



# Méthodologie de construction de forçages météo probabilistes pour la prévision hydrologique

Fabien RINALDI ([fabien.rinaldi@edf.fr](mailto:fabien.rinaldi@edf.fr)),  
Matthieu LE LAY,  
Laurent CORON

Colloque SHF 2023  
Prévision des crues et des inondations

Le Guil au barrage de Maison du Roy (Hautes-Alpes)



# Contexte des prévisions hydrométéo à EDF Hydro

## SÉCURITÉ DES OUVRAGES

- o Surveillance du risque de **crue** du parc d'exploitation EDF

## GESTION DE L'EAU

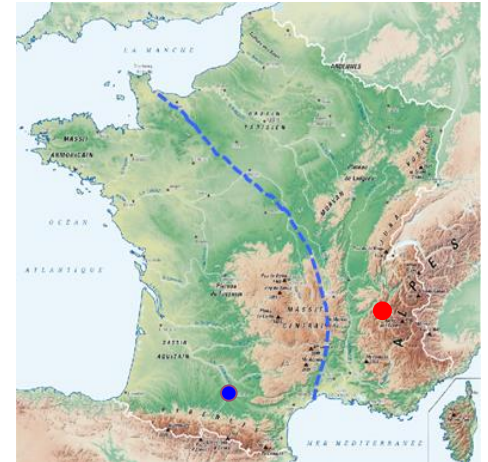
- o Prévisions de **débits à moyen terme (apports de fonte, étiages)** gestion des moyens de production
- o Gestion **multi-usage** de l'eau (tourisme, eau potable, agriculture, ...)

## RESPECT DES OBJECTIFS RÉGLEMENTAIRES

- o Débits réservés
- o Arrêtés de rejets

EDF est une entreprise « météo – sensible »

2 centres : 22 prévisionnistes



TOULOUSE

GRENOBLE



Aider le passage des crues



Prévoir les apports de fonte nivale



Prévoir les étiages et volumes de soutien

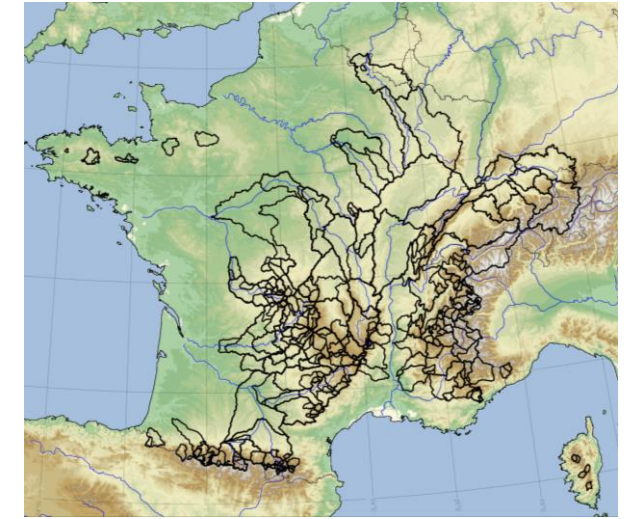
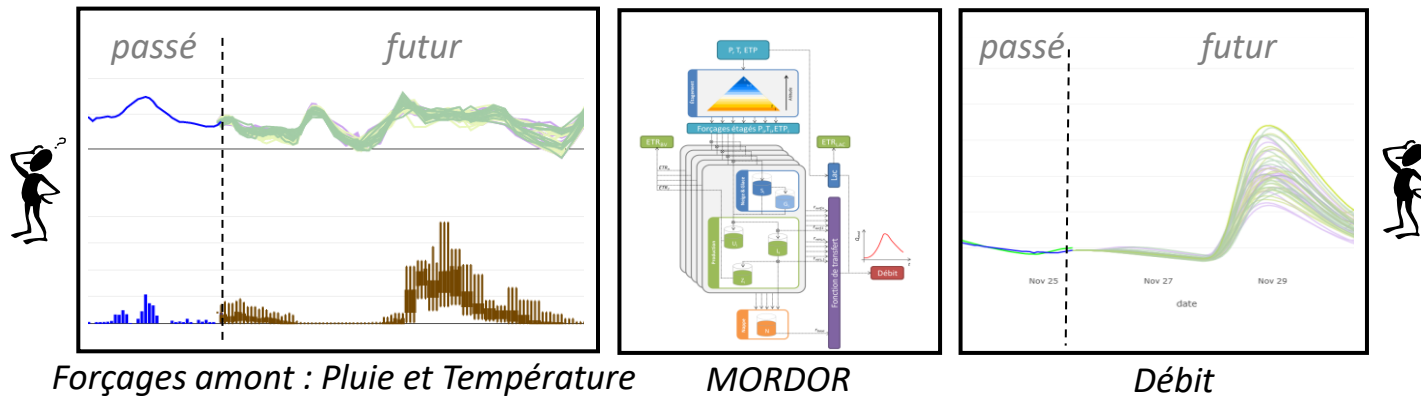


Prévoir la disponibilité de la source froide

# Contexte des prévisions hydrométéo à EDF Hydro

## PREVISIONS HYDROLOGIQUES de J à J+28

- Réalisation quotidienne de prévisions (fonction des enjeux et des aléas)
- ~300 bassins versants, 300 000 km<sup>2</sup> modélisés
- Typologie des bassins : montagne, plaine (de 4 à 30 000 km<sup>2</sup>)
- Modèle hydrologique semi-distribué MORDOR (*Garavaglia et al. 2017*) forcé en entrée par des prévisions de pluies et températures



