



La future chaîne de prévision d'ensemble AROME (PEAROME)

Grégory Roux et Laure Raynaud
CNRM/GMAP/PREV

Sommaire

1. Configuration de PEAROME double
2. Vérification pour l'été 2025 et l'hiver 2025/2026
3. Cas d'étude
4. Évolutions futures

1. Configuration de PEAROME double

- Conditions aux limites latérales
- Perturbation des conditions initiales
- Perturbation de la surface
- Représentation de l'erreur modèle

2. Vérification pour l'été 2025 et l'hiver 2025/2026

3. Cas d'étude

4. Évolutions futures

Configuration Opérationnelle

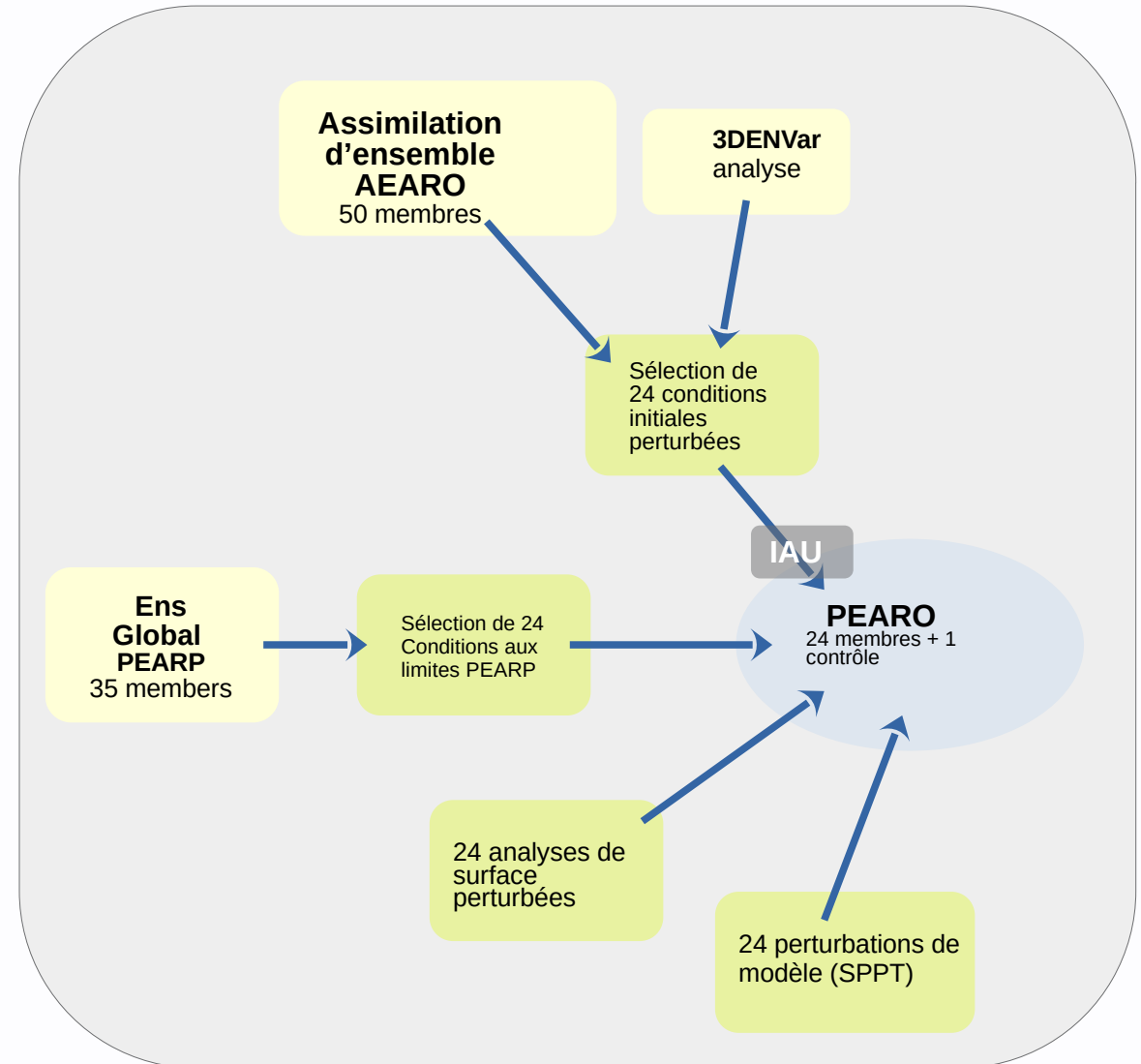
Cycle opérationnel depuis Octobre 2024: cy48t1_op1

Même configuration qu'AROME déterministe :
1.3km résolution horizontale, 90 niveaux verticaux,
domaine identique

4 prévisions à 51h chaque jour, initialisées à
03h/09h/15h/21h UTC

Caractéristiques principales :

- 24 membres perturbés + 1 membre de contrôle
- représentation des incertitudes à l'état initial
- représentation des erreurs des conditions aux limites (couplage PEARP)
- représentation de l'erreur modèle avec SPPT
- représentation des erreurs de l'analyse de surface



PEARO : Evolution de la configuration

Configuration Opérationnelle

Double

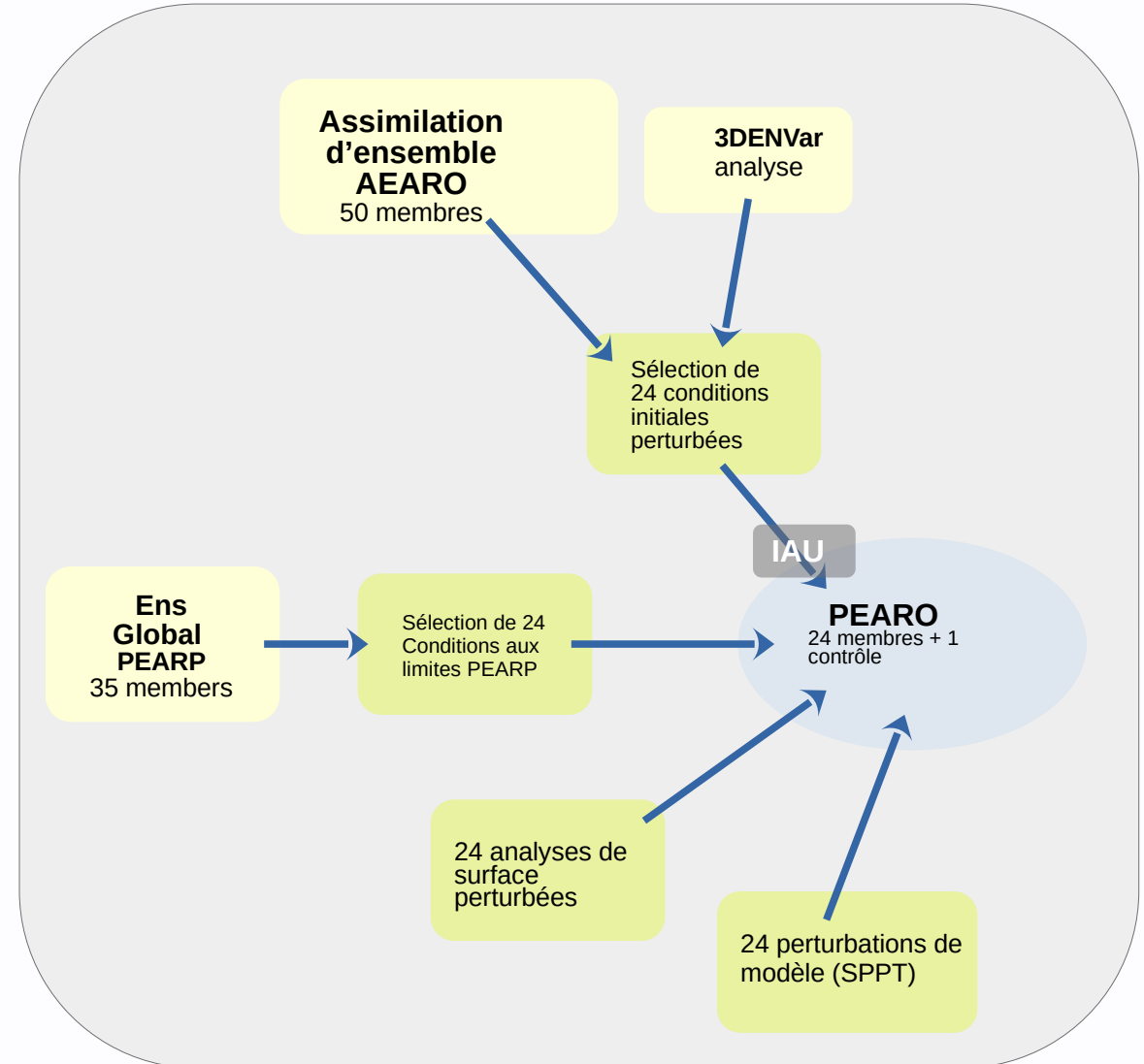
Cycle opérationnel depuis Octobre 2024: **cy49t1_op1**

