. <https://doi.org/10.1080/16000870.2019.1696142>

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.

Godet J., Payrastre O., Javelle P., & Bouttier F., 2023. Assessing the ability of a new seamless short-range ensemble rainfall product to anticipate flash floods in the French Mediterranean area. *EGUsphere*, 2023, 1-31. <https://doi.org/10.5194/egusphere-2023-907/>

Laurantin O., 2013. ANTILOPE: hourly rainfall analysis over France merging radar and rain gauge data. Paper presented at the 11th International Precipitation Conference, Ede-Wageningen, The Netherlands. <https://nhess.copernicus.org/articles/21/1135/2021/>

Moisselin J.-M., Cau P., Jauffret C., 2019. Seamless approach for precipitations within the 0-3 hours forecast interval, European Nowcasting Conference, Madrid, 24-26/4/2019

Osinski R. and Bouttier F., 2018 : Short-range probabilistic forecasting of convective risks for aviation based on a lagged-average-forecast ensemble approach. *Meteorol. Appl.* 25 : 105-118 <https://doi.org/10.1002/met.1674>

Piotte O., Montmerle T., Fouchier C., Belleudy A., Garandeau L., Janet B., Jauffret C., Demargne J., Orange D., 2020 : Le service d'avertissement sur les pluies intenses et les crues soudaines en France. Colloque SHF : «Ruissellement», Lyon 30 nov-2 déc 2020.

Tzanos R., Montmerle T., Belleudy A., Desmoulins G., 2023 : Évolutions récentes du système APIC-VigicruesFlash. Colloque SHF “Prévision des crues et des inondations – Avancées, valorisation et perspectives” Toulouse, 28-30 novembre 2023.

Walcarus 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.