

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.6 « *Comparaison des méthodes locales-
régionales pour l'estimation des crues extrêmes* »

Date : Septembre 2012

Rapport réalisé par :

⁽¹⁾ Irstea, Centre de Lyon HHLY

Avec la participation de :

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

Auteurs :

B. Renard¹, K. Kochanek¹, P. Arnaud², 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	5
3.3. Décompositions pour la stabilité	6
4. Résultats	7
4.1. Différences constatées entre les implémentations	7
4.2. Justesse et stabilité	9
4.2.1. A propos de l'hypothèse de l'indice de crue	9
4.2.2. Quelle approche pour une distribution de Gumbel ?	10
4.2.3. Quelle approche pour une distribution GEV ?	11
4.2.4. Quelle approche pour un site non jaugé ?	12
4.2.5. Quelle approche pour une estimation locale pure ?	13
4.2.6. Quelle approche mixte locale-régionale?	13
4.2.7. Quel est l'effet de la longueur de l'information locale ?	16
5. Résumé : tableau des scores	17
6. Conclusions et recommandations	18
7. Références	19

1. Introduction

L'objectif de l'action 6 est de permettre la comparaison de toutes les implémentations, qu'elles soient purement locales, purement régionales ou mixtes locales-régionales.

2. Implémentations évaluées

Le Tableau 1 résume les implémentations évaluées, qui représentent les approches purement locales, purement régionales ou mixtes locales-régionales:

- Au sein des méthodes purement locales, seules les distributions de Gumbel et GEV sont utilisées, avec une estimation Bayésienne (cf. rapport Action 2). SHYPRE est utilisé dans sa version locale (cf. version SHYREG-local dans le rapport II.2 pour les détails techniques de chaque implémentation).
- Au sein des méthodes purement régionales, seules certaines méthodes présentées dans le rapport de l'action 4 sont utilisées (cf. Tableau 1). Dans tous les cas le krigeage des résidus a été effectué (cf. le rapport II.2 pour les détails techniques). La méthode SHYREG est également utilisée locale (cf. version SHYREG-régional dans le rapport II.2).
- Au sein des méthodes mixtes locales-régionales, les mêmes approches purement régionales sont réutilisées, mais sont combinées avec les données locales via une analyse Bayésienne (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 (par exemple, REG_GEV_IF désigne l'estimation régionale d'une loi GEV en utilisant la méthode de l'indice de crue).

Type	Famille	Distributions	Détails
Purement régional (REG)	Loi régionale adimensionnelle (indice de crue)	Gumbel (GUM), GEV (GEV)	Régression sur l'indice de crue (IF).
	Régionalisation des paramètres	Gumbel (GUM), GEV (GEV)	1. GUM : Régressions individuelles sur tous les paramètres (IR). 2. GEV: 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	/	/
Purement local (LOC)	Ajustement d'une distribution	Gumbel (GUM), GEV (GEV)	Estimation Bayésienne
	SHYPRE	/	/
Mixte local-régional (L+R)	Loi régionale adimensionnelle (indice de crue)	Gumbel (GUM), GEV (GEV)	Régression sur l'indice de crue (IF).
	Régionalisation des paramètres	Gumbel (GUM), GEV (GEV)	1. GUM : Régressions individuelles sur tous les paramètres (IR). 2. GEV: Régressions individuelles sur les paramètres de position et d'échelle, mais le paramètre de forme est supposé constant au sein de la région (XR).

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 1 montre la répartition géographique des 1076 stations hydrométriques correspondantes.

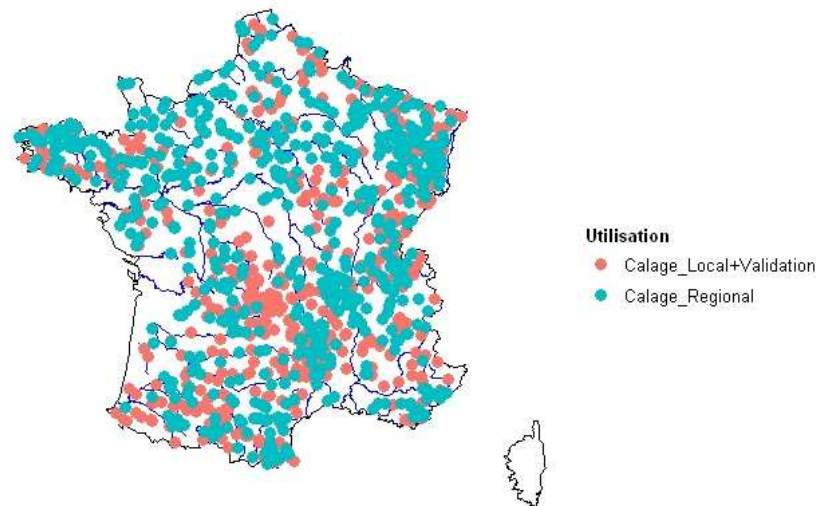


Figure 1. Données utilisées pour l'action 6 en débit journalier (chroniques supérieures à 20 ans, bassins entre 10 et 2000 km²), et décomposition en calage-validation (cf. sections 3.2-3.3).

3.2. Décompositions pour la justesse

L'objectif de l'action 6 étant de comparer toutes les méthodes disponibles, la décomposition en calage/validation (C/V) doit donc être spatiale et temporelle. La Figure 2 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 commence par choisir un ensemble de stations cibles sur lesquelles les estimations sont souhaitées. Les stations possédant plus de 40 années de données sont utilisées ici, soit 483 stations (bâtonnets rouges et bleus en Figure 2, et points rouges en Figure 1).
- Les stations complémentaires, possédant entre 20 et 40 ans de données (593 stations, bâtonnets verts en Figure 2 et points bleus en Figure 1), sont utilisées comme « information régionale ». Cette information est utilisée pour le calage des implémentations purement régionales et mixtes locales-régionales.
- Sur les 483 stations cibles, on choisit aléatoirement un nombre n d'années (carrés bleus en Figure 2) qui sont utilisées comme « information locale ». Cette information est utilisée pour le calage des implémentations purement locales et mixtes locales-régionales. On prendra $n = 10, 15$ et 20 .
- Sur les 483 stations cibles, les données non utilisées comme « information locale » sont utilisées pour la validation (carrés rouges en Figure 2), soit au minimum $40-n$ années de validation par site cible.

Cette décomposition permet de comparer toutes les méthodes (qui utilisent des données de calage différentes) sur exactement les mêmes données de validation.

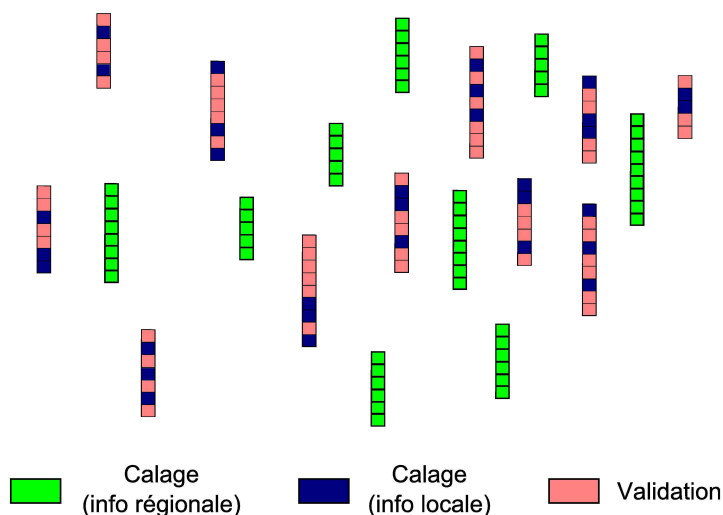


Figure 2. Décomposition C/V pour l'action 6. Dans cette représentation schématique, chaque barre verticale représente une station, et est formée de carrés représentant les années de données disponibles.