Même configuration qu'AROME déterministe :
1.3km résolution horizontale, 90 niveaux verticaux,
domaine identique

4 prévisions à 51h chaque jour, initialisées à
03h/09h/15h/21h UTC

Caractéristiques principales :

- 24 membres perturbés + 1 membre de contrôle
- **représentation des incertitudes à l'état initial**
- **représentation des erreurs des conditions aux limites (couplage PEARP)**
- **représentation de l'erreur modèle avec SPPT**
- représentation des erreurs de l'analyse de surface



Conditions aux limites PEARP

34+1 membres avec perturbations d'AEARP, Vecteurs Singuliers, RPP, 2 paramétrisations convectives

24 clusters créés à partir des 34 membres perturbés en utilisant une classification hiérarchique basé sur un algorithme Ward pénalisé

Métrique utilisée: somme rmsd point à point pour 9 variables (U, V, T à 250 hPa, RH à 700 hPa, U, V, Z, RH, T à 850 hPa) à 6 échéance de prévision (12h, 18h, 24h, 30h, 36h et 42h)

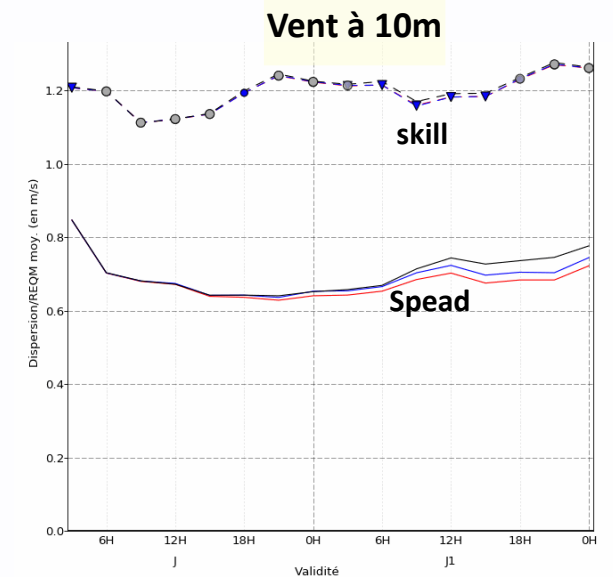
Sélection d'un membre représentatif dans chaque cluster : membre PEARP le plus proche du centroid du cluster

Bouttier F, Raynaud L. *Clustering and selection of boundary conditions for limited-area ensemble prediction*. Q J R Meteorol Soc. 2018;144:2381–2391.

Evolution dans PEARP :

- AEARP : Perturbation de paramètres
- Plus de Vecteurs Singuliers
- Perturbation de surface (T/Td)
- Couplage avec modèle océan 1D

PEARO :
Moins de dispersion après 24h de prévision pour toutes les variables de surface

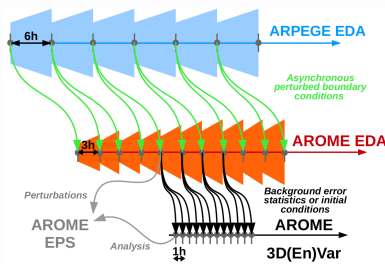


Combinaison de **AEARO** et analyse **3DENVAR** AROME

24 conditions initiales perturbées :

- 1) 24 membres sélectionnés au hasard parmi les 50 membres AEARO (3.2km)
- 2) perturbations calculées entre chaque membre AEARO sélectionné et la moyenne AEARO
- 3) perturbations ajoutée à l'analyse 3DENVar Arome (1.3 km) avec un coefficient d'inflation

Analyse perturbée ajoutée par IAU (Incremental Analysis Update)



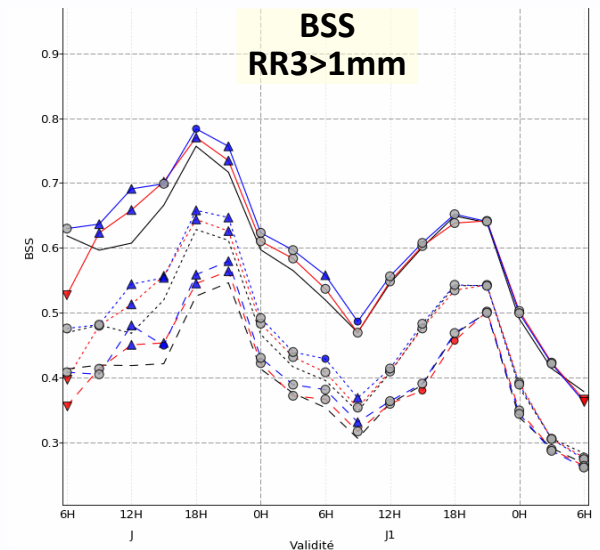
Evolution d'AROME :

- Analyse 4DENVAR
- Scale Dependant Localisation (SDL)
- Assimilation directe des réflectivités

PEARO :

Moins de dispersion pour les 24 premières heures de prévisions

Amélioration des scores pour la pluie (CRPS, bias, BSS)



24 analyses de surface perturbée avec perturbations aléatoires de 9 paramètres physiographiques et prognostiques du schéma de surface SURFEX

Perturbation multiplicative pour vegetation index, heat coefficient, leaf area index, soil moisture, land albedo, land roughness length, snow depth

Perturbation additive pour température du sol et de la mer

Bouttier F, Raynaud L, Nuissier O, Ménétrier B. 2016. *Sensitivity of the AROME ensemble to initial and surface perturbations during HyMeX*. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society 142: 390–403

Méthode SPPT (Stochastic Perturbation of Physics Tendencies)

24 perturbations basées sur le schéma **SPPT**

- perturbations multiplicatives des tendances physiques de vent, température et contenu en vapeur d'eau à chaque pas de temps: $\tilde{p} = (1+\mu r)p$
- Pas de perturbation près de la surface (en-dessous de 2000m) et près du sommet du modèle (au-dessus de 200 hPa) pour éviter des instabilité numérique

Bouttier, F. et al. 2012 : Impact of Stochastic Physics in a Convection-Permitting Ensemble. Monthly Weather Review

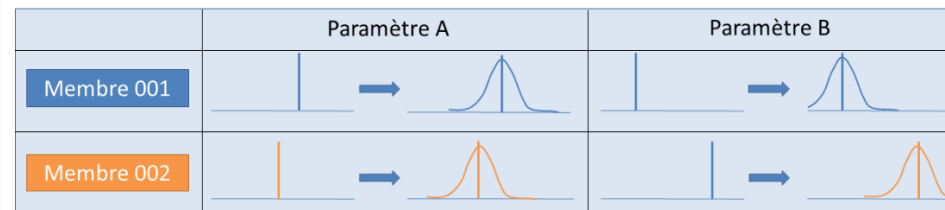
Méthode simple, avec de bons résultats, mais :

- pas de perturbation avec une tendance nulle, en basses couches et vers le sommet du modèle
- incohérences avec les flux de surface
- réglage des perturbations (amplitude, corrélations) difficile
- même perturbation appliquée à tous les processus physiques

Random Perturbed Parameter (**RPP**):

Cette méthode rajoute de l'aléatoire dans la valeur des paramètres pour chaque membre selon une loi statistique (uniforme, gaussienne, log-normale...).

