

Projet ANR-08-RISK-03-01

Prédétermination des valeurs extrêmes de pluies et de crues (EXTRAFLO)

Programme RISKNAT 2008

Tâche III : Inter-comparaison des méthodes probabilistes

Rapport III.4 « *Comparaison des méthodes purement
régionales pour l'estimation des crues extrêmes* »

Date : Septembre 2012

Rapport réalisé par :

⁽¹⁾ Irstea, Centre de Lyon HHL Y

Avec la participation de :

⁽²⁾ Irstea, Centre d'Aix-en-Provence, OHAX

Auteurs :

B. Renard¹, P. Arnaud², K. Kochanek¹, T. Cipriani¹, E. Sauquet¹, M. Lang¹



SOMMAIRE

1. Introduction	4
2. Implémentations évaluées	4
3. Données utilisées et décompositions pour la justesse et la stabilité	5
3.1. Données utilisées	5
3.2. Décompositions pour la justesse	6
3.3. Décompositions pour la stabilité	6
4. Résultats	7
4.1. Différences constatées entre les implémentations	7
4.2. Comparaison de la justesse des implémentations	10
4.3. Comparaison de la stabilité des implémentations	10
4.4. Impact de la région hydro-géo-climatique	11
4.5. Influence du Krigeage	11
5. Résumé : tableau des scores	12
6. Conclusions et recommandations	14
7. Références	15

1. Introduction

L'objectif de l'action 4 est de comparer des implémentations dites « purement régionales », possédant les propriétés suivantes :

- Elles visent à estimer la distribution des crues en un site non jaugé
- Elles n'utilisent donc aucune donnée de débit au site cible.

2. Implémentations évaluées

Le Tableau 1 résume les implémentations évaluées, qui appartiennent à trois familles de méthodes d'estimation :

- La famille des approches de type « indice de crue » : après division par un facteur d'échelle (« l'indice de crue »), les données sont supposées issues d'une même loi régionale adimensionnelle. L'estimation en site non jaugé est effectuée en établissant une régression entre l'indice de crue estimé en chaque site et les caractéristiques des bassins versants. Plusieurs variantes sont étudiées, incluant diverses distributions et l'utilisation ou non du krigeage des résidus (cf. le rapport II.2 pour les détails techniques de chaque implémentation).
- La régionalisation des paramètres. Le principe est d'estimer la distribution sur un ensemble de sites instrumentés, puis de chercher des relations entre les paramètres estimés localement et les caractéristiques des bassins versants, via une régression. Cette régression est ensuite utilisée pour prédire les paramètres au site cible non instrumenté. Comme précédemment, plusieurs variantes sont étudiées (cf. le rapport II.2 pour les détails techniques).
- La méthode SHYREG, qui couple un générateur de pluie avec un modèle pluie-débit (cf. le rapport II.2 pour les détails techniques).

Tableau 1. Liste des compétiteurs. Les éléments en rouge sont les notations utilisées dans la suite de ce rapport pour désigner les implémentations évaluées.

Famille	Distributions	Krigeage des résidus	Régressions
Loi régionale adimensionnelle (indice de crue)	Gumbel (GUM), GEV (GEV)	Oui (KRI), non (NOK)	Régression sur l'indice de crue (IF).
Régionalisation des paramètres	Gumbel (GUM), GEV (GEV)	Oui (KRI), non (NOK)	1. Régressions individuelles sur tous les paramètres (IR). 2. [GEV seulement] Régressions individuelles sur les paramètres de position et d'échelle, mais le paramètre de forme est supposé constant au sein de la région (XR).
SHYREG	/	/	/

Pour les deux premières familles utilisant la régression, les covariables utilisées ont été sélectionnées suite aux travaux de *Cipriani et al.* [2012] : il s'agit de la superficie du bassin versant, de la densité du réseau hydrographique, de la pluie décennale en 24h et de l'altitude moyenne. De plus, des régressions distinctes sont établies pour chaque région hydro-géo-climatique. Ces régions correspondent aux hydro-éco-régions définies par *Wasson et al.* [2004], modulo quelques regroupements visant à éviter des régions quasiment vides de toute station. La Figure 1 cartographie ces covariables.