Carte des bassins modélisés EDF

- Chaîne de prévision probabiliste horaire pour un usage quotidien : *Communication n° 48 CORON et al., SHF 2023, jeudi matin*

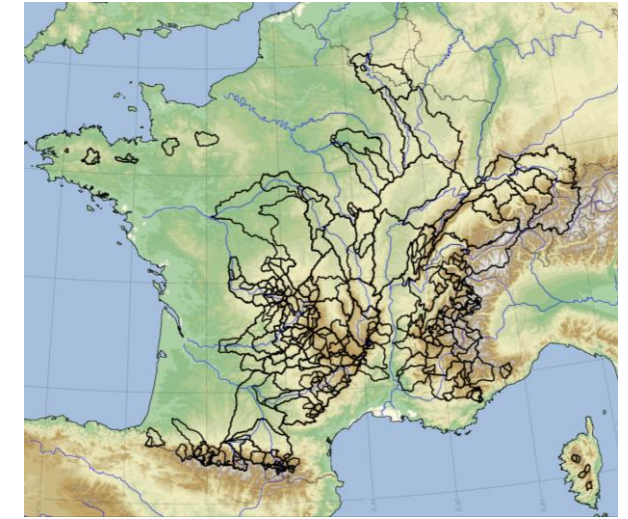
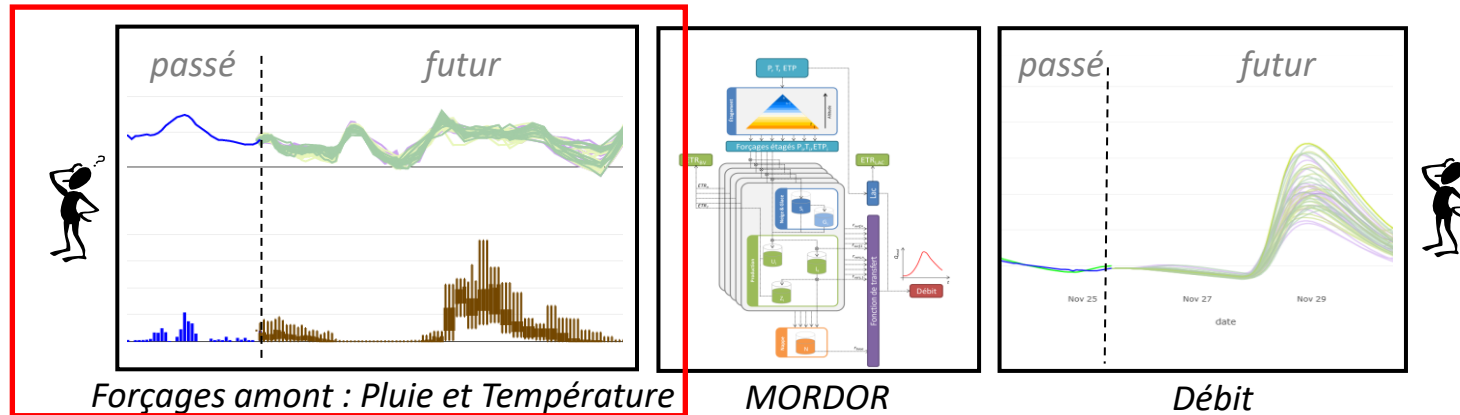
## ENJEUX :

- Cohérence sur les choix météorologiques, qualité des prévisions et productivité

# Contexte des prévisions hydrométéo à EDF Hydro

## PREVISIONS HYDROLOGIQUES de J à J+28

- Réalisation quotidienne de prévisions (fonction des enjeux et des aléas)
- ~300 bassins versants, 300 000 km<sup>2</sup> modélisés
- Typologie des bassins : montagne, plaine (de 4 à 30 000 km<sup>2</sup>)
- Modèle hydrologique semi-distribué MORDOR (Garavaglia et al. 2017) forcé en entrée par des prévisions de pluies et températures



Carte des bassins modélisés EDF

- Chaîne de prévision probabiliste horaire pour un usage quotidien : *Communication n° 48 CORON et al., SHF 2023, jeudi matin*

## ENJEUX :

- Cohérence sur les choix météorologiques, qualité des prévisions et productivité