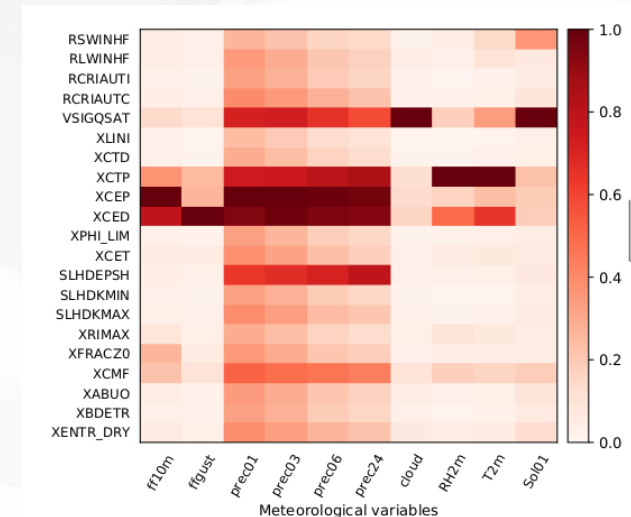
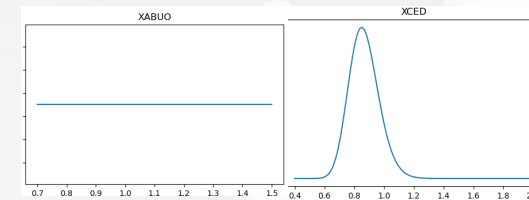
Le tirage aléatoire est effectuée une seule fois au début de la prévision pour chaque membre. Elle ne dépend ni de l'espace ni du temps.



Wimmer, M. (2021) : Représentation de l'erreur de modélisation dans le système de prévision d'ensemble régional PEARO, Université Paul Sabatier Toulouse III

- Évaluations menées sur plusieurs périodes longues entre 2021 et 2024 et plusieurs événements convectifs.
- Meilleure configuration choisie pour chaque paramètre : gamme de valeur, valeur optimale, distribution et paramètres associés.
- Meilleurs scores en utilisant RPP avec distributions gaussiennes autour d'une valeur privilégiée (obtenue avec la méthode PP), mais difficile à maintenir et biais uniques et systématiques pour chaque membre
- Configuration retenue : perturbation de 19 paramètres (dans les schémas de radiation, microphysique, turbulence, surface, et convection) en combinat RPP (avec distribution uniforme ou Gaussienne pour XCED et VSIGQSAT) et SPPT

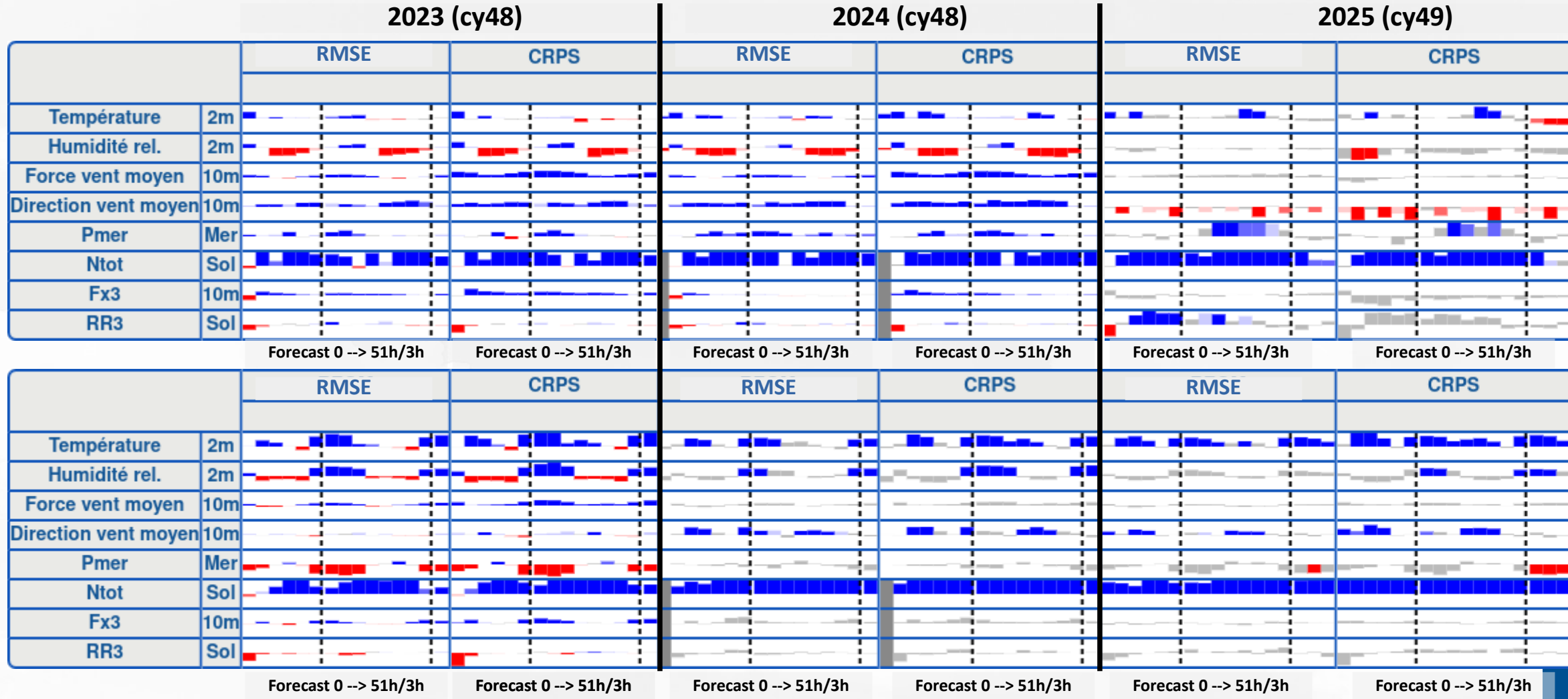
Scheme	Parameter	Physical meaning	Default	Range
Radiation	RCADDECOR	First coeff in the eq of Decorrelation	0,75	0,375-1,125
	RCBDECOR	Second coeff in the eq of Decorrelation	2,149	1,0745-3,2235
Microphysics	RCRIAUTI	Snow Autoconversion threshold	0.2e-3	0.2e-4 - 0.25e-3
	RCRIAUTC	Rain Autoconversion threshold	1e-3	0.4e-3 - 1e-3
	VSIGQSAT	Constant for subgrid condensation	0.02	0 - 0.1
Turbulence	XLINI	Minimum mixing length	0	0 - 0.2
	XCTD	Constant for dissipation of temperature and vapor pressure fluctuations	1.2	0.98 - 1.2
	XCTP	Constant for temperature and vapor pressure correlations	4.65	1.035 - 22.22
	XCEP	Constant for wind-pressure correlations	2.11	0.225 - 4.0
	XCED	Constant for dissipation of TKE	0.85	0.4 - 2
	XPHI_LIM	Threshold value for Sc^{-1} and Pr^{-1}	3	1 - 4.5
	XCET	Constant for transport of TKE	0.4	0.072 - 1.512
Surface	XRIMAX	Critical Richardson Number	0.2	0 - 0.3
	XFRACZ0	Coefficient of orographic drag	5	2 - 10
Convection	XCMF	Closure coefficient at bottom level	0.065	0 - 0.1
	XABUO	Coefficient of the buoyancy	1	0.7 - 1.5
	XBDETR	Coefficient of the detrainment	1e-6	0 - 1
	XENTR.DRY	Coefficient for dry entrainment	0.55	0.1 - 0.699



Scorecards pour été/hiver 2023/2024/2025

Hiver

Été
AMA 2026

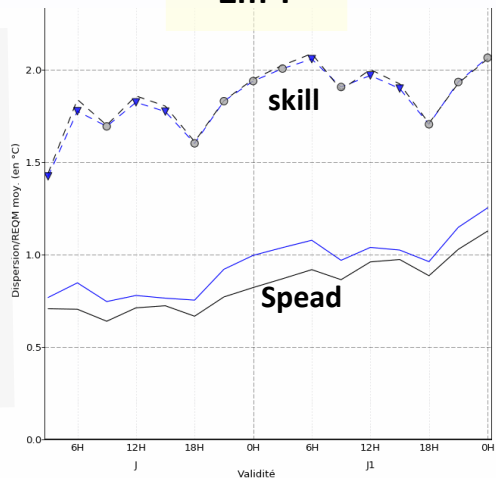


ScoreCards (Blue : RPP better / Red : RPP worse / Max = 8 % / Brighter : 95 % confidence)