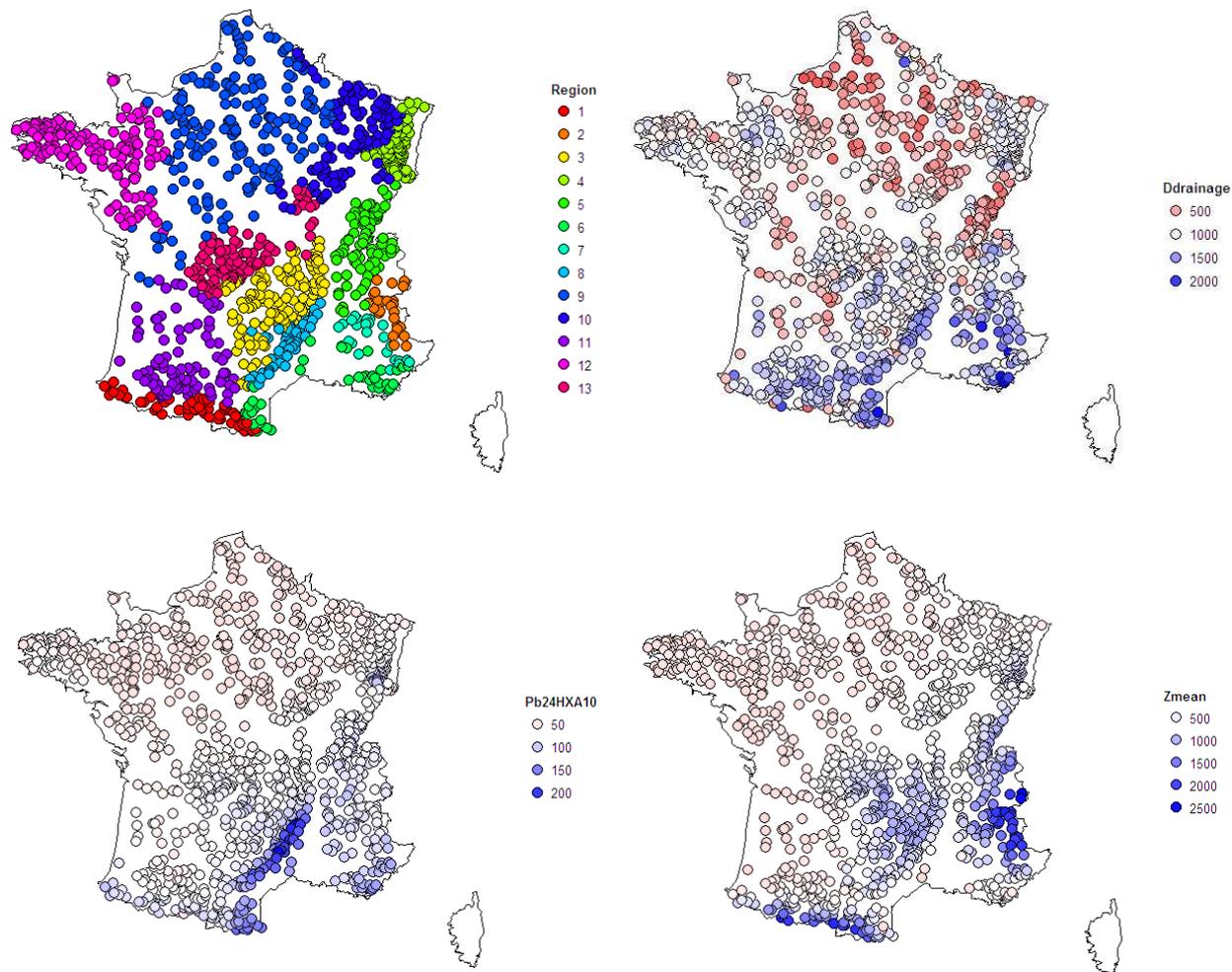


Figure 1. Cartographie des covariables : région hydro-géo-climatique, Densité de drainage, pluie décennale en 24 heures et altitude moyenne.

3. Données utilisées et décompositions pour la justesse et la stabilité

3.1. Données utilisées

Des chroniques de débits journaliers longues d'au moins 20 ans et correspondant à des tailles de bassins comprises entre 10 et 2000 km² ont été extraites du jeu de données EXTRAFLO. La Figure 2 montre la répartition géographique des 1076 stations hydrométriques correspondantes.

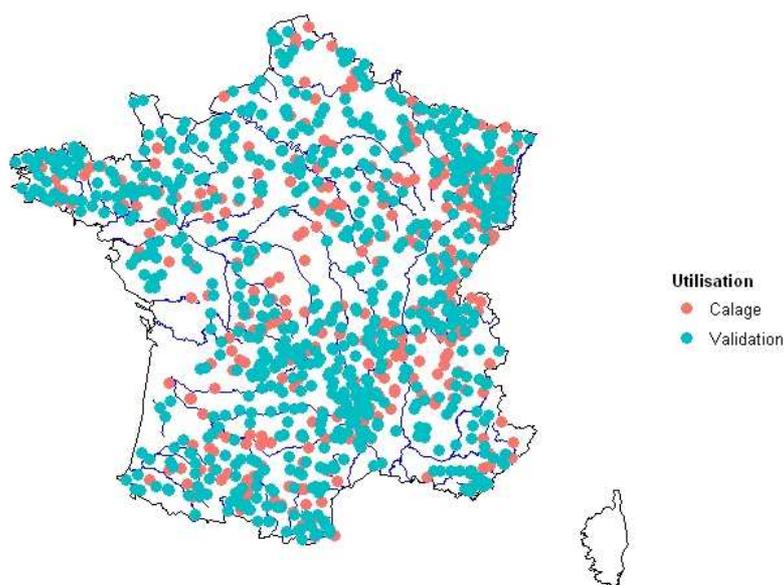


Figure 2. Données utilisées pour l'action 4 (chroniques supérieures à 20 ans, bassins entre 10 et 2000 km²). La couleur correspond à la décomposition en calage-validation (cf. section 3.2).

3.2. Décompositions pour la justesse

Les méthodes purement régionales ayant pour but l'estimation en site non jaugé, la décomposition en calage/validation (C/V) doit donc être spatiale. La Figure 3 illustre une telle décomposition. Chaque bâtonnet représente une station, chaque carré une année de mesure. En pratique, la décomposition C/V est effectuée comme suit :

- On fixe le pourcentage p de stations utilisées pour le calage, le complément étant réservé à la validation. On prendra ici $p = 33\%$ (C33V66, représenté en Figure 2).
- Les stations de calage sont tirées au hasard.

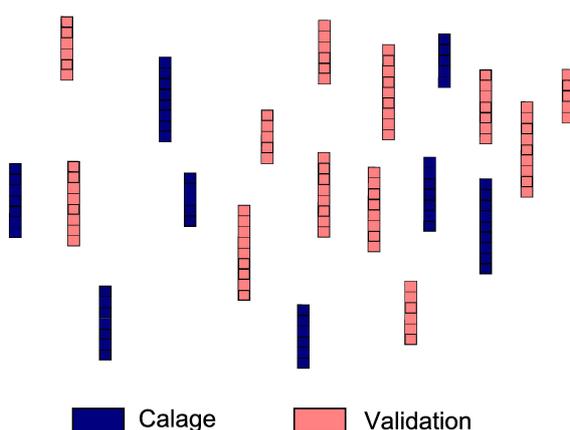


Figure 3. Décomposition C/V pour l'action 4. Dans cette représentation schématique, chaque barre verticale représente une station, et est formée de carrés représentant les années de données disponibles. Le choix des stations de calage et de validation est aléatoire.