3.3. Décompositions pour la stabilité

La première décomposition vise à évaluer la stabilité vis-à-vis de l'information locale (Figure 3) :

- Les 483 stations de plus de 40 ans sont utilisées pour l'information locale (L), tandis que les 593 stations comprenant entre 20 et 40 ans de données sont utilisées pour l'information régionale (R)
- Sur les 483 stations L, n années sont choisies au hasard pour le premier jeu de calage de l'information locale (L1), et n autres années pour le second jeu de calage de l'information locale (L2). On prendra $n = 10, 15$ et 20 .
- Au final, $C1 = R + L1$, et $C2 = R + L2$. Autrement dit, les deux jeux de calage utilisent des informations locales différentes, mais la même information régionale.

Notons que par construction, les méthodes purement régionales seront parfaitement stables sous cette décomposition, puisque l'information régionale est identique dans C1 et C2.

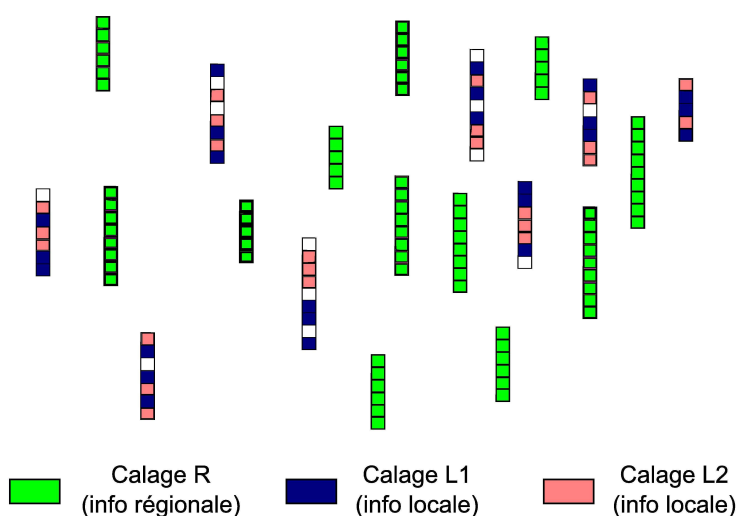


Figure 3. Première stratégie de décomposition C1/C2 (Type I) : stabilité vis-à-vis de l'information locale.

La seconde décomposition vise à évaluer la stabilité vis-à-vis de l'information régionale (Figure 4).

- Les 483 stations de plus de 40 ans sont utilisées pour l'information locale (L), tandis que les 593 stations comprenant entre 20 et 40 ans de données sont utilisées pour l'information régionale (R)
- Sur les 593 stations R, la moitié des stations sont sélectionnées aléatoirement pour constituer le premier jeu de calage de l'information régionale (R1), les stations restantes constituant le second jeu de calage de l'information régionale (R2).
- Au final, $C1 = R1 + L$, et $C2 = R2 + L$. Autrement dit, les deux jeux de calage utilisent des informations régionales différentes, mais la même information locale.

Notons que par construction, les méthodes purement locales seront parfaitement stables sous cette décomposition, puisque l'information locale est identique dans C1 et C2.

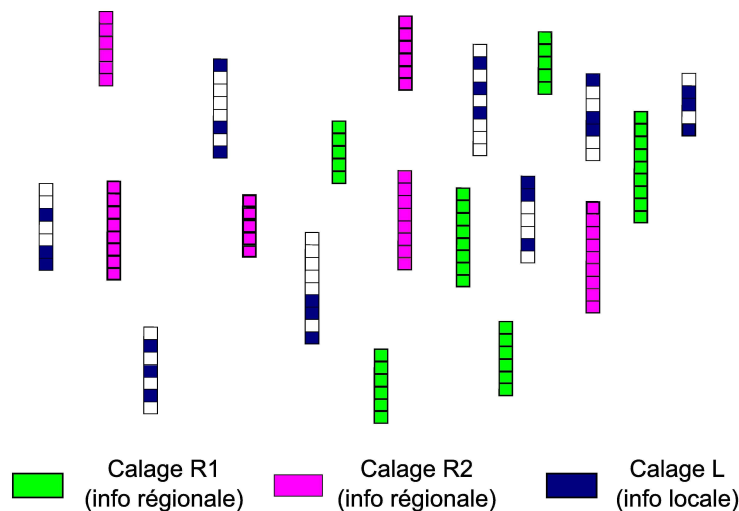


Figure 4. Seconde stratégie de décomposition C1/C2 (Type II) : stabilité vis-à-vis de l'information régionale.

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 GEV estimée par une approche mixte locale-régionale (L+R_GEV_XR), considéré ici comme une référence.

La Figure 5 montre que les estimations locales des lois de Gumbel et GEV, ainsi que SHYPRE, fournissent des quantiles décennaux relativement proches de la référence, les différences n'excédant pas $\pm 20\%$ pour la majorité des stations. A l'inverse, les approches régionales (estimation des lois de Gumbel et GEV ainsi que SHYREG) fournissent des estimations très différentes de la référence (dépassant parfois les $\pm 100\%$). Il est intéressant de noter que les différences ne sont que peu structurées spatialement, et que de plus les cartes sont très proches pour les distributions de Gumbel et GEV et pour SHYREG: ceci suggère que ces différences sont essentiellement liées aux régressions utilisées dans les approches régionales pures, qui ne peuvent pas s'adapter à des effets locaux en l'absence de toute information locale. Enfin, l'estimation locale-régionale d'une loi de Gumbel fournit des

quantiles décennaux très proches de la référence : ceci indique que pour ce niveau de quantile, le choix entre les distribution des Gumbel et GEV n'a qu'un impact marginal.

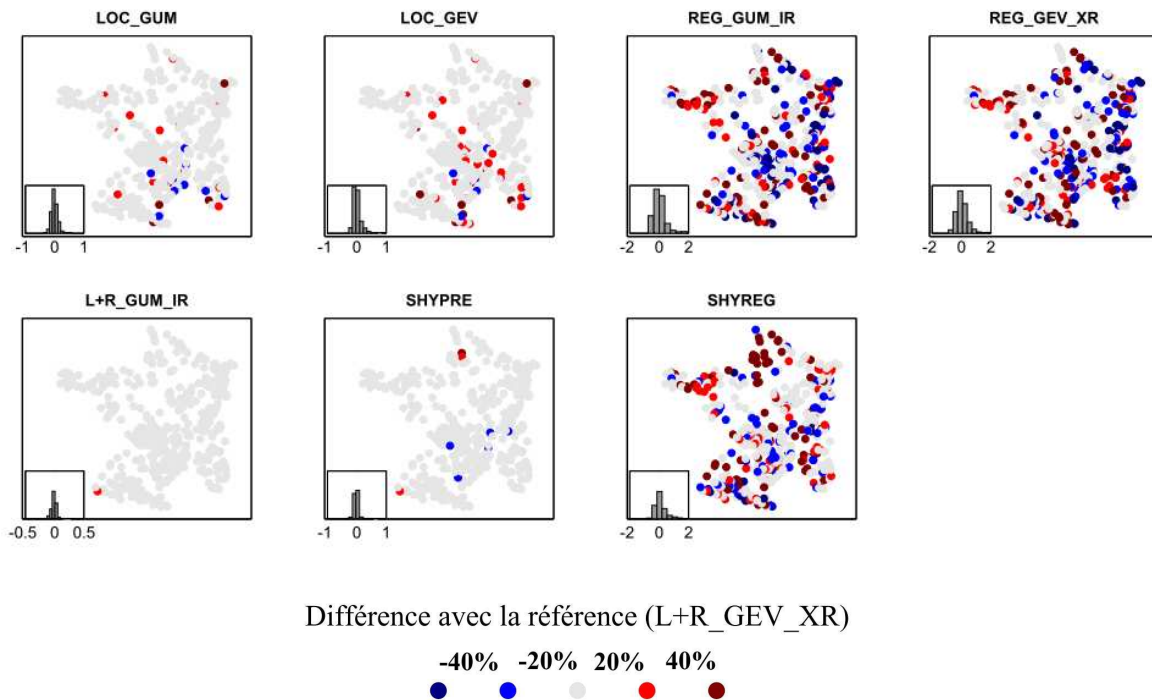


Figure 5. Estimation des quantiles décennaux : différence avec l'estimation locale-régionale d'une loi GEV (L+R_GEV_XR). L'insert dans chaque carte représente l'histogramme des différences relatives ((implémentation -référence)/référence).