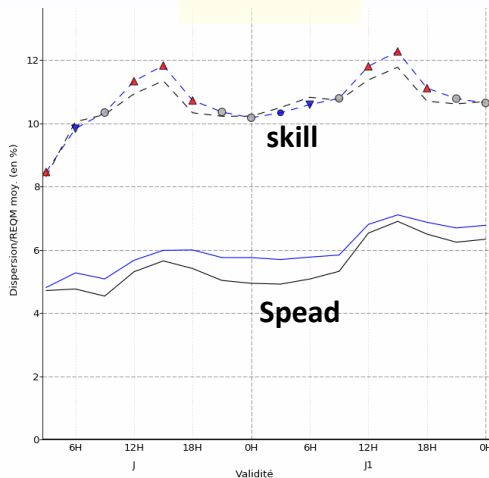
Skill/spread pour hiver/été 2024

Hiver 2024

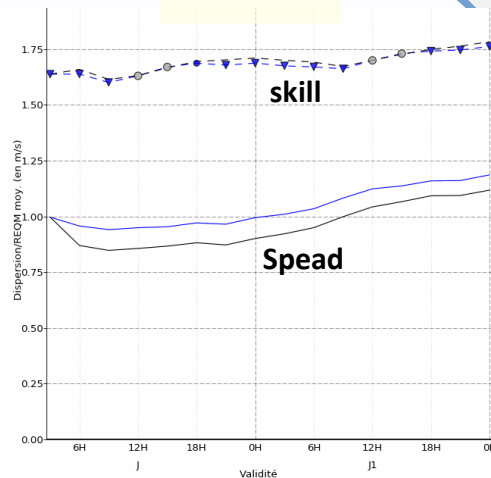
2m T



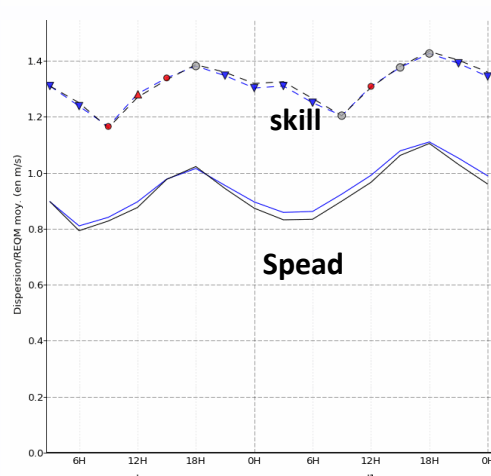
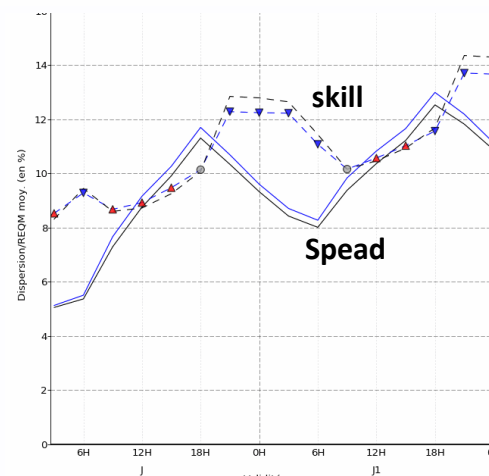
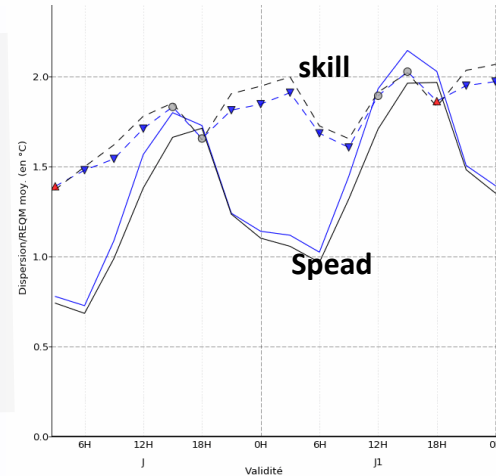
2m RH



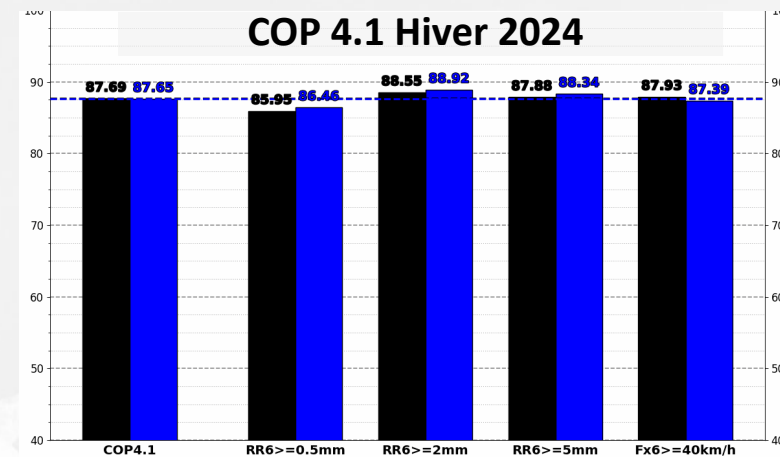
10m Wind



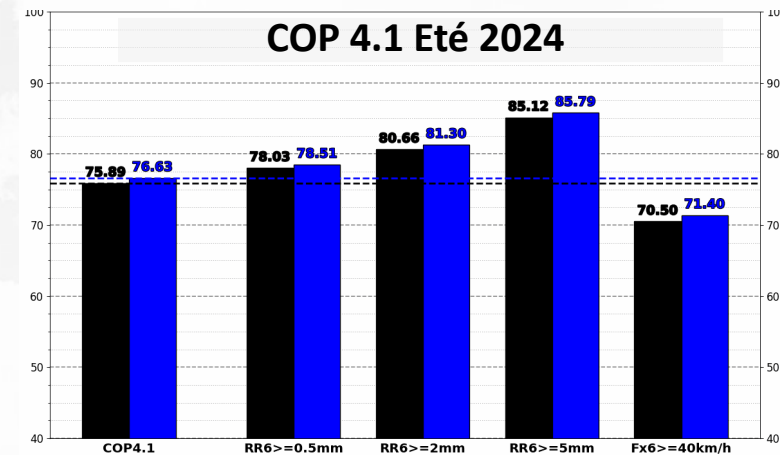
Été 2024



COP 4.1 Hiver 2024



COP 4.1 Eté 2024



Blue : RPP / Black : NO RPP / Triangle : statistically significant

Outline

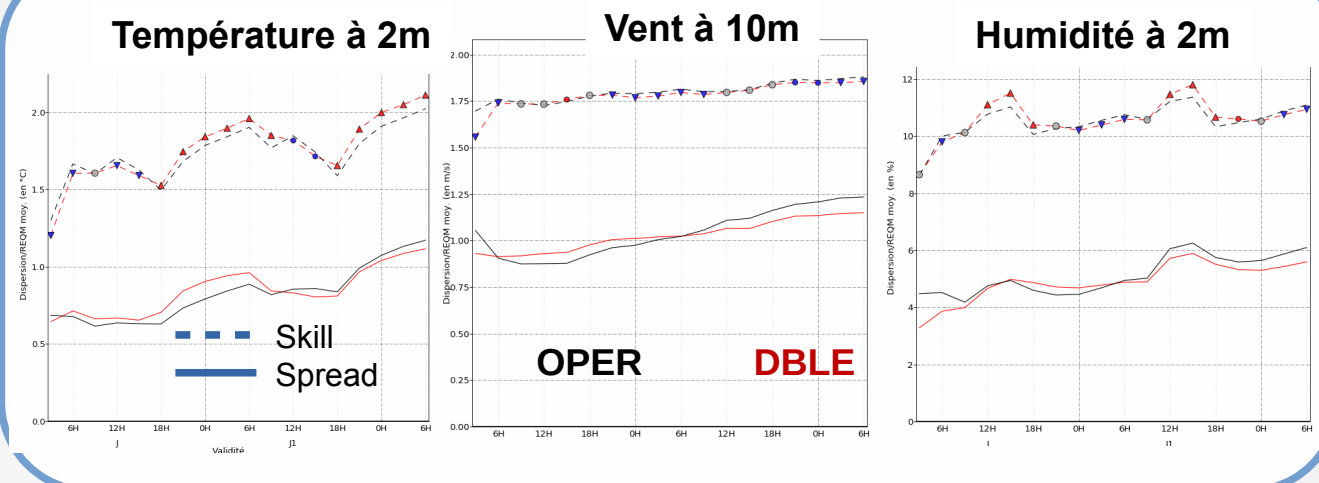
1. Configuration de PEARO double
2. Vérification pour l'été 2025 et l'hiver 2025/2026
3. Cas d'étude
4. Évolutions futures