3.3. Décompositions pour la stabilité

La décomposition pour la stabilité consiste simplement à choisir aléatoirement un pourcentage p des stations pour constituer le jeu C1, et le même pourcentage p pour le jeu C2 (les jeux C1 et C2 étant disjoints, cf. Figure 4). Les caractéristiques du tirage aléatoire sont identiques à la

description en section précédente 3.2. On prendra ici $p = 25\%$ (C1C2_MediumDensity). Précisons qu'afin de se placer dans un contexte non-jaugé, la stabilité sera quantifiée sur les stations n'appartenant ni à C1, ni à C2 (i.e. les 50% des stations disponibles complémentaires à C1+C2).

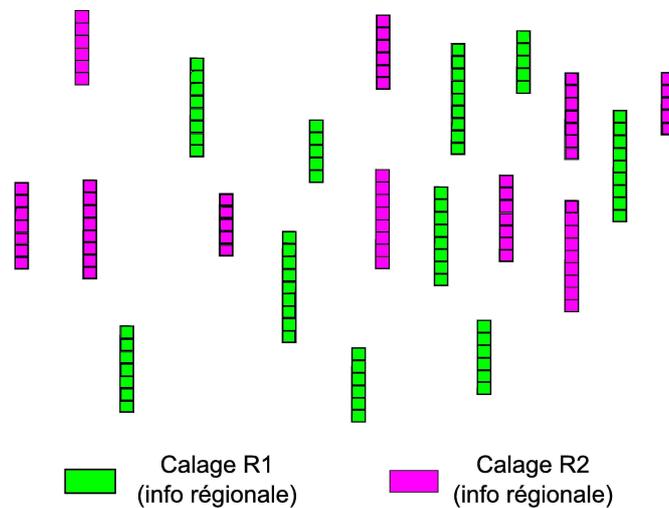


Figure 4. Décomposition C1/C2 pour les méthodes purement régionales. La représentation est similaire à celle utilisée en Figure 3.

4. Résultats

4.1. Différences constatées entre les implémentations

Avant de comparer les implémentations candidates en termes de justesse et stabilité, nous illustrons les différences constatées sur l'estimation de quelques quantiles caractéristiques. La Figure 5 compare ainsi les quantiles décennaux estimés par chaque implémentation avec le quantile décennal d'une loi de Gumbel estimée par l'indice de crue avec krigeage des résidus (GUM_IF_KRI), considéré ici comme une référence.

La Figure 5 montre que les estimations diffèrent nettement de la référence pour presque toutes les implémentations, avec des différences dépassant localement $\pm 100\%$. Ces différences ne sont que peu structurées spatialement. L'exception concerne l'implémentation GEV_IF_KRI, qui utilise également l'indice de crue avec krigeage des résidus mais appliqué à une loi GEV, pour laquelle les différences ne dépassent pas $\pm 20\%$. Ce résultat suggère que la gestion de la régression a plus d'impact sur l'estimation des quantiles décennaux que le choix de la distribution.

La Figure 6 montre les écarts à la référence pour les quantiles centennaux. Les résultats sont similaires à ceux observés pour les quantiles décennaux. On remarque cependant que les deux variantes de l'indice de crue appliqué à une loi GEV (avec et sans krigeage, GEV_IF_KRI et GEV_IF_NOK) conduisent à des estimations systématiquement supérieures à la référence utilisant une loi de Gumbel dans le sud-est du pays. Les quantiles centennaux issus de SHYREG semblent également systématiquement plus élevés que la référence sur le pourtour Méditerranéen.