Besoin d'une expertise météorologique « amont » sur les forçages météorologiques



# Construction de forçages météo probabilistes

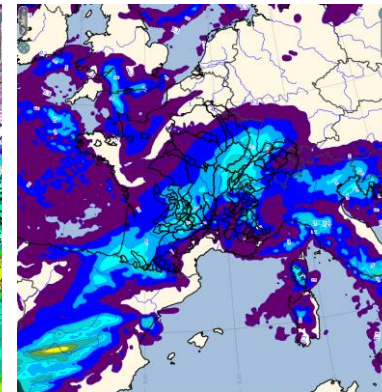
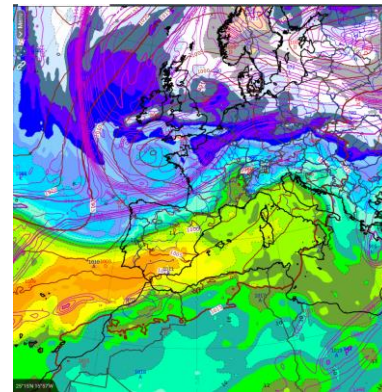
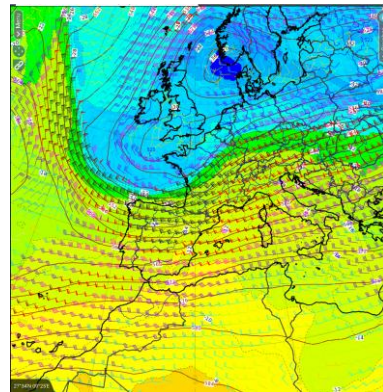
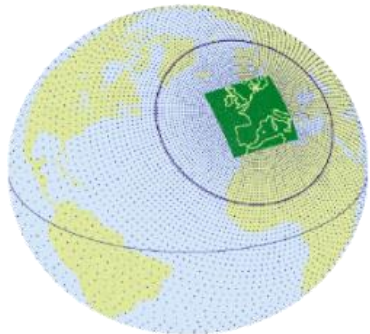
**PRINCIPE** : Pondération/correction des sources de prévisions par le prévisionniste

**PARTI PRIS** : on dispose aujourd'hui d'ensembles de prévisions riches et performants pour que l'expertise se résume à « trier » parmi ces ensembles en fonction de l'expertise météorologique

**AVANTAGES** : Cohérences spatiales, temporelles et inter-variables portées par les modèles météorologiques

**DECLINAISON** : une méthodologie mise en place dans une chaine de prévision (ttes les heures) et un outil

**TEAHUPOO** : *Transposition Expertise Amont HUMaine des Prévisions météOrOlogiques*



## 3 ETAPES :

A - Construction de scénarios de prévisions météo sans coutures à 28 jours

B – Pondération des sources de prévision par horizon de temps

C - Reconstruction des ensembles de prévisions météorologiques à 28 jours

# Méthodologie : A - Construction de scénarios de prévisions météorologiques sans coutures à 28 jours

## ETAT DES LIEUX DES SOURCES :

- modèles : IFS, AROME, ARPEGE en version déterministe (HRES) et ensembliste (EPS)
- historiques : climatologie (CLIM)

Nom modèle	Type	Nbre membres	Résolution (°)	Nbre runs	Portée (h)
AROME-HRES	Non-hydrostatique	1	0.01°	5 / jours (00h,03h,06h,12h,18h)	51
ARPEGE-HRES	hydrostatique	1	0.1°	4/ jours (00h,06h,12h,18h)	102
IFS-HRES	hydrostatique	1	0.125°	2/ jours (00h,12h)	240
AROME-EPS	Non-hydrostatique	16	0.025°	2/ jours (03h et 09h)	45 / 91
ARPEGE-EPS	hydrostatique	35	0.1°	2/ jours (00h et 06h)	49 / 91
IFS-EPS	hydrostatique	50	0.25°	2/ jours (00h,12h)	360
IFS-EPS-Extended	hydrostatique	50	0.5°	2 par semaine (lundi, jeudi)	745
CLIM	historique	50	bassin versant	-	-

OBJECTIF : prolonger les 154 membres à 28 jours (unification des portées)  
méthode de rang sur les précipitations France par modèle météorologique

*(Ensemble Copula Coupling, Schefzik et al. 2013)*

## 3 HORIZONS DE TEMPS : *fonctions des caractéristiques des sources*

- Court terme : J à J+1 : AROME (HRES, EPS) / ARPEGE (HRES,EPS) / IFS (HRES,EPS) : 104 scénarios
- Moyen-terme : J+2 à J+6 : ARPEGE (HRES,EPS) / IFS (HRES,EPS) : 87 scénarios
- Long-terme : J+6 à J+28 : IFS (EPS) / CLIM : 100 scénarios

## B - PONDERATION par HORIZON DE TEMPS :

- Passage à 50 scénarios en choisissant le nombre parmi les sources disponibles de chaque horizon de temps
- Tirage aléatoire sans remise
- Nbre de scénarios par défaut issus d'une calibration (cf. évaluation)
- Nbre de scénarios modifiables par le prévisionniste dans l'outil (cf. outil)

The screenshot shows a web interface for configuring scenario selection. At the top, there are three tabs: 'Court terme : J / J+1', 'Moyen terme : J+2 / J+6', and 'Long terme : S2 / S3 / S4'. The 'Court terme' tab is selected. Below the tabs, there are three columns of configuration options. The first column is for 'PEARO / AROME', with 'Nbre membres PEARO (16)' set to 16 and 'Nbre membres AROME (1)' set to 1. The second column is for 'PEARP / ARP', with 'Nbre membres PEARP (35)' set to 32 and 'Nbre membres ARPEGE (1)' set to 1. The third column is for 'EPS / CEP', with 'Nbre membres EPS (50)' set to 0 and 'Nbre membres CEP (1)' set to 0. Each input field has a dropdown arrow on the right. A 'validation previsions' button is located at the top right of the interface.

