

Une reconstruction hydrologique ensembliste depuis 1871 sur 662 bassins versants en France

Alexandre Devers¹, Jean-Philippe Vidal¹, Claire
Lauvernet¹, et Olivier Vannier²

¹Irstea, UR RiverLy, Villeurbanne, France,

²Compagnie Nationale du Rhône (CNR), Lyon, France

12 mars 2019

Plan

1. Contexte
2. Outils
3. Méthodes et résultats
4. Conclusion et perspectives

Contexte

Pourquoi étudier l'hydrologie du passé ?



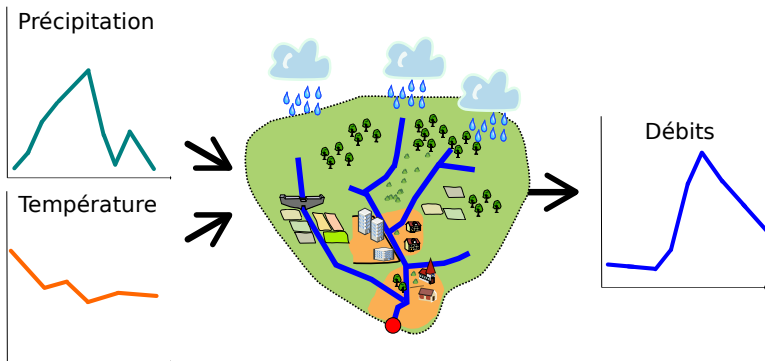
La Seine au pont d'Arcole en 1910 et 2016 (crédit: Julien Knez)

- Changement climatique : évolutions futures
- Variations décennales / multi-décennales
- Occurrence et intensité des événements extrêmes