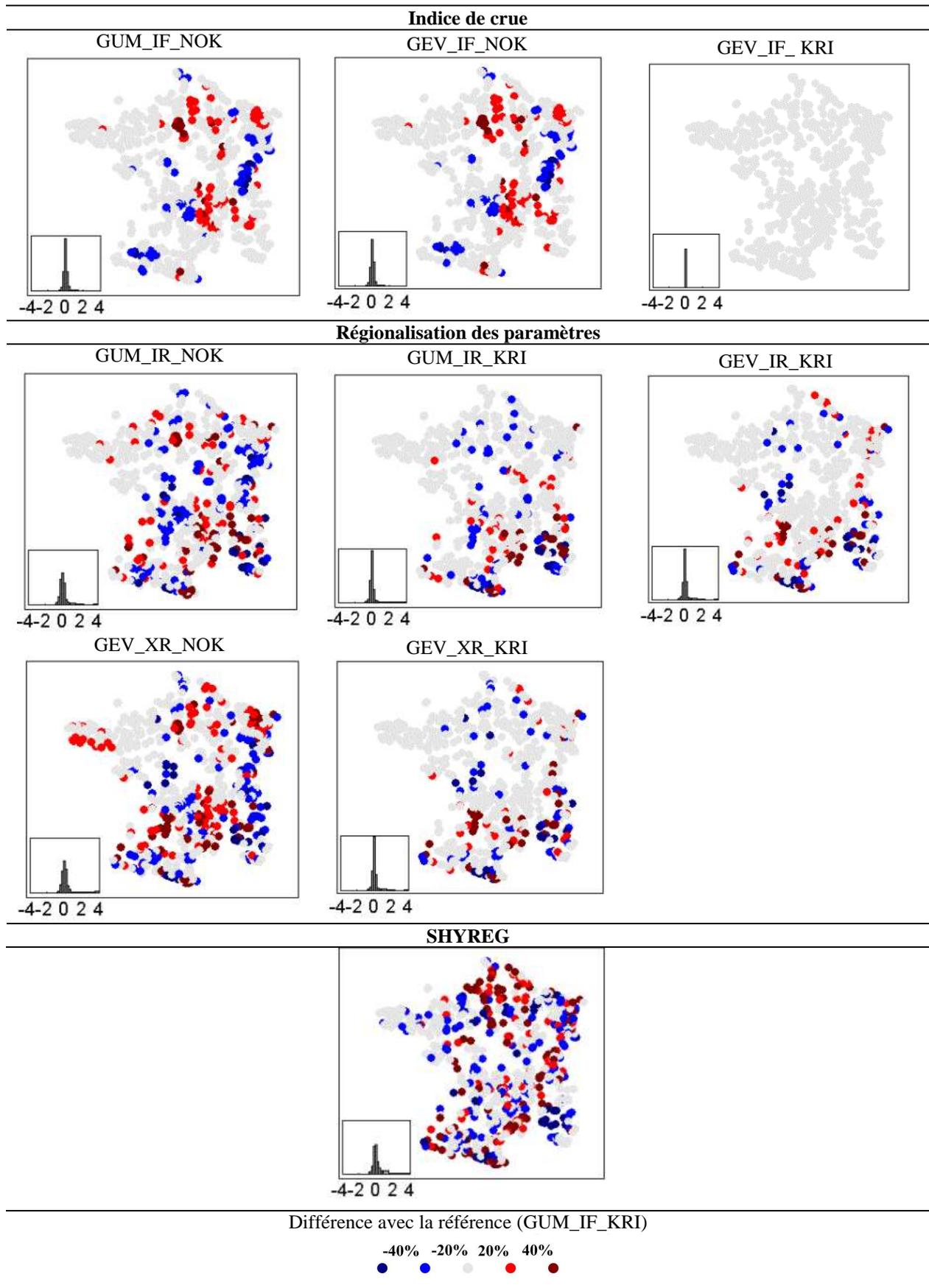


Figure 5. Estimation des quantiles décennaux : différence avec l'estimation par l'indice de crue d'une loi de Gumbel (GUM_IF_KRI). L'insert dans chaque carte représente l'histogramme des différences relatives ((implémentation - référence)/référence).