## C- RECONSTRUCTION :

- Réassemblage des ensembles construits par horizon de temps
- Idem étape A : approche par rang sur les précipitations France de chaque horizon de temps
- Méthode appliquée sur les membres non communs aux horizons de temps (préservation continuité temporelle de chaque scénario)



## EVALUATION :

- Calibration de la pondération
- Performance de l'approche (combiner les sources de prévisions)

## PROTOCOLE :

- Période : du 01/01/2021 au 20/08/2023
- Un run par jour à 06hTU avec les réseaux de modèles disponibles
- 236 bassins versants
- Variable précipitation journalière (prévu vs observée)
- Scores : CRPS (score probabiliste) et  $R^2$  moyenne d'ensemble (score déterministe)

Nom modèle	Réseau (h en TU)
<b>AROME</b> (HRES / EPS)	<b>03h J / 09h J-1</b>
<b>ARPEGE</b> (HRES / EPS)	<b>00h J</b>
<b>IFS</b> (HRES / EPS)	<b>12h J-1</b>

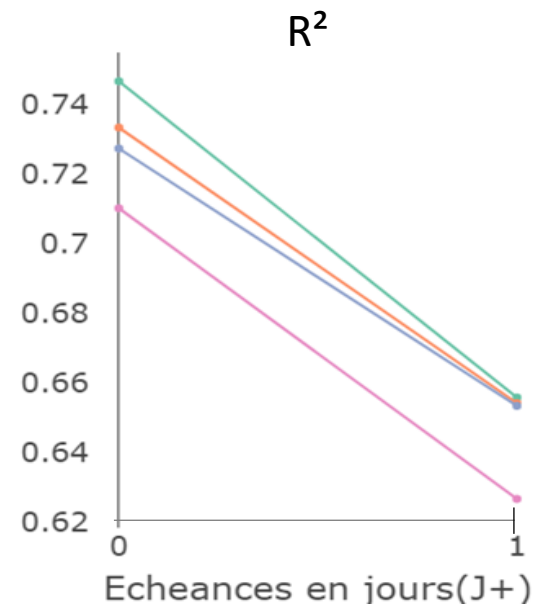
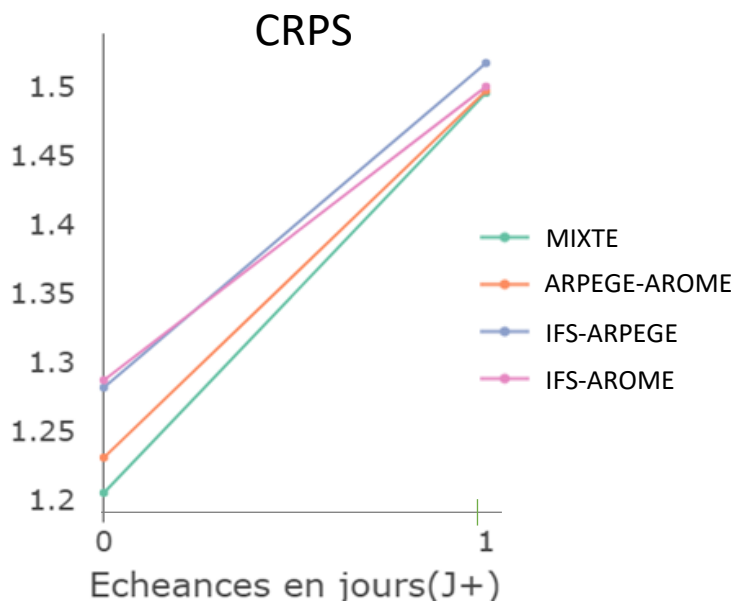
*Disponibilité des réseaux de modèles lors de l'évaluation*

# Évaluation : calibration de la pondération

- Comparaison de plusieurs combinatoires
- Horizon court terme : J / J+1
- 4 expériences : MIXTE / ARPEGE-AROME / IFS-ARPEGE / IFS-AROME

Nom	IFS-EPS	ARPEGE-EPS	AROME-EPS	IFS-HRES	ARPEGE-HRES	AROME-HRES
MIXTE	15	16	16	1	1	1
ARPEGE-AROME	0	31	16	1	1	1
IFS-ARPEGE	12	35	0	1	1	1
IFS-AROME	31	0	16	1	1	1