La Figure 6 montre les écarts à la référence pour les quantiles centennaux. L'estimation locale d'une loi de Gumbel conduit à des quantiles majoritairement plus faibles que la référence dans la partie sud du pays, mais parfois plus forts au nord. Les écarts sont plus importants pour l'estimation locale d'une loi GEV, avec une structure spatiale moins nette. On notera néanmoins un agglomérat de valeurs positives le long du pourtour Méditerranéen. Pour les approches régionales pures, les résultats sont similaires à ceux observés pour les quantiles décennaux. L'estimation locale-régionale d'une loi de Gumbel conduit à des quantiles en majorité plus faibles que la référence (estimation locale-régionale d'une loi GEV), avec des différences marquées dans la partie sud-est du pays, mais moins importantes ailleurs. Enfin, les écarts à la référence restent modérés pour SHYPRE, même si la structure spatiale de ces écarts suggère de prêter attention à certaines zones (par exemples, les Alpes).

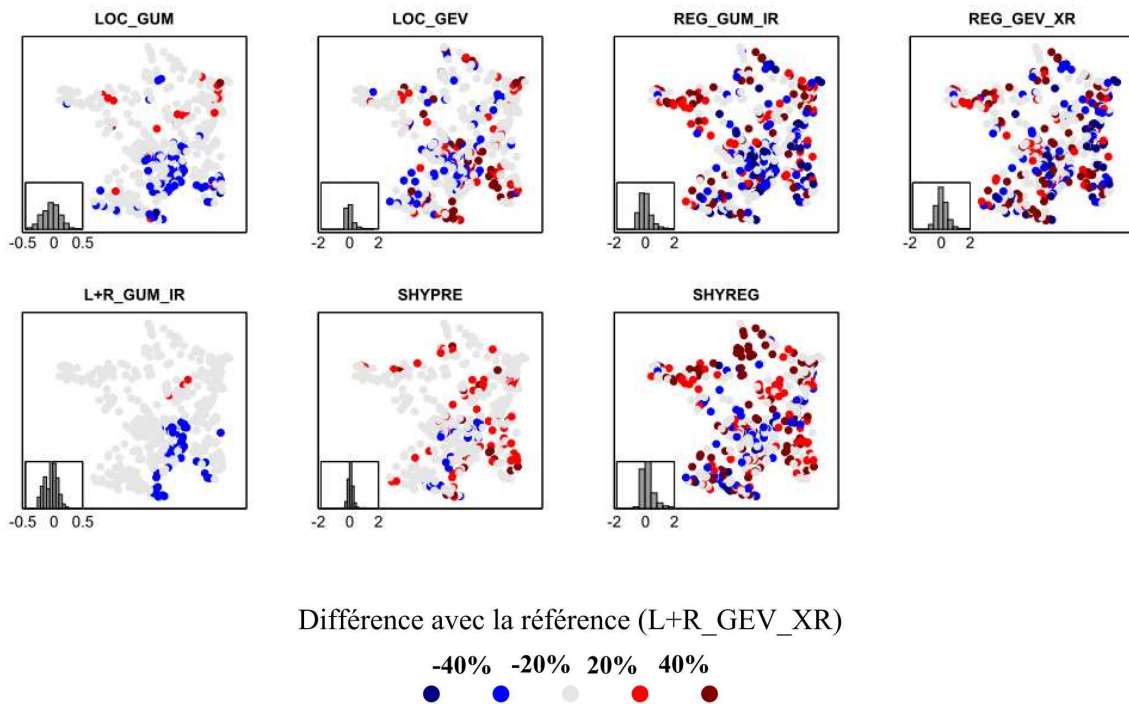


Figure 6. Estimation des quantiles centennaux : différence avec l'estimation locale-régionale d'une loi GEV (L+R_GEV_XR). L'insert dans chaque carte représente l'histogramme des différences relatives ((implémentation -référence)/référence).

4.2. Justesse et stabilité

Etant donné le nombre important d'implémentations comparées dans cette action, les résultats sont organisés suivant la question à laquelle on souhaite répondre. Pour faciliter la lecture des résultats, un code couleur est suivi tout au long de cette section :

- Le bleu correspond à la distribution de Gumbel, le rouge à la distribution GEV et le gris à SHYPRE
- Les couleurs claires (traits épais) correspondent à l'estimation locale pure, les couleurs moyennes (traits épais) correspondent à l'estimation mixte locale-régionale, les couleurs foncées (traits fins) correspondent à l'estimation régionale pure.

Comme dans les autres actions, la justesse est évaluée via les critères FF , N_{10} et N_{100} , tandis que la stabilité est évaluée via les critères $SPAN_{10}$, $SPAN_{100}$ et $SPAN_{1000}$ (cf. le rapport II.1 « *Méthodologie de comparaison* » pour une description détaillée des critères).

4.2.1. A propos de l'hypothèse de l'indice de crue

Les approches régionales et locales-régionales comparées dans la Figure 5 et la Figure 6 utilisent deux régressions distinctes entre : (i) les paramètres de position et d'échelle des lois de Gumbel /GEV ; et (ii) les covariables décrivant les propriétés des bassins versants. Une alternative est de n'utiliser qu'une unique régression sur l'indice de crue, en faisant l'hypothèse supplémentaire que le ratio position/échelle (proportionnel au coefficient de variation) est constant dans l'espace. Les résultats de l'action 4 (cf. rapport) suggéraient que cette dernière approche était préférable pour les estimations purement régionales.

Ce constat n'est néanmoins pas valable pour les estimation mixtes locales-régionales. En effet, bien que ces deux approches conduisent à des justesses comparables (Figure 7), la stabilité vis-à-vis de l'information régionale semble meilleure en utilisant deux régressions

pour les approches locales-régionales (Figure 8), alors qu’au contraire l’utilisation d’une unique régression (indice de crue) semble donner des estimations plus stables pour les méthodes purement régionales. Ce résultat est surtout marqué pour les bassins méditerranéens (représentés en Figure 8), mais reste valable dans une moindre mesure dans les autres régions. En conséquence, les approches régionales et locales-régionales comparées dans la suite de ce rapport n’utiliseront pas l’indice de crue afin de simplifier la présentation.

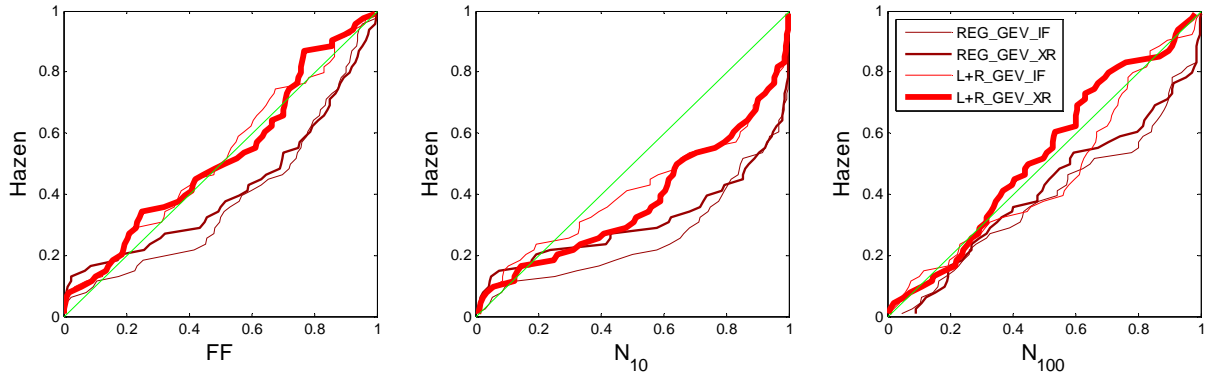


Figure 7. Impact de l’hypothèse de l’indice de crue sur la justesse des approches régionales et locales-régionales pour une loi GEV sur les bassins méditerranéens (validation, estimation centrale, 20 ans d’information locale).