Vérification PEARO double : Déc 2025 – Février 2026



		REQM	CRPS
Température	2m	[Bar chart]	[Bar chart]
Humidité rel.	2m	[Bar chart]	[Bar chart]
Force vent moyen	10m	[Bar chart]	[Bar chart]
Direction vent moyen	10m	[Bar chart]	[Bar chart]
Pmer	Mer	[Bar chart]	[Bar chart]
Ntot	Sol	[Bar chart]	[Bar chart]
Fx3	10m	[Bar chart]	[Bar chart]
RR3	Sol	[Bar chart]	[Bar chart]

Forecast 0 --> 51h/3h

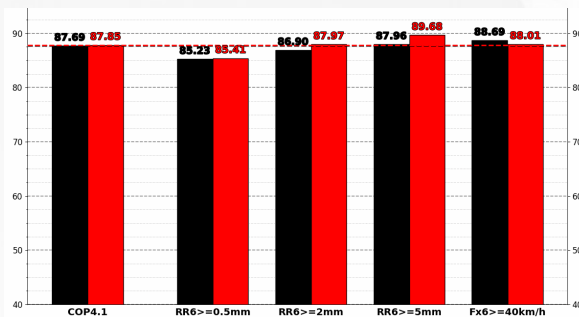


		REQM	CRPS
T	250hPa	[Bar chart]	[Bar chart]
	500hPa	[Bar chart]	[Bar chart]
	850hPa	[Bar chart]	[Bar chart]
FF	250hPa	[Bar chart]	[Bar chart]
	500hPa	[Bar chart]	[Bar chart]
	850hPa	[Bar chart]	[Bar chart]
DD	250hPa	[Bar chart]	[Bar chart]
	500hPa	[Bar chart]	[Bar chart]
	850hPa	[Bar chart]	[Bar chart]
Géopotentiel	250hPa	[Bar chart]	[Bar chart]
	500hPa	[Bar chart]	[Bar chart]
	850hPa	[Bar chart]	[Bar chart]
Q	400hPa	[Bar chart]	[Bar chart]
	500hPa	[Bar chart]	[Bar chart]
	700hPa	[Bar chart]	[Bar chart]
	850hPa	[Bar chart]	[Bar chart]
	925hPa	[Bar chart]	[Bar chart]
HU	400hPa	[Bar chart]	[Bar chart]
	500hPa	[Bar chart]	[Bar chart]
	700hPa	[Bar chart]	[Bar chart]
	850hPa	[Bar chart]	[Bar chart]
	925hPa	[Bar chart]	[Bar chart]

			BSS 50km
Température	2m	≤0.0°C	[Bar chart]
		≥25.0°C	[Bar chart]
Humidité rel.	2m	≥95.0%	[Bar chart]
		≤50.0%	[Bar chart]
Force vent moyen	10m	≥11.1m/s	[Bar chart]
Fx3	10m	≥11.1m/s	[Bar chart]
		≥16.7m/s	[Bar chart]
		≥22.2m/s	[Bar chart]
RR3	Sol	≥0.2mm	[Bar chart]
		≥0.5mm	[Bar chart]
		≥2.0mm	[Bar chart]
		≥5.0mm	[Bar chart]
		≥10.0mm	[Bar chart]

Forecast 0 --> 51h/3h

COP 4.1 Hiver 2025/2026

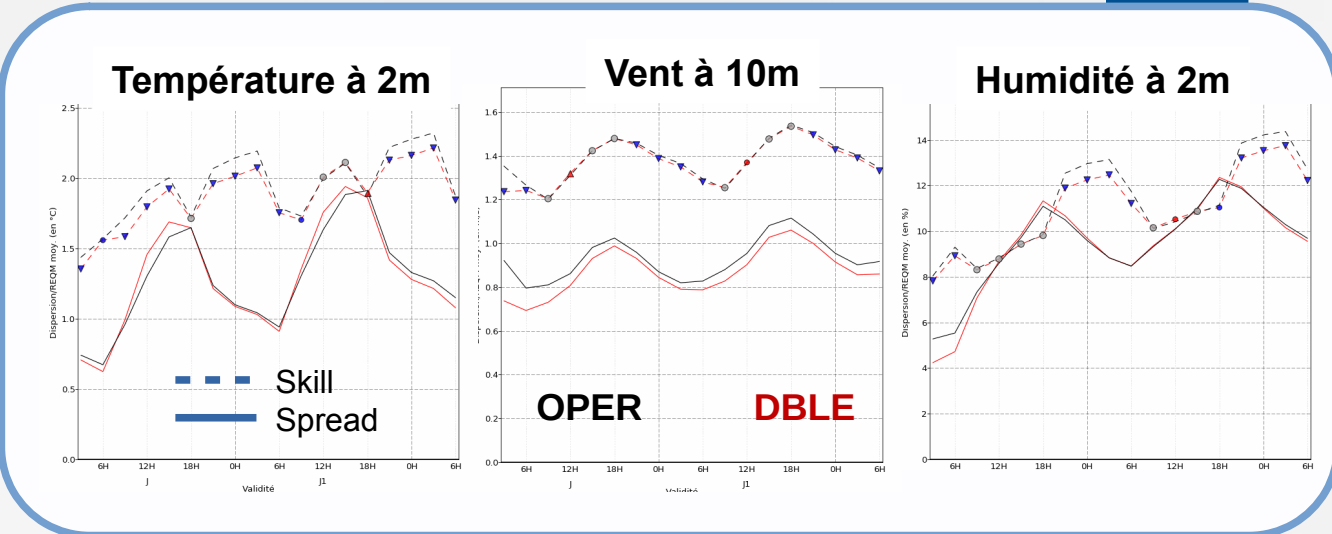
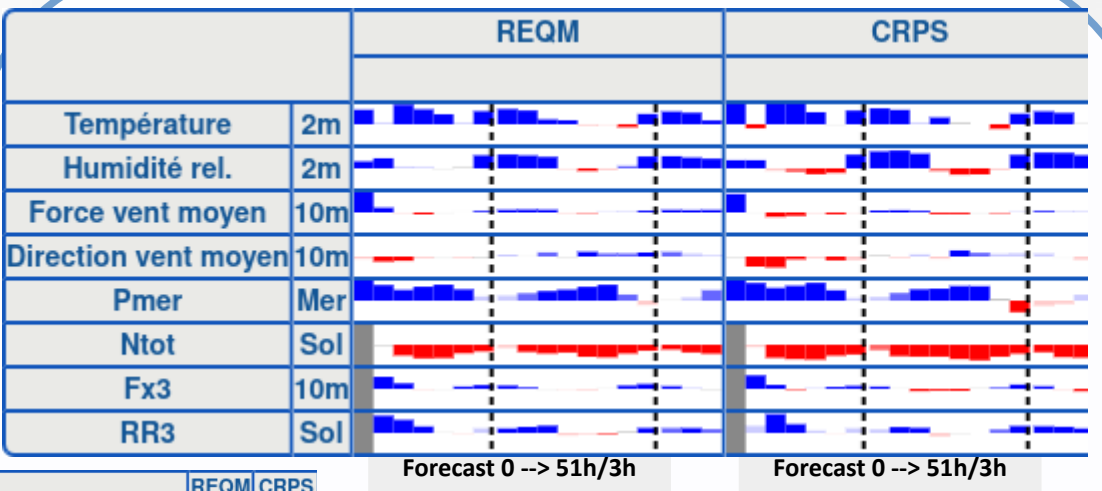


Amélioration scores pour vent, Pmer et RR.
 Dégradation du biais pour l'humidité et BSS pour rafales.
 Légère amélioration du COP4.1 grâce meilleur BSS RR pour tous les seuils.