Tableau des combinatoires testées pour l'évaluation de la pondération

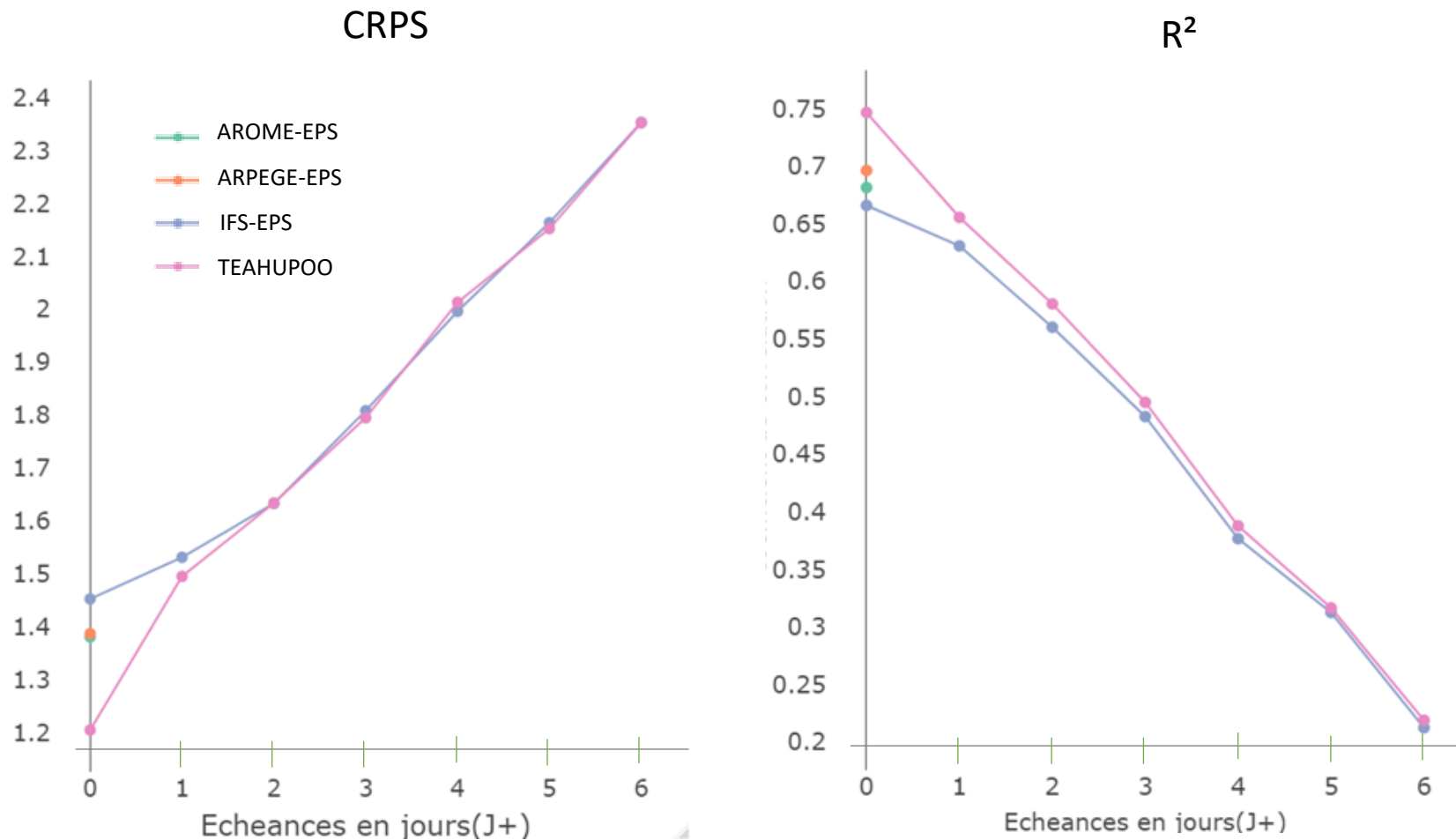


## RESULTATS :

**Meilleurs scores pour l'expérience MIXTE à la fois en CRPS et R<sup>2</sup>**

# Évaluation : performance de l'approche

EVALUATION des ensembles combinés TEAHUPOO vs ensembles individuels : IFS, AROME, ARPEGE



## RESULTATS :

- **Amélioration des scores en combinant les sources vs ensembles individuels**
- Nota : performance AROME-EPS plus faible (réseau de la veille)

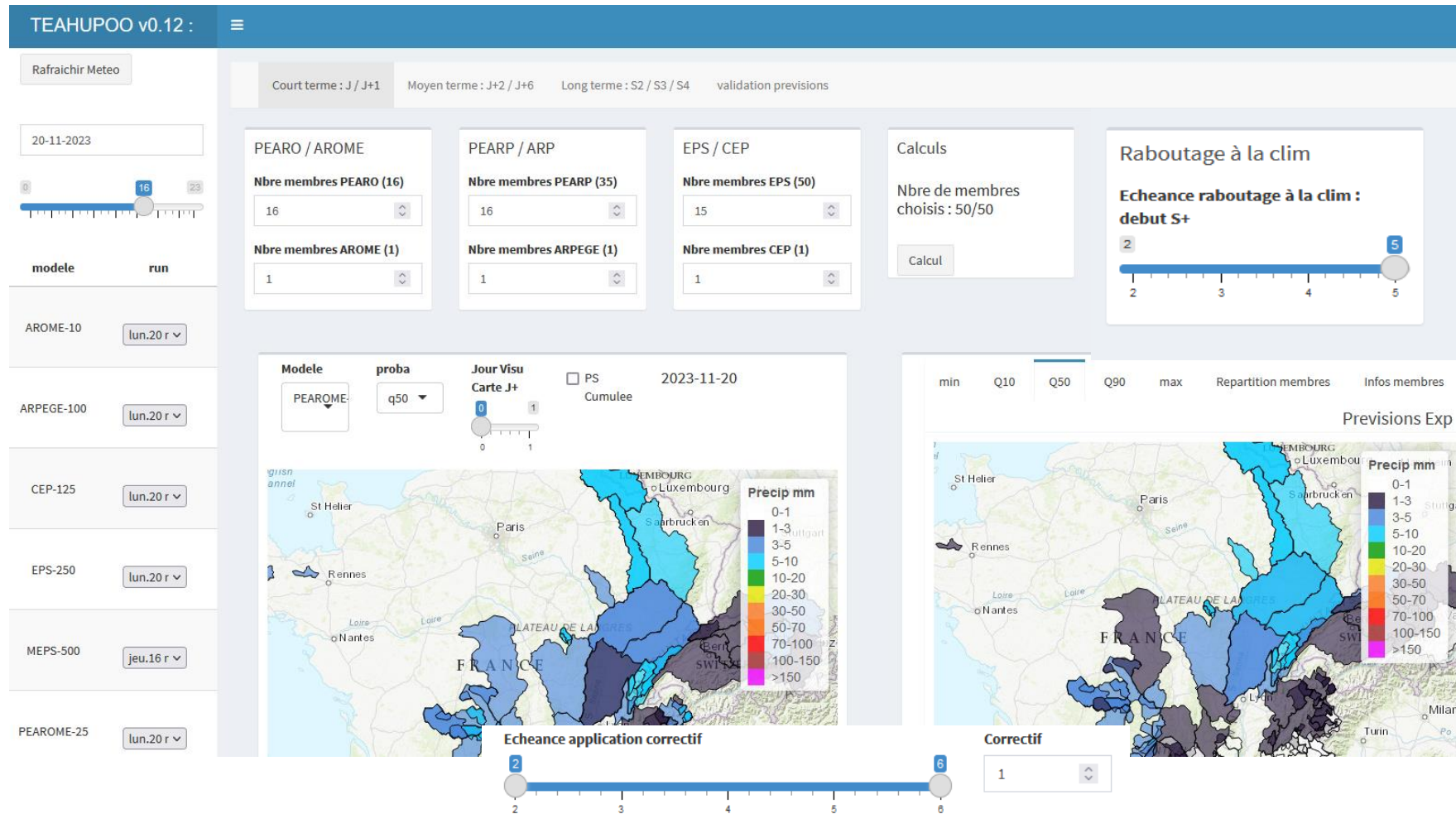
CRPS moyen sur 236 bassins à gauche et à droite coefficient de corrélation de la moyenne des ensembles du 01/01/2021 au 20/08/2023.  
En vert l'ensemble AROME-EPS, en rouge l'ensemble ARPEGE-EPS, en bleu l'ensemble IFS-EPS et en violet l'ensemble Teahupoo