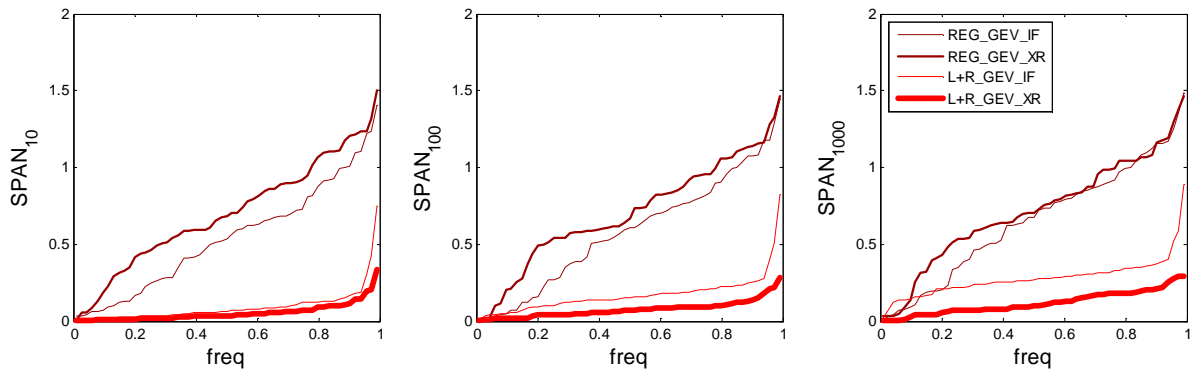


Figure 8. Impact de l’hypothèse de l’indice de crue sur la stabilité des approches régionales et locales-régionales pour une loi GEV sur les bassins méditerranéens (type II, 20 ans d’information locale).

4.2.2. Quelle approche pour une distribution de Gumbel ?

La Figure 9 montre qu’en règle générale, les estimations locales et mixtes surpassent l’estimation purement régionale en termes de justesse. Le critère N_{100} suggère un léger avantage pour l’estimation mixte.

En termes de stabilité vis-à-vis de l’information locale (Figure 10, première ligne), les performances des estimations locales et mixtes sont comparables, avec un très léger avantage pour cette dernière. Les différences de stabilité sont bien plus marquées vis-à-vis de l’information régionale (Figure 10, seconde ligne): l’estimation mixte est beaucoup plus stable que l’estimation purement régionale, et ce pour toutes les périodes de retour.

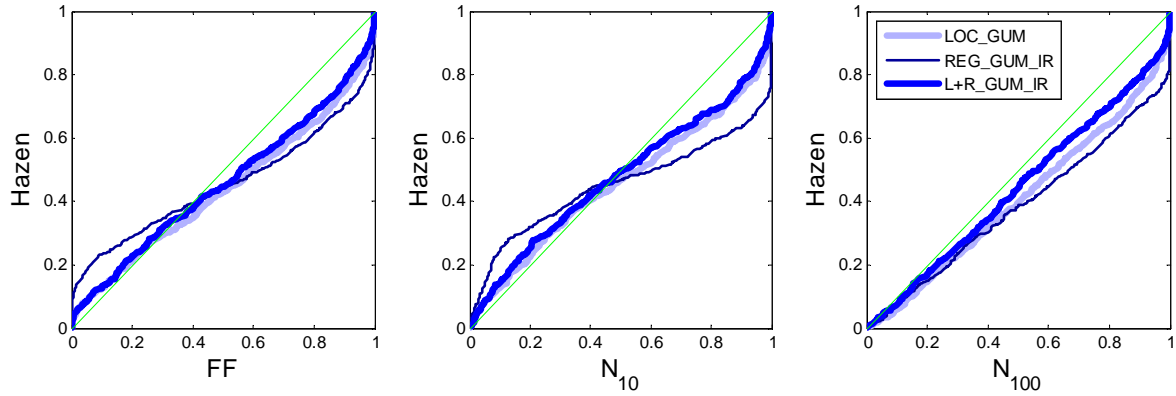


Figure 9. Comparaison de la justesse des approches locales, régionales et locales-régionales pour un loi de Gumbel (validation, estimation centrale, 20 ans d'information locale).

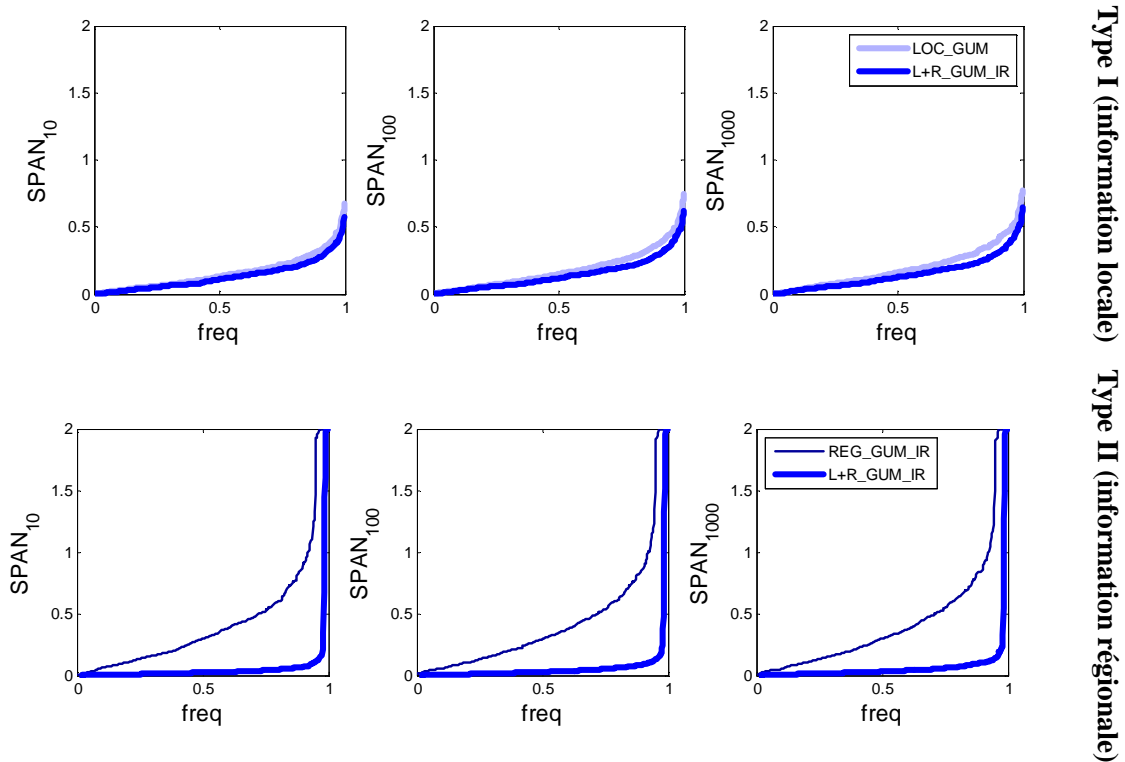


Figure 10. Comparaison de la stabilité des approches locales, régionales et locales-régionales pour un loi de Gumbel (20 ans d'information locale).

4.2.3. Quelle approche pour une distribution GEV ?

Les résultats pour la distribution GEV sont assez différents de ceux obtenus pour la distribution de Gumbel. La Figure 11 montre en effet que l'approche mixte est largement la plus fiable quel que soit le critère. Pour les faibles périodes de retour (critère N_{10}), l'approche purement locale est également acceptable et surpasse l'approche purement régionale. Par contre, pour l'estimation de quantiles plus extrêmes (critères FF et N_{100}), l'approche purement locale se détériore très nettement, et n'est pas plus juste qu'une approche purement régionale. En termes de stabilité, l'approche mixte apparaît encore très supérieure, que ce soit vis-à-vis de l'information locale ou régionale (Figure 12). Globalement, l'ensemble de ces résultats

suggèrent une très forte plus-value à utiliser une estimation mixte locale-régionale pour une loi GEV.