Cartes de Score (Bleu: DBLE meilleur/Rouge: OPER meilleur/Max=8%/Foncé: 95% confiance)

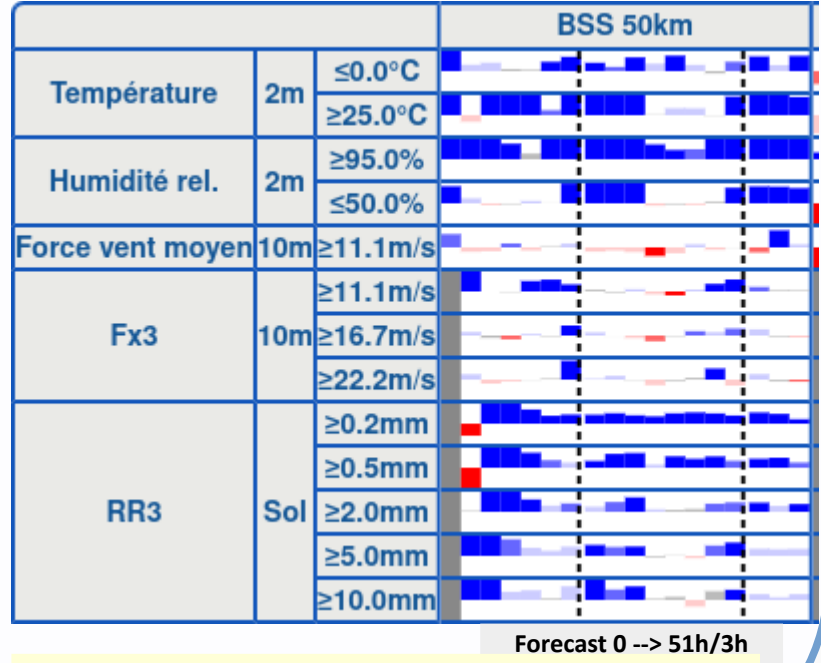
Forecast 0 --> 51h/12h

Vérification PEARO double : Mai - Août 2025



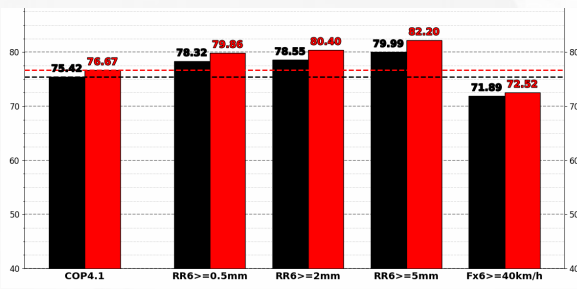
		REQM	CRPS
T	250hPa	[Skill/Spread]	[Skill/Spread]
	500hPa	[Skill/Spread]	[Skill/Spread]
	850hPa	[Skill/Spread]	[Skill/Spread]
FF	250hPa	[Skill/Spread]	[Skill/Spread]
	500hPa	[Skill/Spread]	[Skill/Spread]
	850hPa	[Skill/Spread]	[Skill/Spread]
DD	250hPa	[Skill/Spread]	[Skill/Spread]
	500hPa	[Skill/Spread]	[Skill/Spread]
	850hPa	[Skill/Spread]	[Skill/Spread]
Géopotentiel	250hPa	[Skill/Spread]	[Skill/Spread]
	500hPa	[Skill/Spread]	[Skill/Spread]
	850hPa	[Skill/Spread]	[Skill/Spread]
Q	400hPa	[Skill/Spread]	[Skill/Spread]
	500hPa	[Skill/Spread]	[Skill/Spread]
	700hPa	[Skill/Spread]	[Skill/Spread]
	850hPa	[Skill/Spread]	[Skill/Spread]
	925hPa	[Skill/Spread]	[Skill/Spread]
HU	400hPa	[Skill/Spread]	[Skill/Spread]
	500hPa	[Skill/Spread]	[Skill/Spread]
	700hPa	[Skill/Spread]	[Skill/Spread]
	850hPa	[Skill/Spread]	[Skill/Spread]
	925hPa	[Skill/Spread]	[Skill/Spread]

Forecast 0 --> 51h/12h



Cartes de Score (Bleu: DBLE meilleur/Rouge: OPER meilleur/Max=8 %/Foncé: 95% confiance)

COP 4.1 Eté 2025



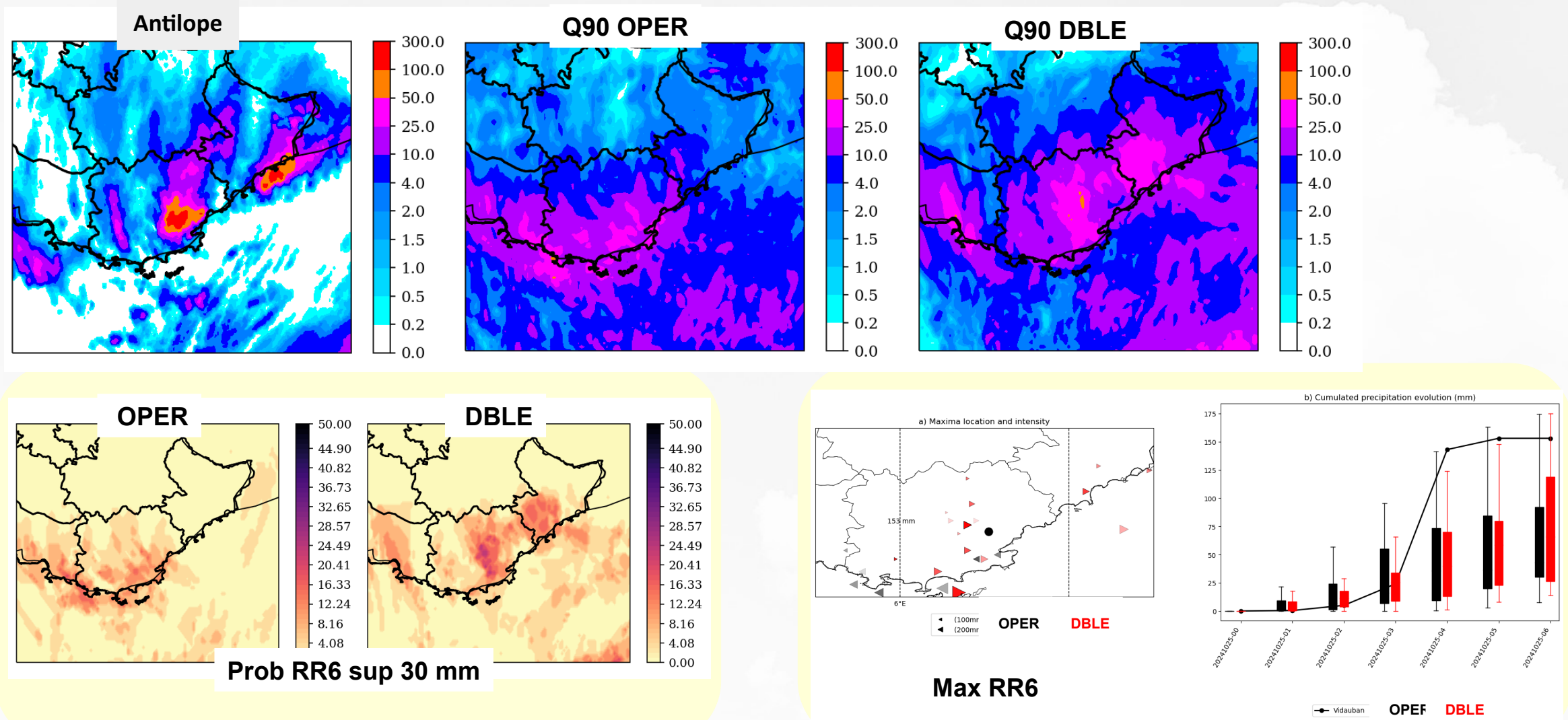
Amélioration skill/CRPS pour température, humidité, Pmer et vent (moins de dispersion).
Amélioration COP4.1 (BSS rafales et pluie).