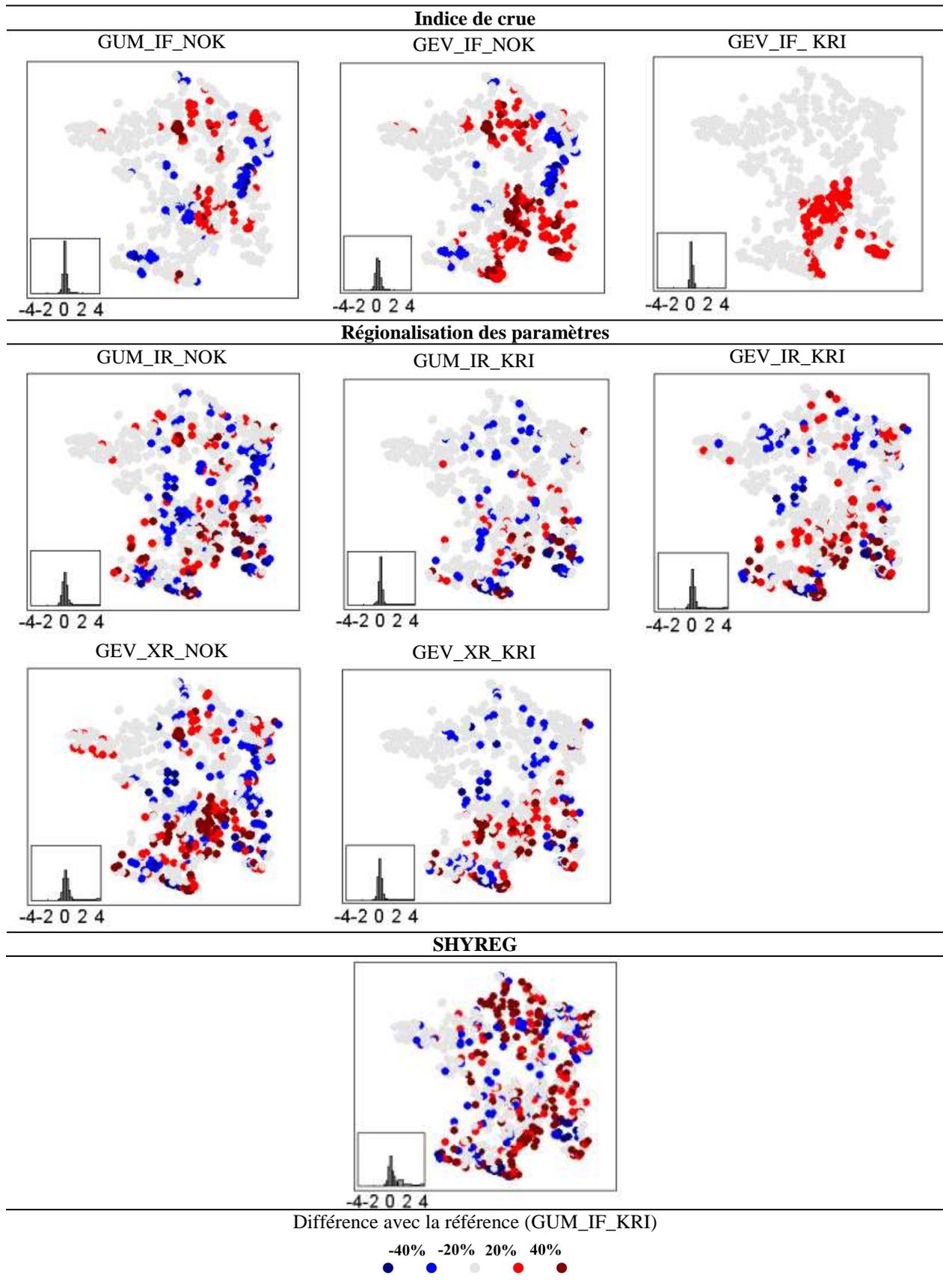


Figure 6. Estimation des quantiles centennaux : différence avec l'estimation par l'indice de crue d'une loi de Gumbel (GUM_IF_KRI). L'insert dans chaque carte représente l'histogramme des différences relatives ((implémentation - référence)/référence).

4.2. Comparaison de la justesse des implémentations

La Figure 7 compare la justesse des implémentations sur la base des indices FF , N_{10} et N_{100} . Par souci de simplicité, seules les implémentations utilisant le krigeage des résidus sont incluses (une évaluation spécifique du rôle du krigeage sera effectuée en section 4.5). De plus, les estimations centrales sont utilisées (en mode validation). Rappelons que cela revient à utiliser la « meilleure estimation » comme prédicteur, mais en ignorant les incertitudes d'estimation.

L'ensemble des indices suggère qu'aucune des implémentations évaluées n'atteint une justesse satisfaisante. De plus, en dépit des différences importantes entre les estimations décrites en section 4.1, les diagnostics de justesse sont très similaires.

Malgré ces justesses globalement médiocres, on peut tenter d'établir un classement des implémentations : la méthode SHYREG apparaît comme la plus juste (indice FF en Figure 7), suivi par l'estimation d'une loi GEV avec l'indice de crue (GEV_IF_KRI). Les implémentations utilisant une loi de Gumbel (couleurs bleutées en Figure 7) semblent légèrement moins justes.

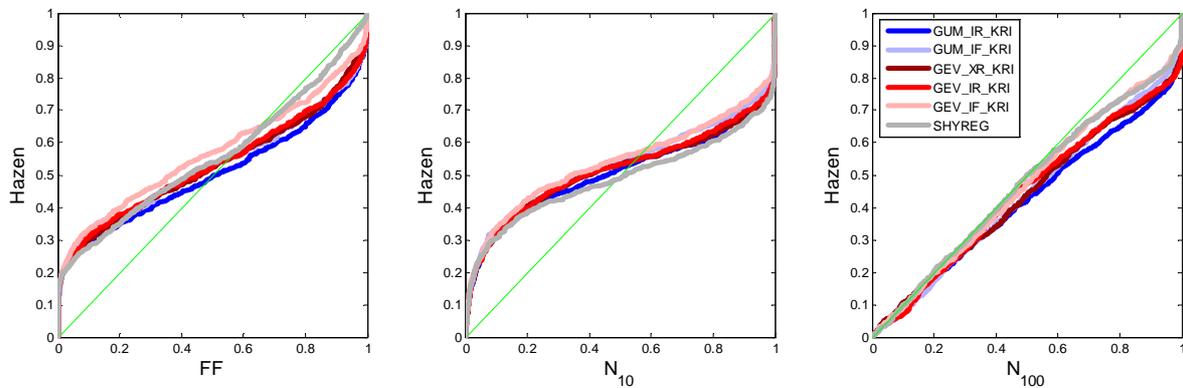


Figure 7. Indices de justesse (Décomposition : C33V66, validation, estimation centrale).

4.3. Comparaison de la stabilité des implémentations

La Figure 8 permet de comparer la stabilité des implémentations. Comme pour la justesse, les diagnostics de stabilité sont similaires, à l'exception de SHYREG qui présente une stabilité bien supérieure aux autres implémentations. Il semble également que les implémentations GEV_IF_KRI et GEV_XR_KRI soient légèrement moins stables.

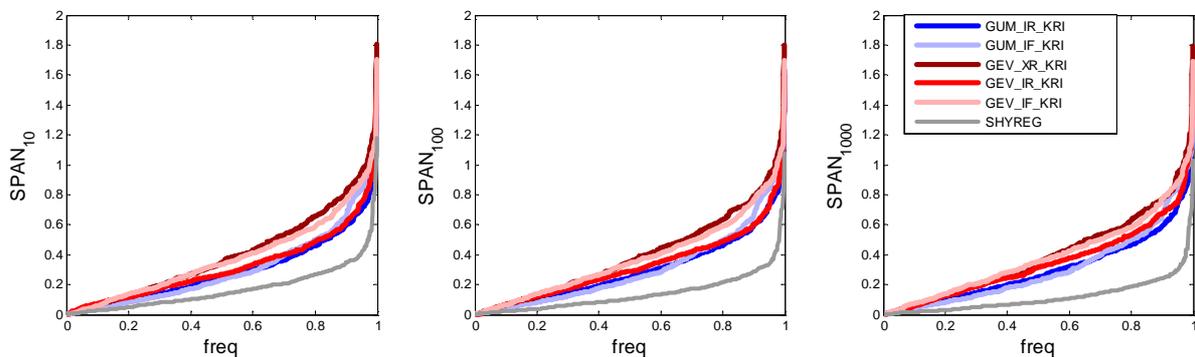


Figure 8. Indices de stabilité (Décomposition : C1C2_MediumDensity, estimation centrale).