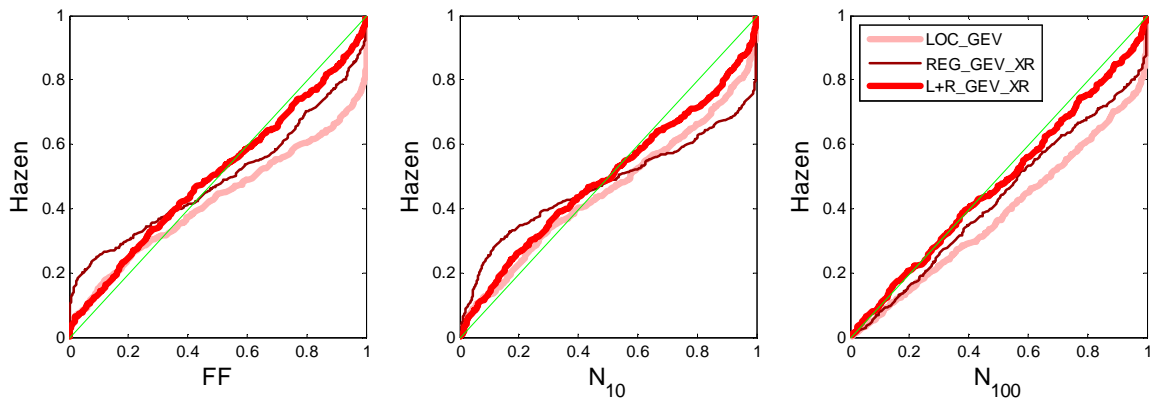


Figure 11. Comparaison de la justesse des approches locales, régionales et locales-régionales pour un loi GEV (validation, estimation centrale, 20 ans d'information locale).

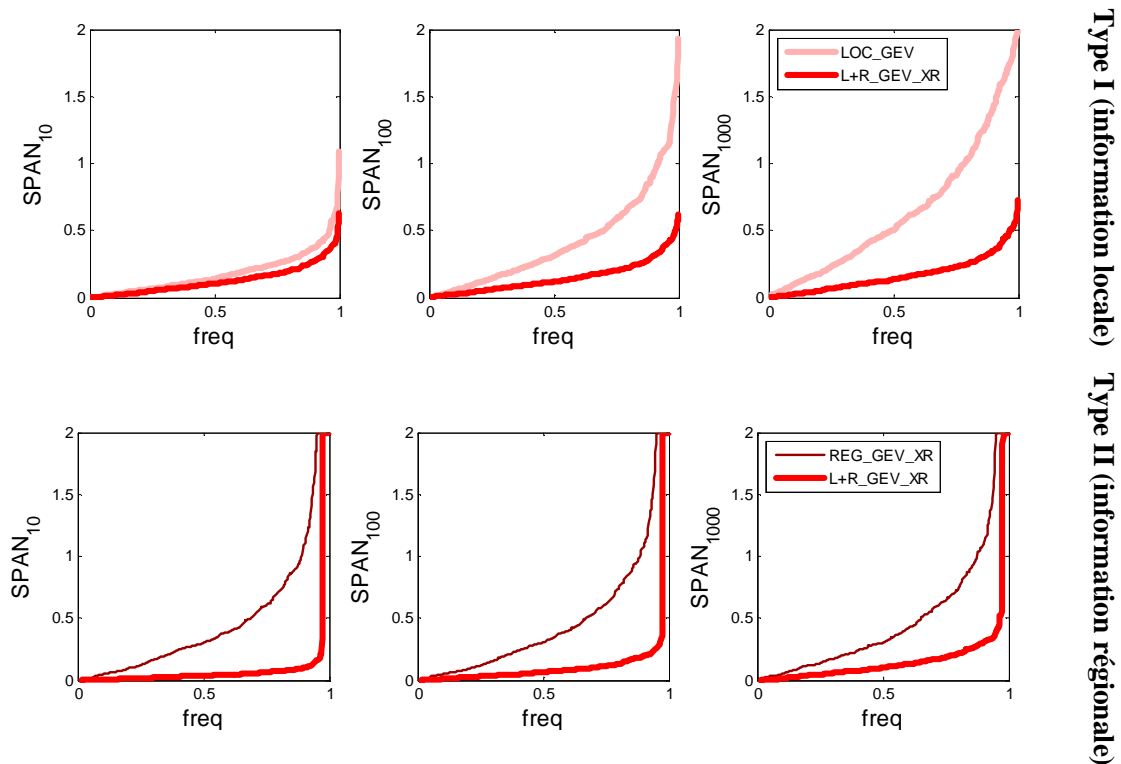


Figure 12. Comparaison de la stabilité des approches locales, régionales et locales-régionales pour un loi GEV (20 ans d'information locale).

4.2.4. Quelle approche pour un site non jaugé ?

Dans certains cas pratiques, le site cible ne possède aucune donnée et l'estimation ne peut donc être que purement régionale. La comparaison des approches purement régionales a déjà été effectuée dans le rapport de l'action 4, et les résultats de cette action 6 livrent des conclusions générales similaires (Figure 13) : dans tous les cas, la justesse reste perfectible. Un classement des implémentations peut néanmoins être effectué : SHYREG est la méthode la plus juste, suivie de l'estimation régionale d'une loi GEV puis de l'estimation régionale

d'une loi de Gumbel. Le contraste entre les lois de GEV et de Gumbel est le plus apparent en zone méditerranéenne (non illustré ici), mais dans tous les cas la justesse reste médiocre.

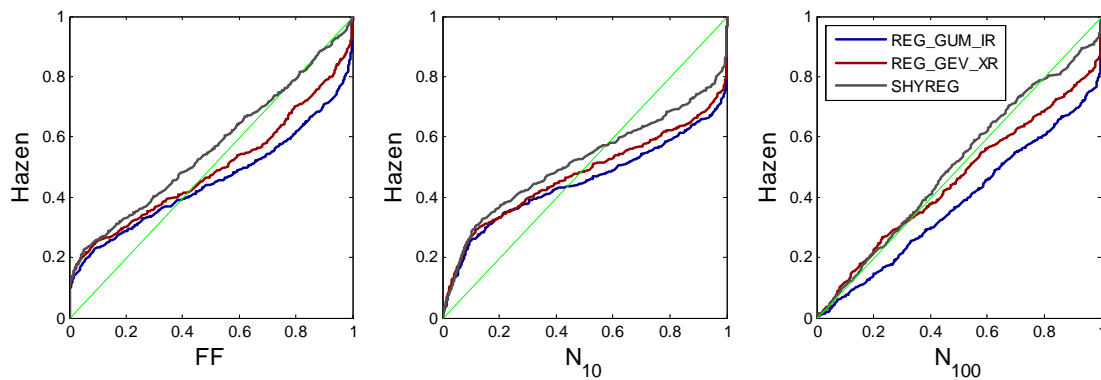


Figure 13. Comparaison de la justesse des approches régionales pures (validation, estimation centrale).

4.2.5. Quelle approche pour une estimation locale pure ?

Les éléments de réponse à cette question ont déjà été apportés dans le rapport de l'action 2. Notons cependant que contrairement à l'approche purement régionale, que l'on est parfois forcé d'utiliser par manque d'information locale, une estimation purement locale peut dans la plupart des cas être remplacée par une estimation mixte locale-régionale (une information régionale étant disponible aux stations alentours en général). Les résultats présentés précédemment (sections 4.2.2 - 4.2.3) suggèrent que les approches mixtes sont préférables aux approches purement locales.