⇒ Besoin de jeux de données continus couvrant une longue période

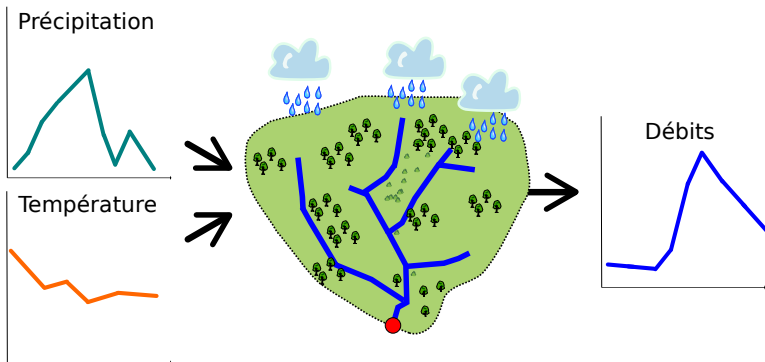
Contexte

Le bassin versant



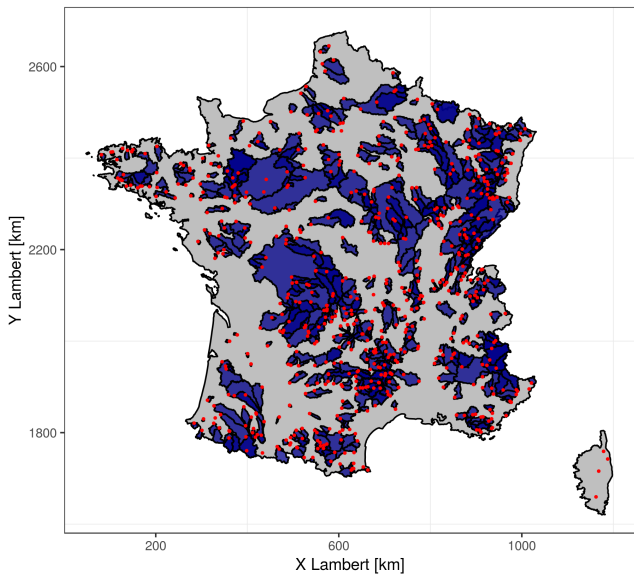
Contexte

Le bassin versant **naturel**



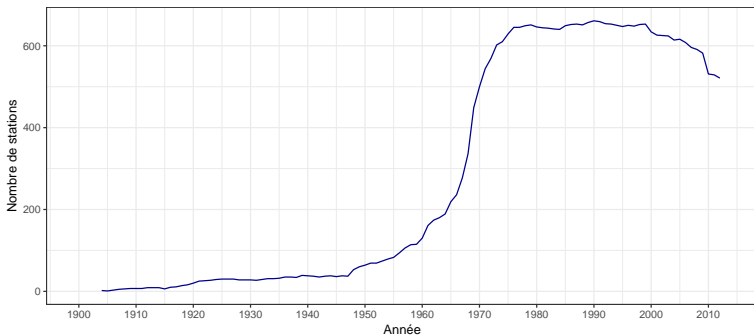
Contexte

Les bassins versants naturels de l'étude



Contexte

Les observations de débits disponibles

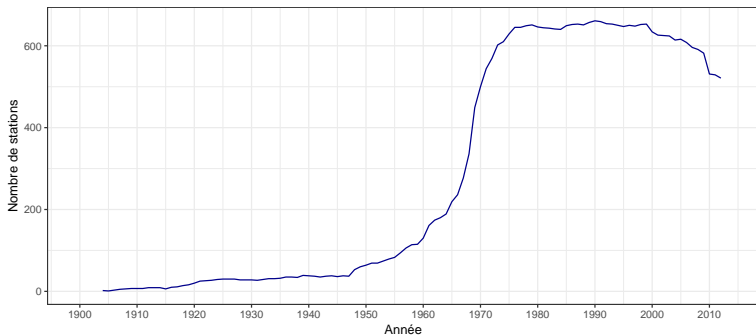


Problème :

- Peu d'observations avant les années 1960
- Les séries d'observations peuvent présenter des lacunes importantes

Contexte

Les observations de débits disponibles



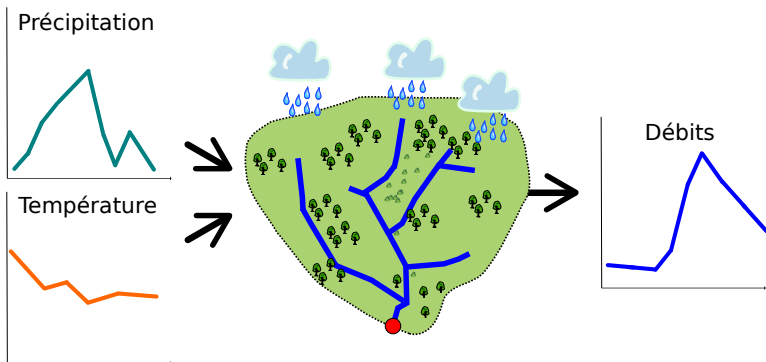
Problème :

- Peu d'observations avant les années 1960
- Les séries d'observations peuvent présenter des lacunes importantes

⇒ On peut utiliser la modélisation hydrologique pour combler ces lacunes

Contexte

La modélisation hydrologique sur un bassin versant



⇒ On peut utiliser la modélisation hydrologique pour combler ces lacunes qui va simuler le comportement du bassin versant

Objectif

Obtenir des séries continues de débits journaliers sur la totalité
662 bassins versants sur la période 1871-2012

tout en prenant en compte les différentes sources d'incertitudes

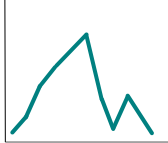
Plan

1. Contexte
2. Outils
3. Méthodes et résultats
4. Conclusion et perspectives

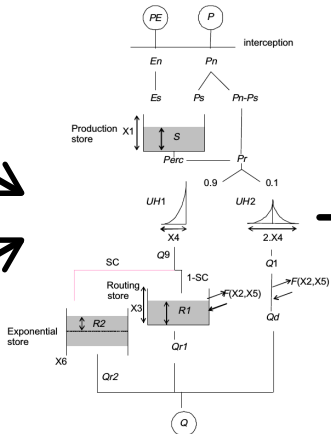
Outils

Le modèle hydrologique

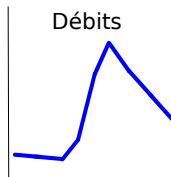
Précipitation



Température

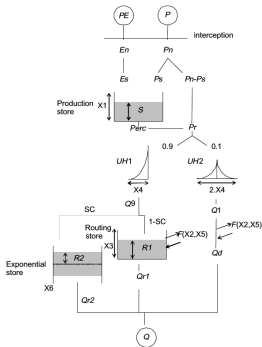


Débits



Outils

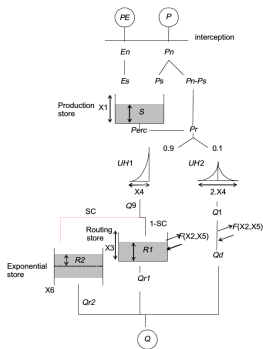
Le modèle hydrologique



- GR6J (Pushpalatha et al., 2011) : Modèle conceptuel journalier
- Entrée : précipitation, température et évapotranspiration
- 8 paramètres à caler par bassin versant
- Largement utilisé en opérationnel et en recherche
 - Détection de tendances dans les séries hydrologiques / impacts des changements climatiques et environnementaux
 - Dimensionnement d'ouvrages / Prévision des crues et des étiages