# Mise en œuvre dans un outil

## GESTES D'EXPERTISE : basés sur la variable précipitation

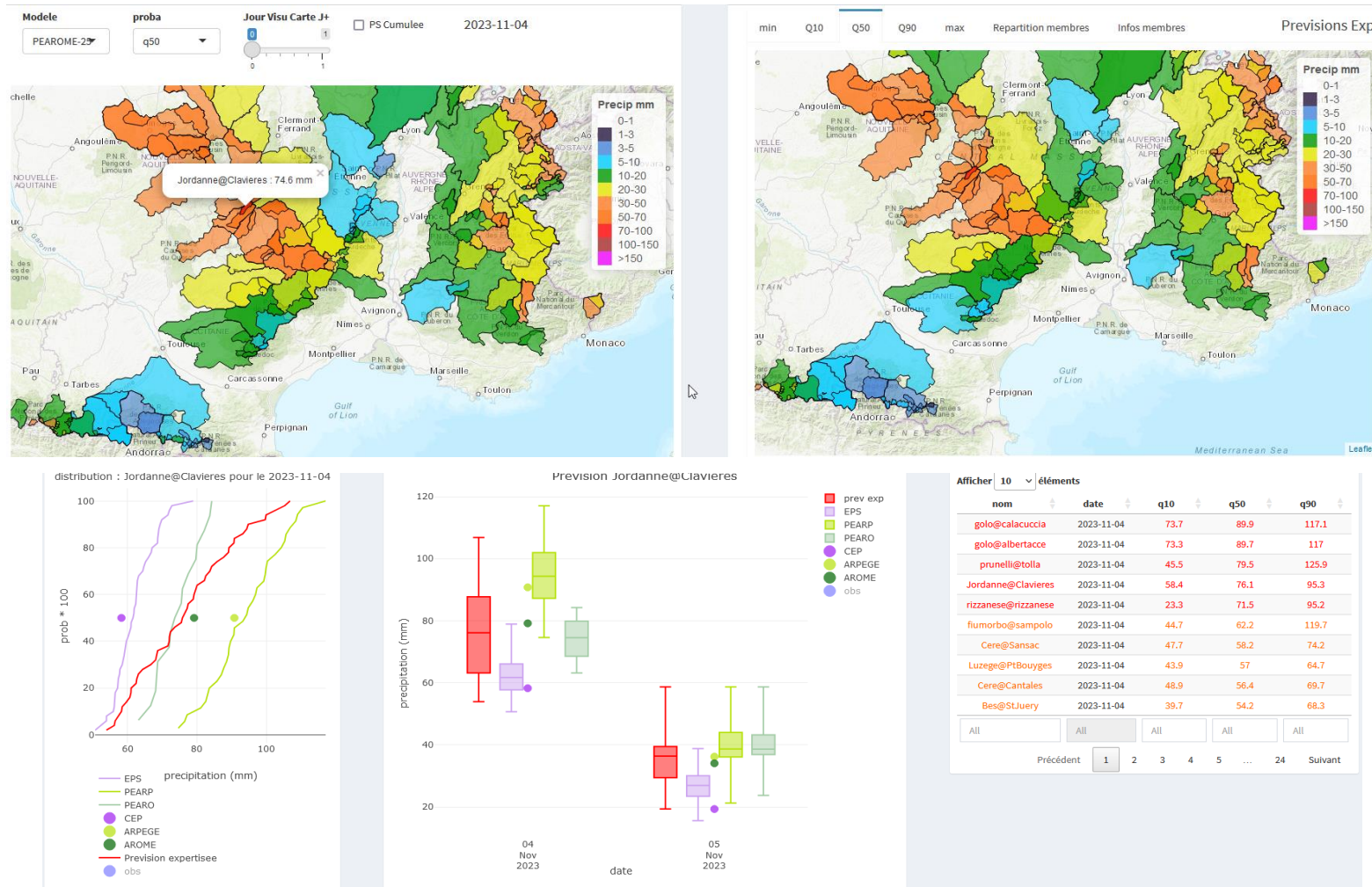
- Choix du nombre de scénarios par source et par horizon de temps
- Choix des réseaux météo par source
- Choix de l'horizon de prévisibilité (uniquement horizon long terme, via raccord à scénarios CLIM)
- Éventuellement : correction (multiplicative par échéance)