Outline

1. Configuration de PEARO double
2. Vérification pour l'été 2025 et l'hiver 2025/2026
- 3. Cas d'étude**
4. Évolutions futures

Orage violent vers Vidauban (Oct 25 2024)

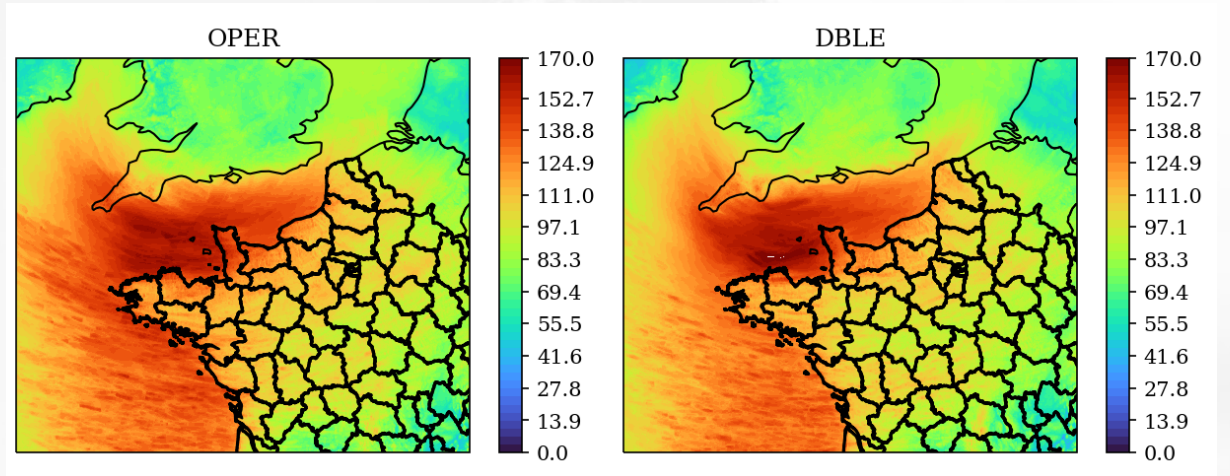
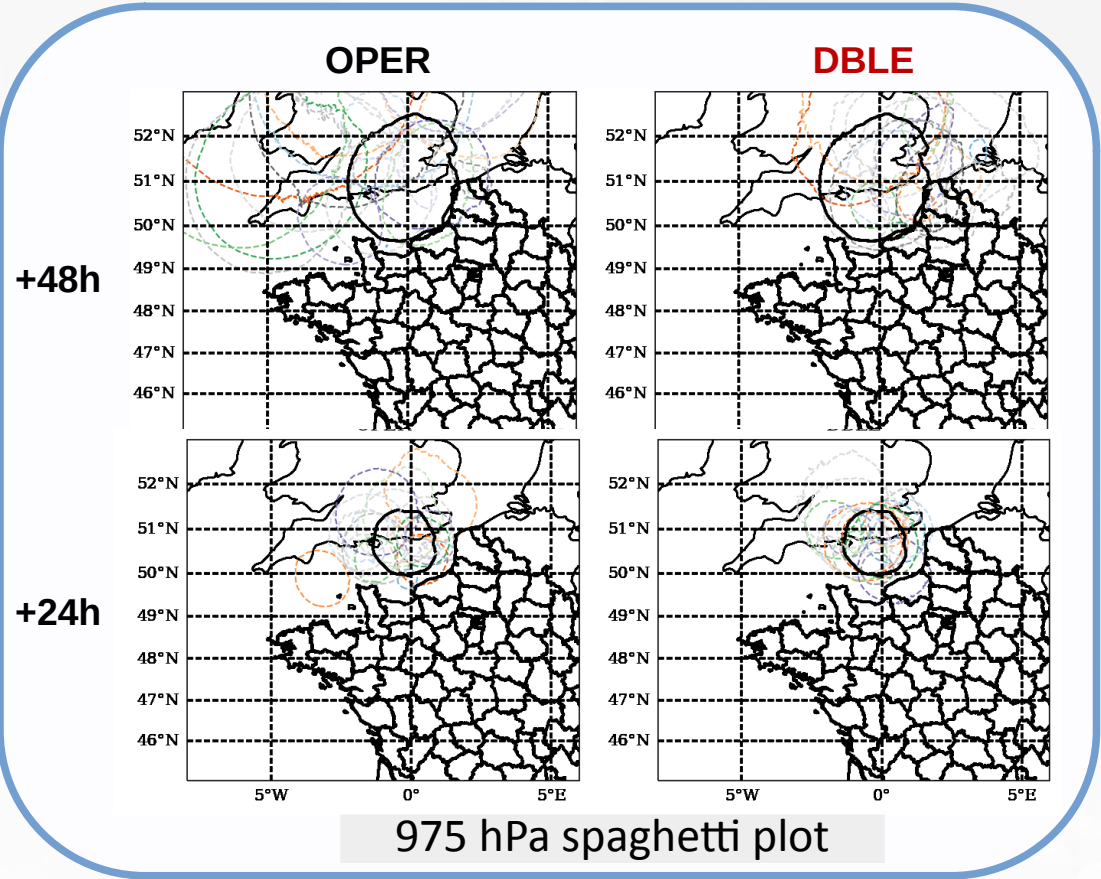
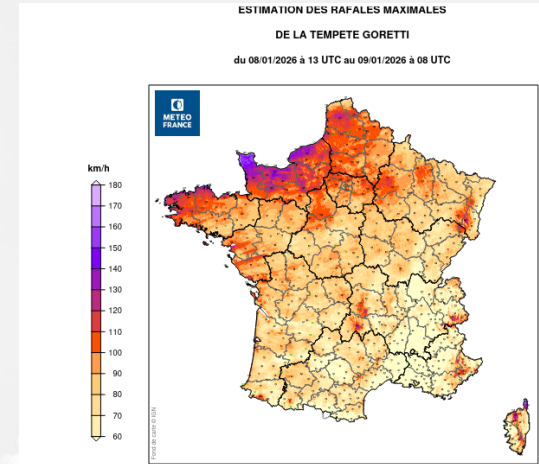
En fin de nuit de 24 au 25 octobre, un orage stationnaire s'est formé sur le secteur de Vidauban, donnant jusqu'à 152.9 mm à la station de Vidauban en 6h dont 119 mm en 1h entre 5h et 6h.



Tempête Goretti (8-9 Janvier 2026)

Tempête violente à creusement rapide au sud de l'Irlande puis circulation zonale sur le sud de l'Angleterre.

Vent d'Ouest fort surtout sur les départements bordant la Manche dans la soirée du 8 janvier et courant de nuit du 8 au 9 janvier au fil de son déplacement, avec des vents dépassant le seuil des 150 km/h sur le littoral.