La Figure 14 suggère des conclusions similaires à celles obtenues dans l'action 2 (cf. rapport) : SHYPRE conduit aux estimations les plus justes, surtout pour les critères FF et N_{100} . La distribution de Gumbel est plus fiable que la loi GEV pour une estimation locale.

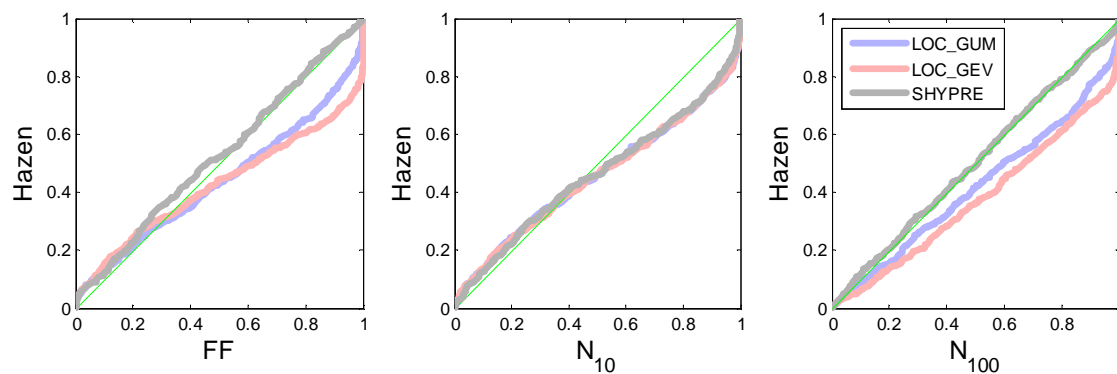


Figure 14. Comparaison de la justesse des approches locales pures (validation, estimation centrale, 20 ans d'information locale).

4.2.6. Quelle approche mixte locale-régionale ?

Les résultats présentés dans les sections 4.2.2 - 4.2.3 suggèrent que les approches mixtes locales-régionales ont des performances au moins égales aux approches purement locales ou régionales, voire nettement supérieures dans le cas d'une loi GEV. Cette section compare donc plusieurs implémentations au sein des approches mixtes locales-régionales. SHYPRE est également reporté dans les figures de cette section.

La Figure 15 suggère une justesse légèrement supérieure de la loi GEV par rapport à la loi de Gumbel, surtout pour les critères les plus extrêmes (FF et N_{100}). SHYPRE reste néanmoins légèrement plus fiable pour ces critères. En termes de stabilité vis-à-vis de l'information

locale (Figure 16, première ligne), les distributions de Gumbel et GEV sont quasiment indiscernables, quel que soit le quantile, tandis que SHYPRE semble légèrement plus fiable pour les quantiles élevés. La loi de Gumbel est légèrement plus stable que la loi GEV vis-à-vis de l'information régionale (Figure 16, seconde ligne).

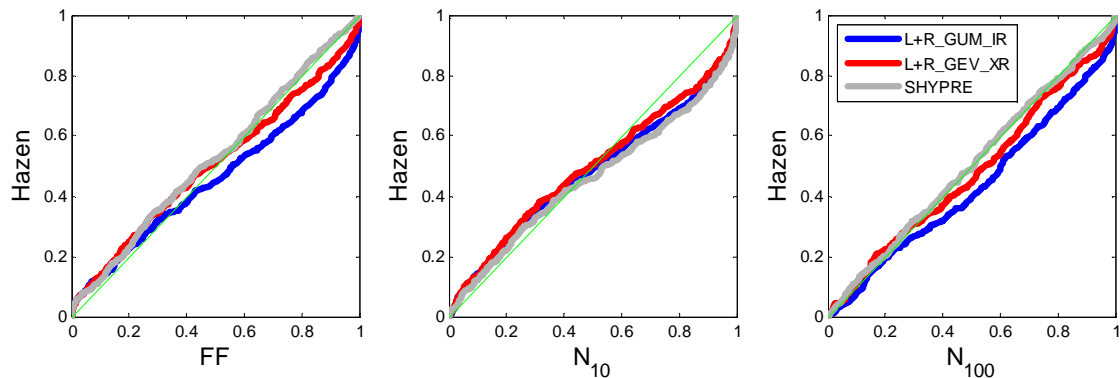


Figure 15. Comparaison de la justesse des approches locales-régionales (validation, estimation centrale, 20 ans d'information locale).

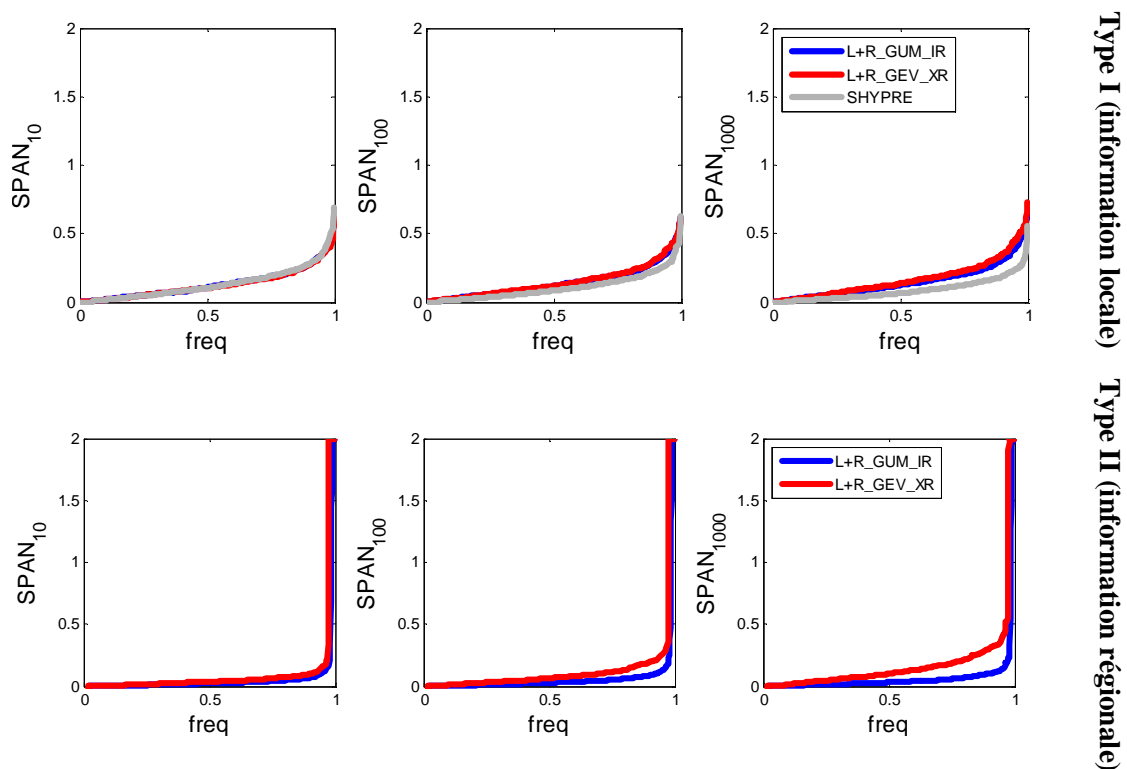


Figure 16. Comparaison de la stabilité des approches locales-régionales (20 ans d'information locale).

Une analyse stratifiée par région hydro-géo-climatique permet de préciser ces conclusions. La Figure 17 rappelle l'appartenance des bassins versants étudiés aux hydro-éco-régions (qui correspondent aux régions définies par *Wasson et al.* [2004], modulo quelques regroupements). La Figure 18 présente ainsi les graphiques de justesse pour les bassins méditerranéens (première ligne, HER 6 et 8) et océaniques (seconde ligne, HER 9, 10, 12 et 13). Dans le premier cas, la justesse est comparable entre SHYPRE et la loi GEV (avec un

léger avantage pour cette dernière avec l'indice FF), et est bien meilleure que pour la loi de Gumbel. Ce résultat est important, car il suggère que les différences observées sur les quantiles (Figure 6) dans cette zone correspondent à une sous-estimation par la loi de Gumbel. Inversement, en zone océanique, la justesse des trois approches (SHYPRE, lois de Gumbel et GEV) est quasiment identique. En particulier, ceci indique que l'utilisation d'une loi GEV n'améliore pas la justesse pour ces bassins (mais ne la dégrade pas non plus).