4.4. Impact de la région hydro-géo-climatique

Une analyse stratifiée par région hydro-géo-climatique permet de préciser ces conclusions. La Figure 9 présente ainsi les graphiques de justesse pour les bassins méditerranéens (première ligne) et océaniques (seconde ligne). Dans le premier cas, l'implémentation GEV_IF_KRI (indice de crue pour une loi GEV avec krigeage des résidus) semble légèrement plus fiable que les autres implémentations pour les critères FF et N_{100} . On notera également une tendance à la sur-estimation pour SHYPRE sur ces mêmes critères. Néanmoins, en région océanique, toutes les implémentations présentent une justesse comparable (et non satisfaisante).

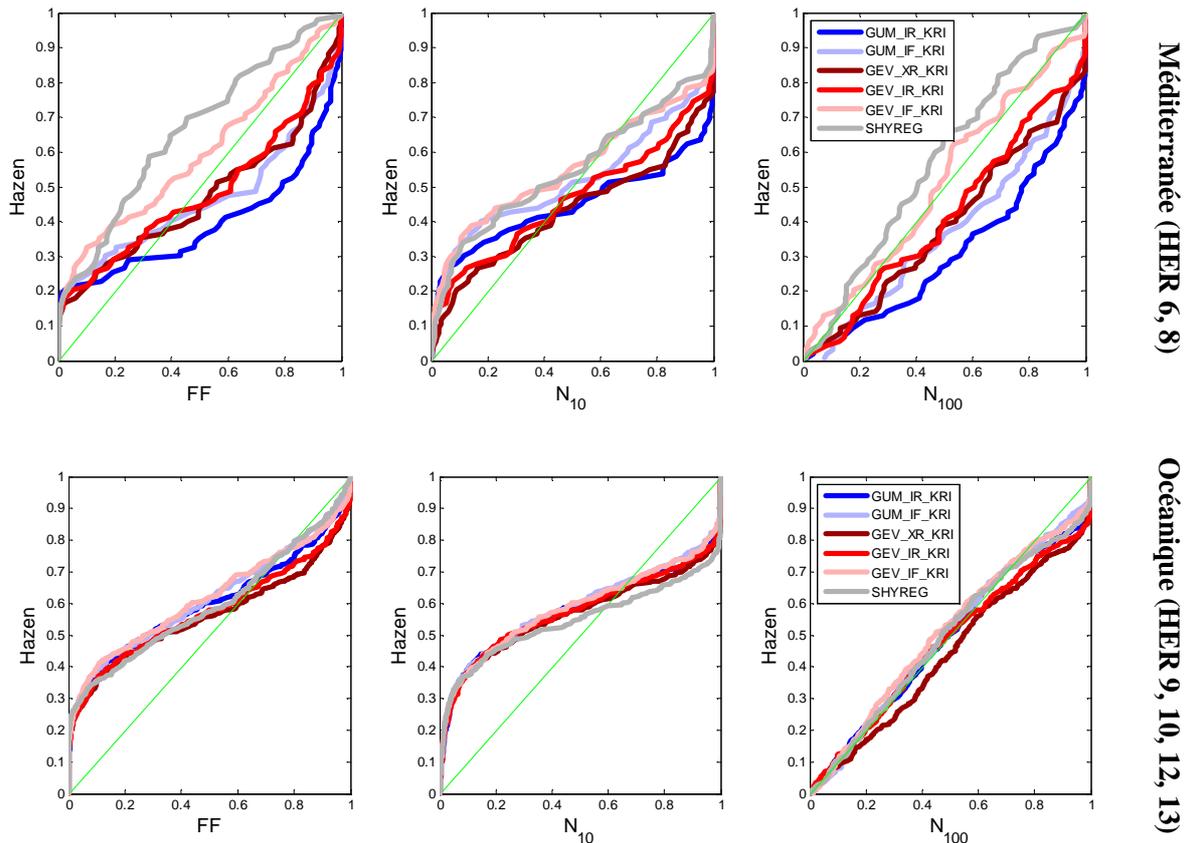


Figure 9. Indices de justesse pour les bassins méditerranéens et océaniques (Décomposition : V66C33, validation, estimation centrale).

4.5. Influence du Krigeage

La Figure 10 compare la justesse de l'ensemble des implémentations au sein de la famille « méthodes par régression », y compris celles n'utilisant pas le krigeage des résidus. Comme précédemment, toutes les implémentations conduisent à des critères similaires pour l'estimation centrale (première ligne, avec ou sans krigeage). Par contre, la justesse des distributions prédictives diffère très nettement suivant que le krigeage des résidus est utilisé ou non (seconde ligne, les traits fins désignant les implémentations sans krigeage). Plus précisément, la forme des courbes suggère que les distributions prédictives avec krigeage (traits épais, Figure 10, second ligne) ont une tendance à la sur-estimation systématique, alors que les distributions prédictives sans krigeage (traits fins, Figure 10, second ligne) semblent générer à la fois des sous- et des sur-estimations.

Il semble donc que le krigeage des résidus ait un impact important sur la perception des incertitudes dans les approches régionales. Signalons néanmoins que la justesse reste non satisfaisante dans tous les cas de figure.