# Mise en œuvre dans un outil

## OUTIL : visualisation de l'impact de l'expertise

- Visualisation France sous forme cartographique de la distribution finale et comparaison avec une source individuelle
- Visualisation bassin : distribution temporelle et distribution cumulée, au pas de temps journalier



# Conclusions

## CONCLUSIONS :

- Création d'un ensemble probabiliste sans couture à 28 jours cohérent spatialement et temporellement
- Valorisation de l'expertise humaine amont météorologique en incluant les choix des prévisionnistes
- Montre l'intérêt de combiner les sources de prévision (plus performant)

## PERSPECTIVES :

- Enrichir avec d'autres sources de prévisions (autres modèles météo, analogues, ...)
- Étendre à des échéances plus lointaines : ex. prévisions saisonnières
- Évolutions méthodologiques possibles:
  - Amélioration du pré-traitement des prévisions précipitation et température
  - Approche multivariée pour la sélection des membres : par exemple précipitations + températures
  - Remplacement de l'approche par rang par une approche de forme (déformation temporelle dynamique)





# *Merci*

## **Méthodologie de construction de forçages météo probabilistes pour la prévision hydrologique**

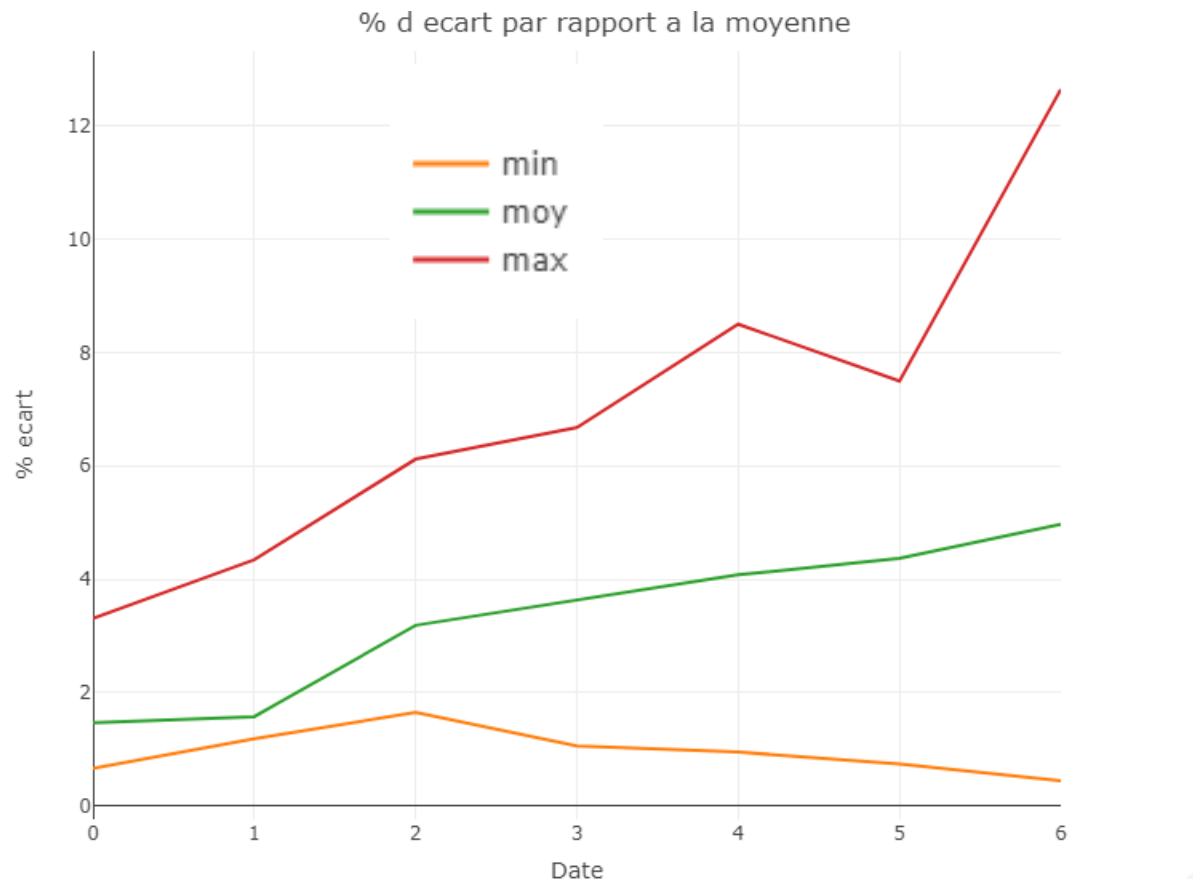
Fabien RINALDI ([fabien.rinaldi@edf.fr](mailto:fabien.rinaldi@edf.fr)),  
Matthieu LE-LAY,  
Laurent CORON