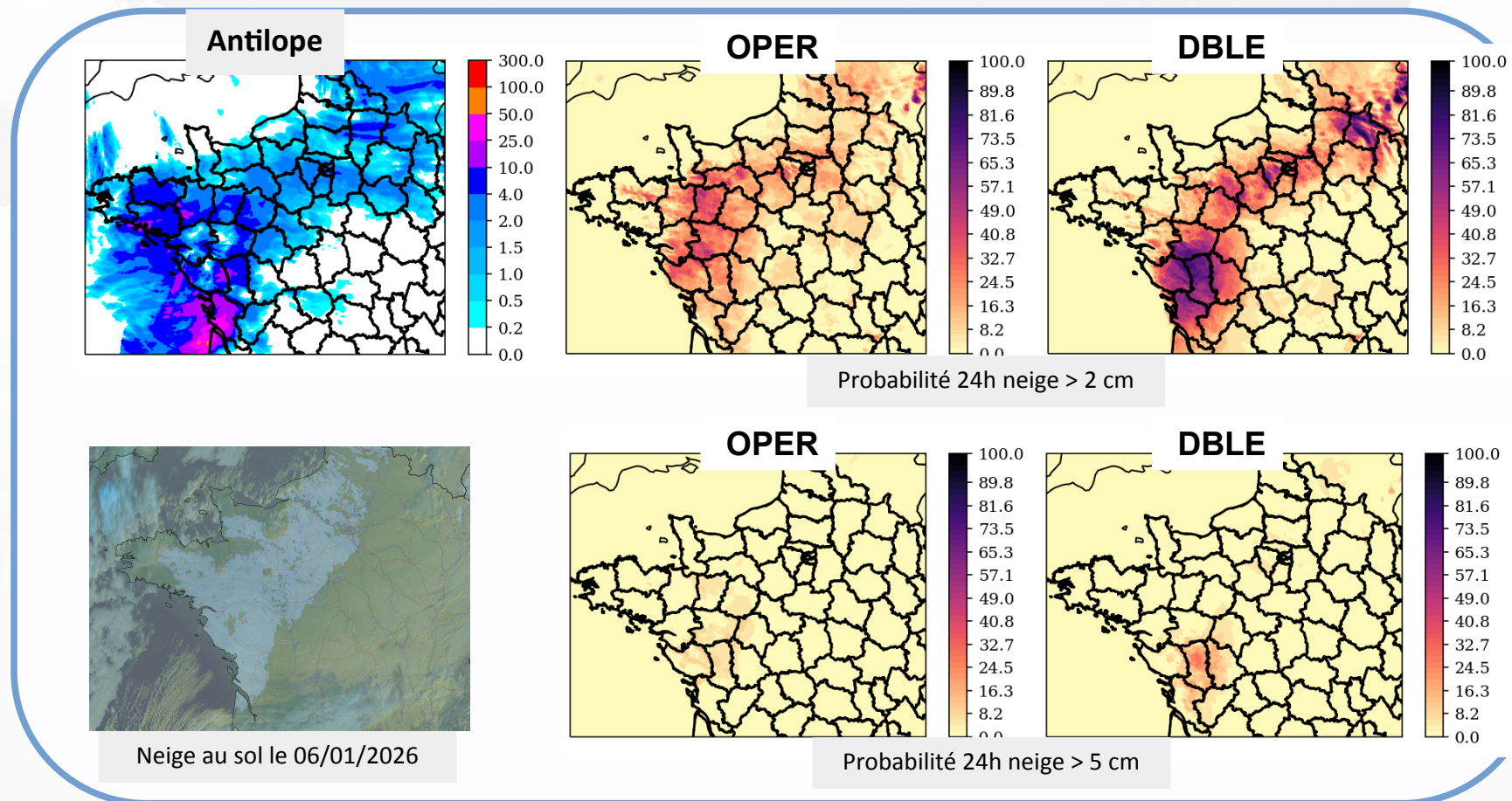


Q90 Rafales max

Différences entre PEARP OPER et PEARP double, avec une baisse de la dispersion, qu'on retrouve dans PEARO.

Episode neigeux du 5-6 janvier 2026

Passage d'une perturbation pluvio-neigeuse sur le nord et l'ouest de la France, le 5 janvier et la nuit suivante, avec des chutes de neige significatives dans l'intérieur de la Normandie (5 à 10 cm), 3 à 5 cm en IdF, 5-10cm en Loire Atlantique voire localement jusqu'à 30 cm sur la Vendée.



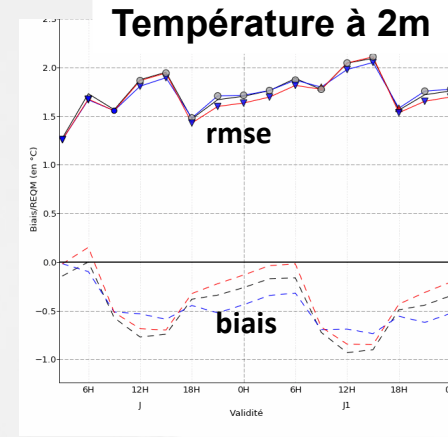
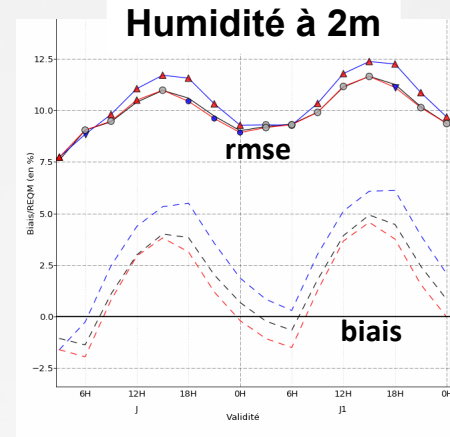
Outline

1. Configuration de PEARO double
2. Vérification pour l'été 2025 et l'hiver 2025/2026
3. Cas d'étude
4. Conclusion et évolutions futures

- La chaîne PEAROME double est actuellement en test, accessible aux prévisionnistes :
 - Sur la saison estivale, amélioration notable des scores (CRPS, skill, BSS) pour l'ensemble des variables, notamment pour la température et la pluie. Moins de dispersion pour le vent.
 - Sur la saison hivernale, les scores moyens sont plus nuancés, avec une amélioration des scores de vent, Pmer et pluie, mais une dégradation pour l'humidité les après-midi (biais).
 - Amélioration de la prévision des pluies et du vent (en terme de localisation et d'intensité) lors de plusieurs événements convectifs

Tests en cours pour les évolutions de PEARO

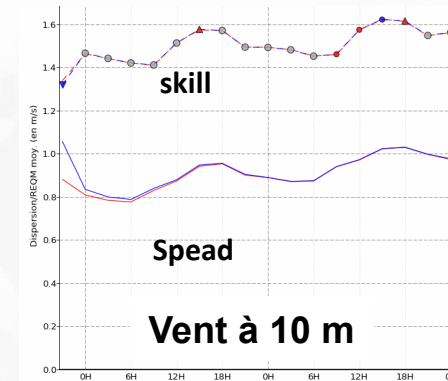
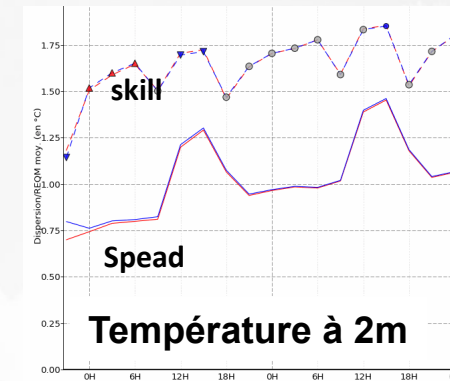
- RPP : ajout de nouveaux paramètres (notamment dans le schéma de rayonnement), corrélés certains paramètres, ajouter une saisonnalité dans la perturbation de paramètres



OPER
DBLE
MODRPP

Jan 2025

- Test d'une version stochastique de la perturbation de paramètres (SPP), pour évaluer l'éventuelle valeur ajoutée par rapport à la version non stochastique (sur une partie des paramètres du RPP)
- Utilisation de perturbation de paramètres dans l'AEARO



DBLE
AE_RPP

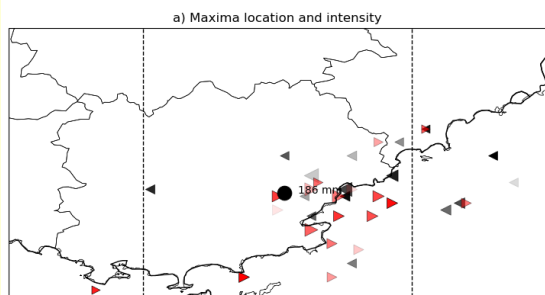
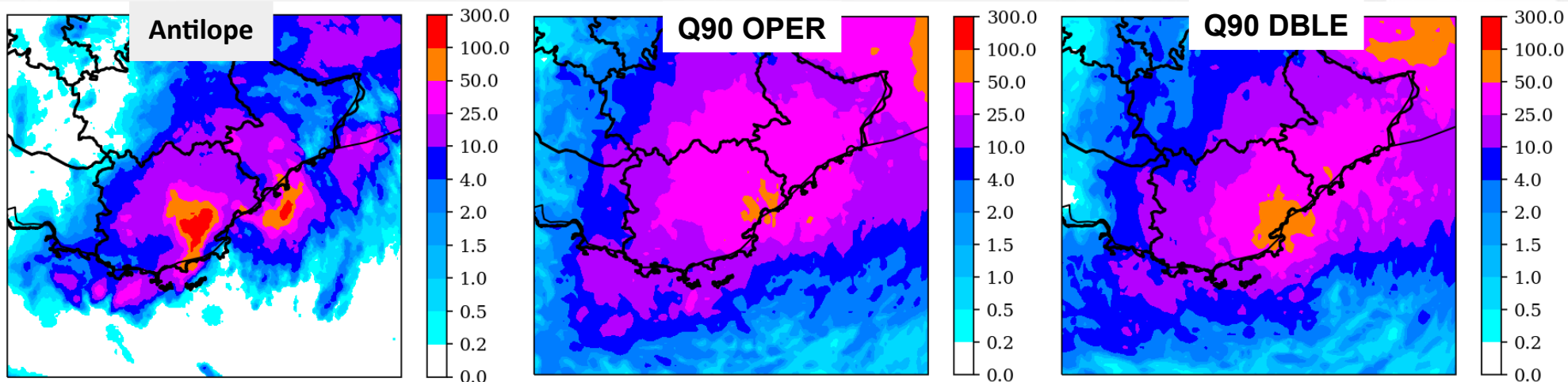
Sept 2025

- Test de perturbations de surface en utilisant le SPP (CV, LAI, RSMIN)
- CMO perturbée

Questions ?

Orage violent vers Vidauban (May 20 2025)

Une perturbation remonte de Méditerranée et s'approche des côtes varoise en fin de nuit avec à l'avant des cellules orageuses, qui deviennent stationnaires sur le secteur de Vidauban, cumulant jusqu'à 124 mm en 1h sur Vidauban.



Max RR6