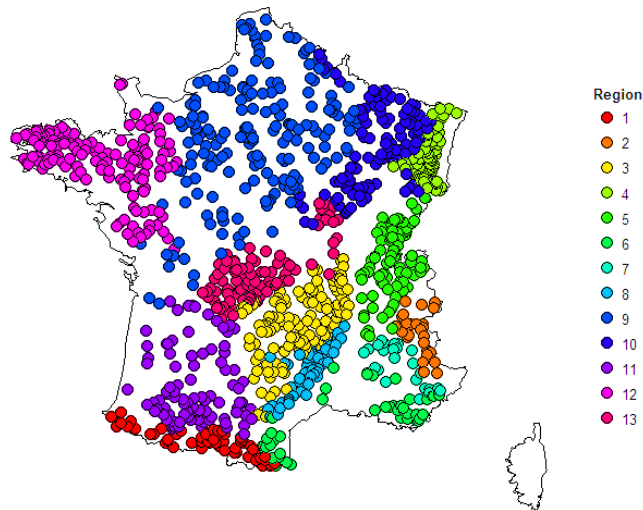


Figure 17. Hydro-éco-régions (HER) d'appartenance pour bassins étudiés.

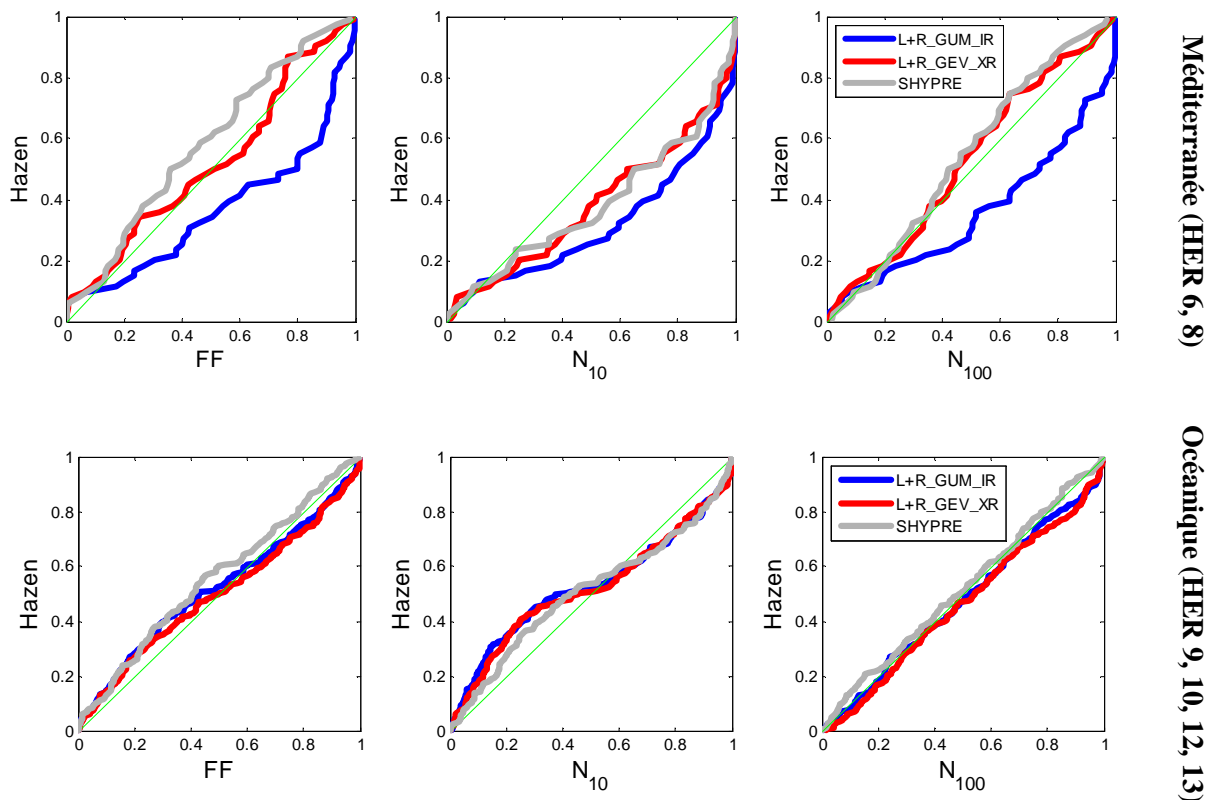


Figure 18. Comparaison de la justesse des approches locales-régionales pour les bassins méditerranéens et océaniques (validation, estimation centrale, 20 ans d'information locale).

4.2.7. Quel est l'effet de la longueur de l'information locale ?

Dans l'ensemble, les résultats présentés précédemment ne varient pas qualitativement lorsque la taille de l'information locale diminue. A titre d'illustration, la Figure 19 compare la justesse de SHYPRE et des approches locales et locales-régionales pour une loi GEV avec 10 ou 20 années de données locales. On peut observer que l'estimation purement locale se dégrade très nettement avec seulement 10 ans de données, alors que la justesse de l'estimation locale-régionale et de SHYPRE ne diminue que marginalement, et reste dans tous les cas supérieure à celle des autres approches. Le même constat peut être établi pour la stabilité (Figure 20), que ce soit vis-à-vis de l'information locale ou régionale.

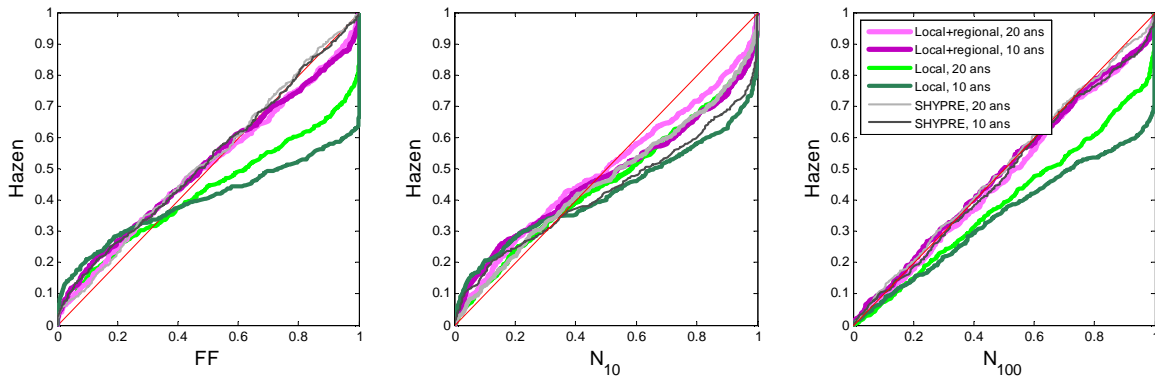
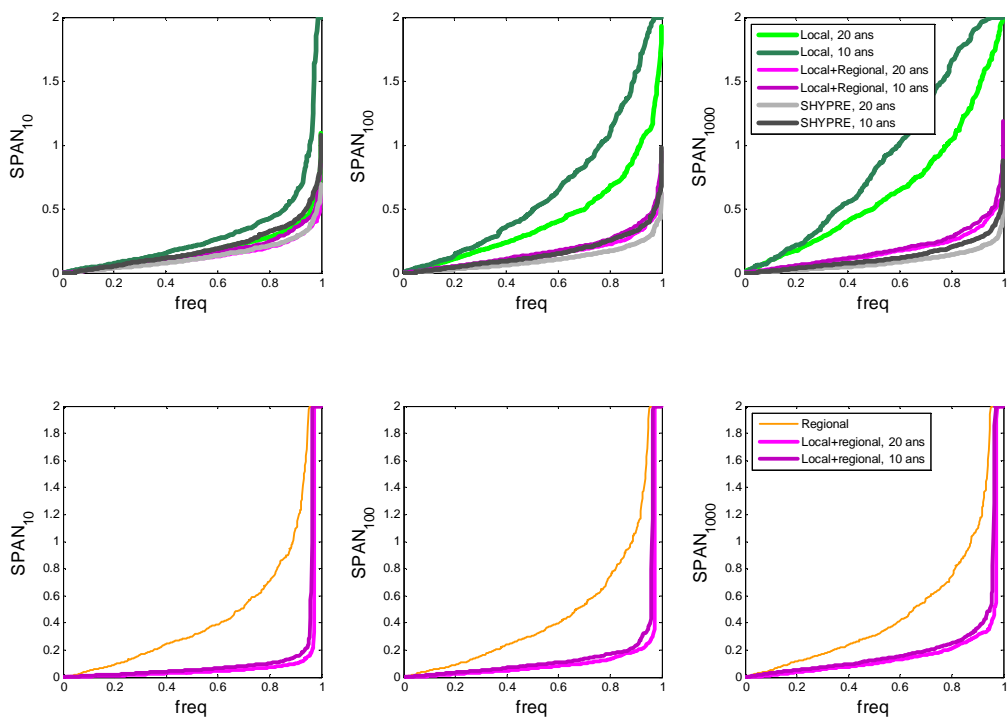