Colloque SHF 2023  
Prévision des crues et des inondations

# Sensibilité des résultats au tirage aléatoire

## SENSIBILITE DES RESULTATS AU TIRAGE ALEATOIRE :

- Simulations de prévisions du 01/05/2023 au 30/05/2023
- 30 répétitions par jour (900 prévisions en tout)
- Comparaison en relatif des informations statistiques (min, moyenne, max) par rapport à la moyenne de tous les ensembles



Pourcentage d'écart par rapport à la moyenne des ensembles en fonction des échéances. Simulation de 30 expériences du 01/05/2023 au 30/05/2023

## RESULTATS :

**La méthode d'échantillonnage induit peu de variance dans l'écart type des distributions.**

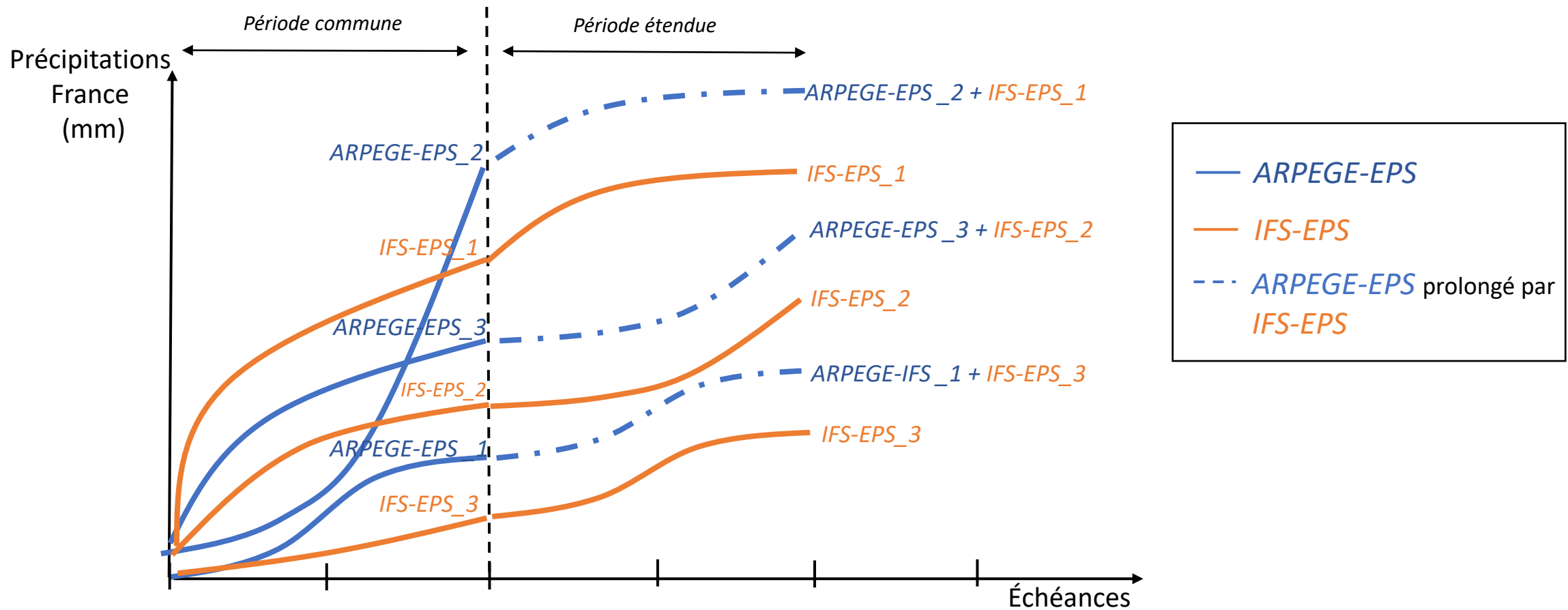
# Méthodologie : A - Construction de scénarios de prévisions météorologiques sans coutures à 28 jours

PROLONGATION des modèles (« raboutage ») :

- méthode de rang sur les précipitations France par modèle météorologique

(Ensemble Copula Coupling, Schefzik et al. 2013)

Exemple de prolongation du modèle ARPEGE-EPS par le modèle IFS-EPS





# Combinaison des modèles pour la prolongation

## Modeles EPS

Modèle initial	Modèle final	membres	Portée (heures)	Nom modèle étendu
IFS-EPS	IFS-EPS + IFS-EPS-Extended	50	672	IFS-EPS(*)
ARPEGE-EPS	IFS-ARPEGE + IFS-EPS + IFS-EPS-Extended	35	672	ARPEGE-EPS(*)
AROME-EPS	AROME-EPS + ARPEGE-EPS + IFS-EPS + IFS-EPS-Extended	16	672	AROME-EPS(*)
CLIM	CLIM	50	672	CLIM

## Modeles HRES

Modèle initial	Modèle final	membres	Portée (heures)	Nom modèle étendu
IFS	IFS-HRES + moyenne (IFS-EPS*)	1	672	IFS-HRES(*)
ARPEGE	ARPEGE-HRES + IFS-HRES+ moyenne (IFS-EPS*)	1	672	ARPEGE-HRES(*)
AROME	AROME-HRES + ARPEGE-HRES + IFS-HRES + moyenne (IFS-EPS*)	1	672	AROME-HRES(*)

- Les sources de prévisions sont associées telles que décrites dans les tableaux ci-dessus
- 154 scénarios sans coutures jusqu'à J+28