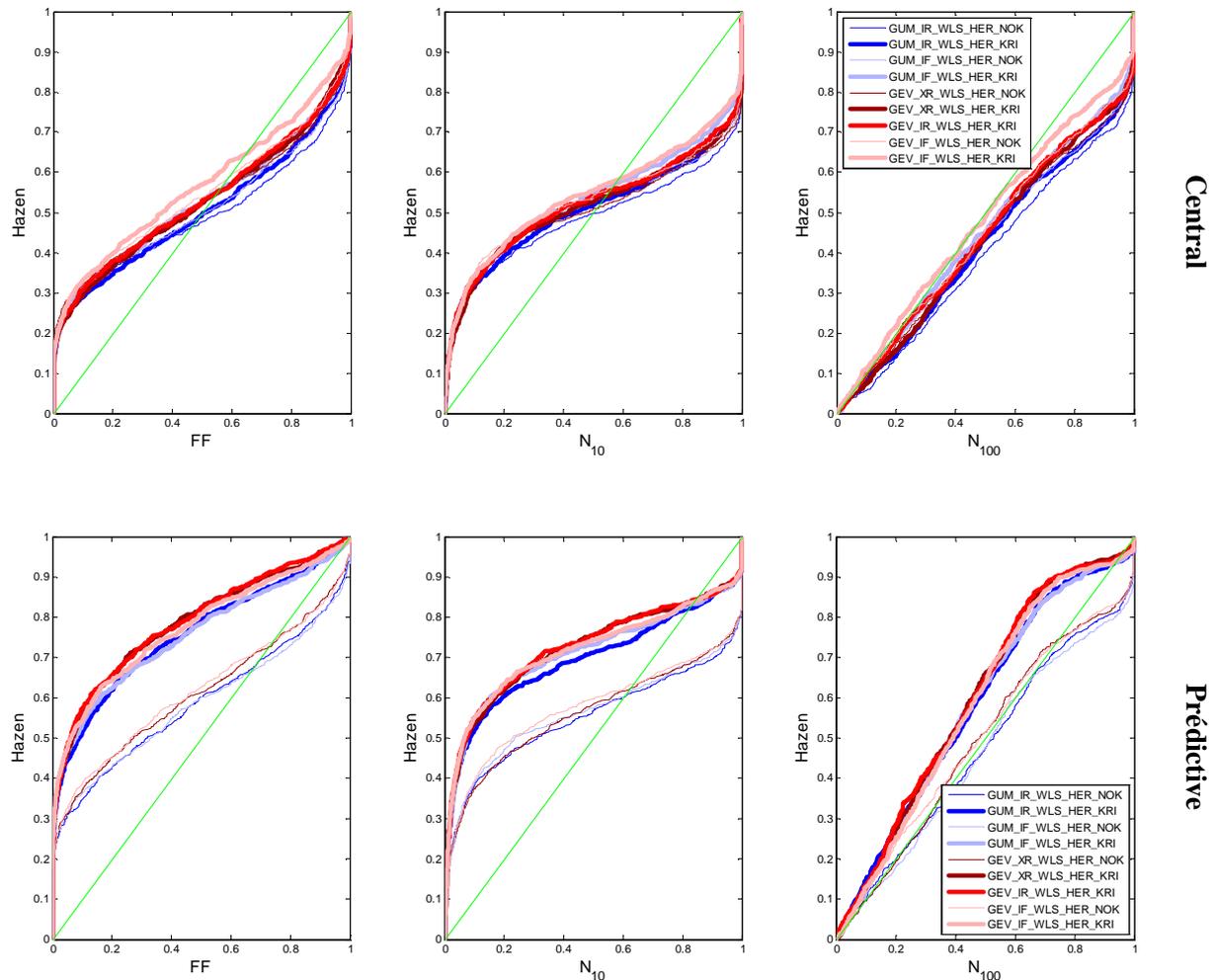


Figure 10. Indices de justesse pour l'estimation centrale et la distribution prédictive (Décomposition : V66C33, validation).

5. Résumé : tableau des scores

Le Tableau 2 et la Figure 11 résumant de manière synthétique les performances des implémentations évaluées, sur la base des scores de justesse et de robustesse. En particulier, la Figure 11 confirme que la méthode SHYREG présente globalement les meilleures performances, en justesse comme en stabilité. On peut également remarquer que les implémentations sans krigeage des résidus sont globalement plus stables, et ont des scores de justesse plus élevés pour la distribution prédictive. Cette dernière observation doit néanmoins être pondérée par les résultats illustrés en Figure 10 : le résultat le plus marquant est en effet que les distributions prédictives ont des comportements de nature très différente (surestimation systématique avec krigeage, erreurs aléatoires sans krigeage – voir également le rapport II « *Méthodologie de Comparaison* » pour une discussion sur les limites des scores pour décrire les différences entre implémentations).

Tableau 2. Scores de justesse et de stabilité pour l'ensemble des implémentations évaluées.

Justesse: C33V66						
	Centrale			Prédictive		
	FF	N10	N100	FF	N10	N100
GUM_IR_NOK	0.74	0.70	0.79	0.75	0.70	0.94
GUM_IR_KRI	0.78	0.72	0.83	0.49	0.58	0.83
GUM_IF_NOK	0.76	0.69	0.85	0.74	0.68	0.92
GUM_IF_KRI	0.78	0.73	0.87	0.49	0.55	0.86
GEV_XR_NOK	0.76	0.69	0.86	0.73	0.70	0.93
GEV_XR_KRI	0.79	0.71	0.85	0.43	0.53	0.82
GEV_IR_KRI	0.78	0.72	0.88	0.43	0.52	0.77
GEV_IF_NOK	0.77	0.70	0.90	0.72	0.68	0.95
GEV_IF_KRI	0.78	0.72	0.92	0.45	0.54	0.81
SHYREG	0.84	0.72	0.94	0.84	0.72	0.94