Figure 19. Comparaison de la justesse des approches locales, régionales et locales-régionales pour un loi GEV (validation, estimation centrale) : effet de la taille de l'information locale.



Type I (information locale) Type II (information régionale)

Figure 20. Comparaison de la stabilité des approches locales, régionales et locales-régionales pour un loi GEV : Effet de la taille de l'information locale.

5. Résumé : tableau des scores

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

	Justesse (n = 20)					
	Centrale			Prédictive		
	FF	N10	N100	FF	N10	N100
LOC_GUM	0.85	0.87	0.82	0.87	0.85	0.95
LOC_GEV	0.80	0.87	0.76	0.71	0.78	0.92
REG_GUM_IR	0.78	0.74	0.76	0.63	0.69	0.88
REG_GEV_XR	0.82	0.76	0.85	0.55	0.66	0.84
L+R_GUM_IR	0.88	0.88	0.88	0.89	0.86	0.96
L+R_GEV_XR	0.93	0.91	0.93	0.85	0.87	0.97
SHYPRE	0.95	0.88	0.98	0.95	0.88	0.98
SHYREG	0.87	0.79	0.96	0.87	0.79	0.96

	Stabilité Type I (n = 20)					
	Centrale			Prédictive		
	SPAN ₁₀	SPAN ₁₀₀	SPAN ₁₀₀₀	SPAN ₁₀	SPAN ₁₀₀	SPAN ₁₀₀₀
LOC_GUM	0.92	0.91	0.90	0.92	0.90	0.89
LOC_GEV	0.91	0.79	0.68	0.90	0.72	0.52
REG_GUM_IR	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
REG_GEV_XR	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
L+R_GUM_IR	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	0.92
L+R_GEV_XR	0.94	0.93	0.92	0.94	0.93	0.91
SHYPRE	0.93	0.95	0.96	0.93	0.95	0.96
SHYREG	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

	Stabilité Type II (n = 20)					
	Centrale			Prédictive		
	SPAN ₁₀	SPAN ₁₀₀	SPAN ₁₀₀₀	SPAN ₁₀	SPAN ₁₀₀	SPAN ₁₀₀₀
LOC_GUM	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
LOC_GEV	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
REG_GUM_IR	0.79	0.79	0.79	0.80	0.78	0.77
REG_GEV_XR	0.77	0.76	0.76	0.78	0.78	0.77
L+R_GUM_IR	0.97	0.97	0.96	0.96	0.96	0.94
L+R_GEV_XR	0.95	0.93	0.91	0.95	0.93	0.89
SHYPRE	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
SHYREG	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)

(*) non calculé

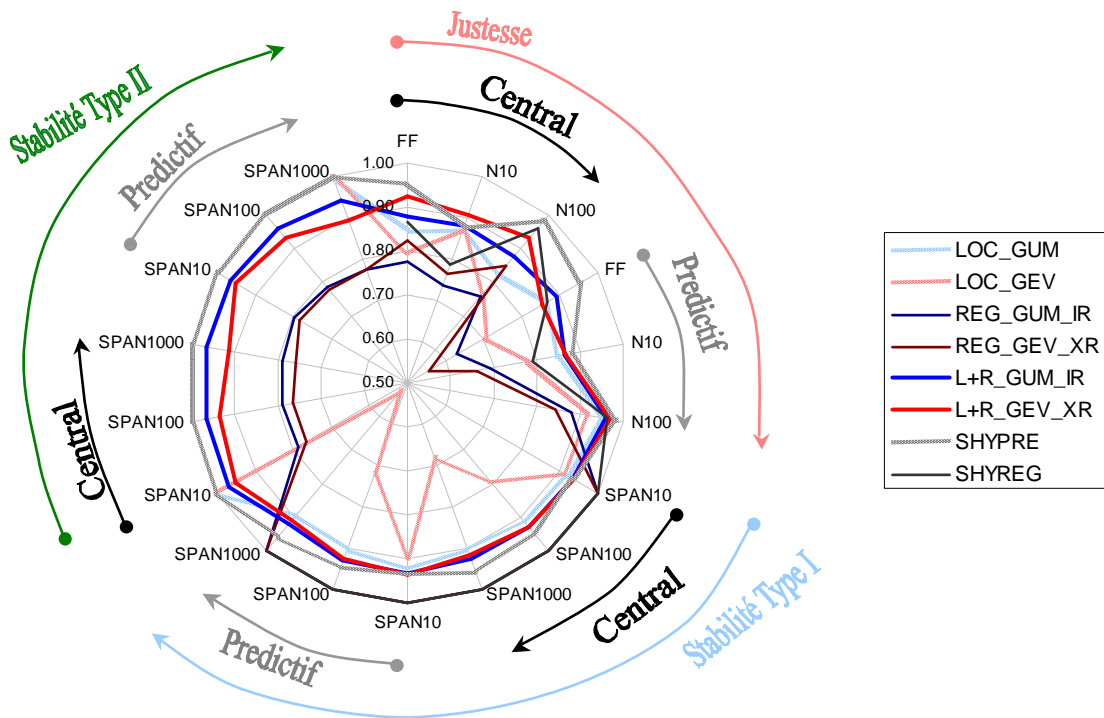


Figure 21. Résumé des performances pour toutes les implémentations, en justesse et stabilité.

6. Conclusions et recommandations

Les principales conclusions que l'on peut tirer de l'action 6 sont les suivantes :

- Deux approches semblent donner des résultats globalement satisfaisants en termes de justesse et de fiabilité : SHYPRE et l'estimation locale-régionale d'une loi GEV. De plus les différences entre les quantiles estimés par ces deux approches restent en général modérées.
- En règle générale, les approches mixtes locales-régionales présentent des performances au moins similaires, et parfois nettement supérieures, aux approches purement locales et purement régionales.
- En zone océanique, l'utilisation d'une loi de Gumbel semble acceptable. L'estimation locale est possible pour cette loi, mais l'utilisation d'une approche mixte locale-régionale apporte un léger gain de justesse et de stabilité.
- En zone méditerranéenne, l'utilisation d'une loi de Gumbel est à éviter car elle conduit à une sous-estimation des quantiles. Néanmoins, l'estimation locale d'une loi GEV est également déconseillée, car la difficulté d'estimation du paramètre de forme conduit à un manque de justesse. Il est donc recommandé d'utiliser SHYPRE ou une procédure mixte locale-régionale pour estimer la loi GEV dans cette zone.
- Pour les bassins complètement non jaugés, il s'avère malheureusement que toutes les approches purement régionales comparées dans cette action conduisent à une justesse médiocre.

7. Références

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