Stabilité: C1C2_MediumDensity						
	Centrale			Prédictive		
	SPAN ₁₀	SPAN ₁₀₀	SPAN ₁₀₀₀	SPAN ₁₀	SPAN ₁₀₀	SPAN ₁₀₀₀
GUM_IR_NOK	0.88	0.87	0.87	0.84	0.84	0.84
GUM_IR_KRI	0.85	0.85	0.85	0.83	0.82	0.79
GUM_IF_NOK	0.82	0.82	0.82	0.87	0.87	0.86
GUM_IF_KRI	0.85	0.85	0.85	0.83	0.81	0.78
GEV_XR_NOK	0.84	0.85	0.86	0.86	0.87	0.86
GEV_XR_KRI	0.80	0.80	0.80	0.83	0.82	0.79
GEV_IR_KRI	0.84	0.84	0.83	0.82	0.81	0.79
GEV_IF_NOK	0.85	0.86	0.87	0.87	0.87	0.86
GEV_IF_KRI	0.81	0.81	0.81	0.83	0.81	0.79
SHYREG	0.92	0.93	0.94	0.92	0.93	0.94

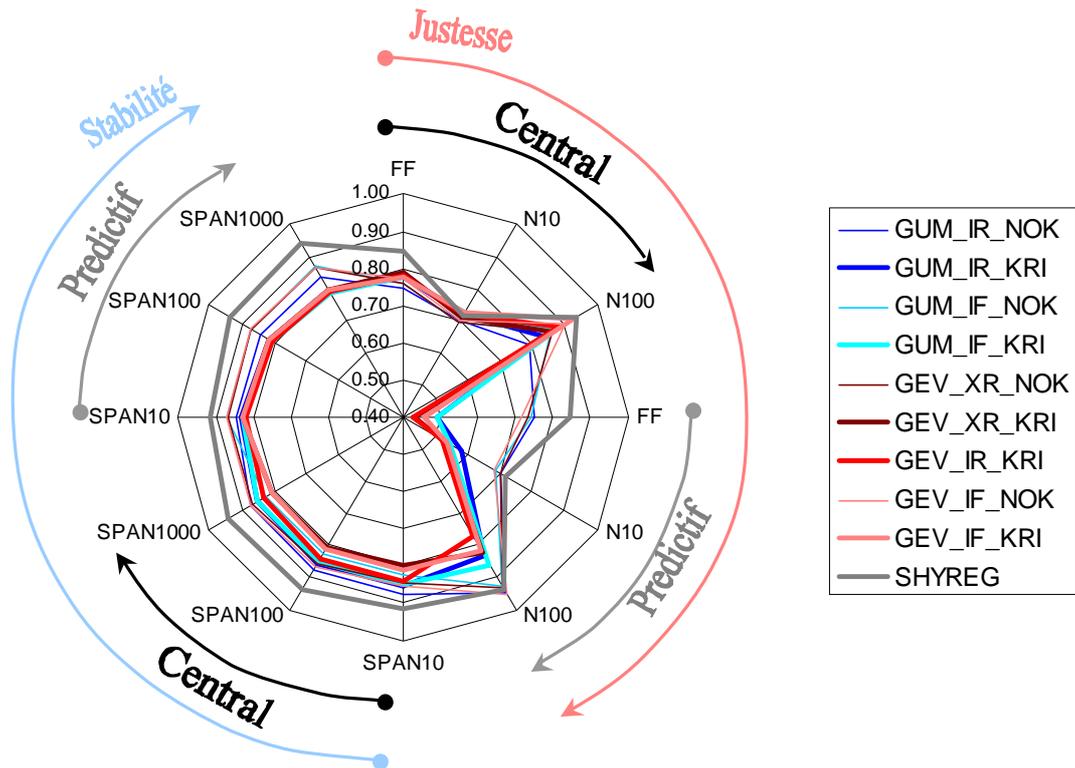


Figure 11. Résumé des performances pour toutes les implémentations, en justesse et stabilité.

6. Conclusions et recommandations

Les principales conclusions que l'on peut tirer de l'action 4 sont les suivantes :

- La justesse des approches purement régionales reste globalement faible comparée à ce que l'on obtient avec une approche locale (cf. action 2) ou locale-régionale (cf. action 6).
- En site non jaugé, les meilleurs résultats sont néanmoins obtenus avec SHYREG, qui est de loin l'implémentation la plus stable et qui globalement est légèrement plus juste que les autres implémentations (cette justesse restant malheureusement médiocre).
- En zone méditerranéenne, SHYREG semble avoir une tendance à la sur-estimation. L'estimation régionale d'une loi GEV avec l'approche de l'indice de crue semble légèrement plus juste dans cette zone.
- Au sein de la famille des approches par régression :
 - Les choix effectués pour la gestion de la régression (quel modèle, krigeage des résidus ou non) ont un impact important sur les quantiles estimés, mais sans qu'il soit possible de déterminer quels choix conduisent à des prédictions plus justes ou plus stables.
 - En zone méditerranéenne, l'approche de l'indice de crue appliquée à une loi GEV améliore la justesse des prédictions. L'utilisation d'une loi de Gumbel est donc déconseillée.
 - L'établissement de régressions pour expliquer les paramètres d'une loi GEV locale donne de moins bons résultats qu'une approche de type « indice de crue ».
 - Le krigeage des résidus ne modifie que marginalement la justesse des estimations centrales, mais modifie considérablement celle des distributions prédictives.

7. Références

- Cipriani, T., T. Toilliez, and E. Sauquet (2012).** Estimating 10 year return period peak flows and flood durations at ungauged locations in France, *La Houille Blanche*, n°4-5, 5-13
- Wasson, J. G., A. Chandesris, H. Pella, and L. Blanc (2004).** Les hydro-écorégions: une approche fonctionnelle de la typologie des rivières pour la directive cadre européenne sur l'eau, *Ingénieries*, 40, 3-10.