Outils

Le modèle hydrologique



- GR6J (Pushpalatha et al., 2011) : Modèle conceptuel journalier
- Entrée : précipitation, température et évapotranspiration
- 8 paramètres à caler par bassin versant
- Largement utilisé en opérationnel et en recherche
 - Détection de tendances dans les séries hydrologiques / impacts des changements climatiques et environnementaux
 - Dimensionnement d'ouvrages / Prévision des crues et des étiages

⇒ 1^{ère} source d'incertitude : le modèle

Outils

Les données d'entrées

FYRE Climate (Devers et al., sub): réanalyse météorologique ensembliste, journalière et locale provenant de l'assimilation offline d'observations historiques une reconstruction ensembliste SCOPE Climate (Caillouet et al., 2018)

- Extension temporelle : 1871-2012 (140 ans)
- Extension spatiale : ensemble de la France (8 x 8 km)
- Variables : température et précipitation
- Nombre de membres : 25

Outils

Les données d'entrées

FYRE Climate (Devers et al., sub): réanalyse météorologique ensembliste, journalière et locale provenant de l'assimilation offline d'observations historiques une reconstruction ensembliste SCOPE Climate (Caillouet et al., 2018)

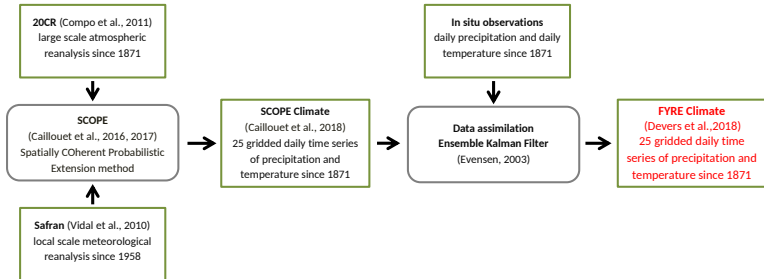
- Extension temporelle : 1871-2012 (140 ans)
- Extension spatiale : ensemble de la France (8 x 8 km)
- Variables : température et précipitation
- Nombre de membres : 25

⇒ 2^{nde} source d'incertitude : données climatiques

Outils

Les données d'entrée

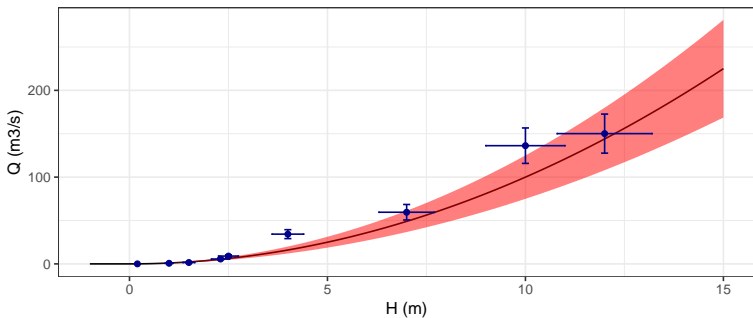
FYRE Climate (Devers et al., sub) :



Outils

Les mesures de débit

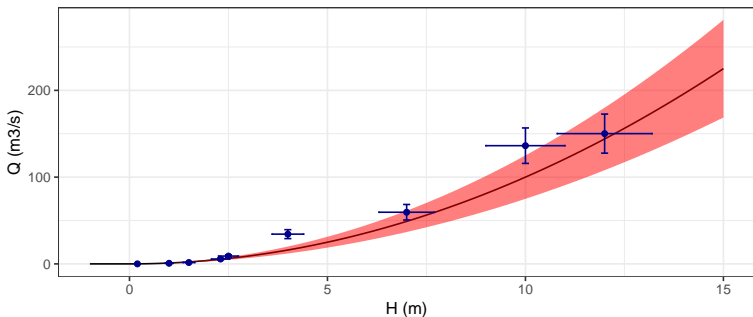
Les mesures de débits (Q) ne se mesurent pas directement, on mesure la hauteur d'eau à un instant t :



Outils

Les mesures de débit

Les mesures de débits (Q) ne se mesurent pas directement, on mesure la hauteur d'eau à un instant t :

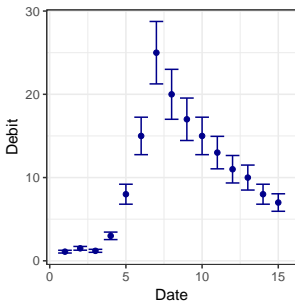


⇒ 3^{eme} source d'incertitude : données hydrométriques

Outils

Les mesures de débit

Une erreur plus importante est imposée sur les débits forts (Horner et al., 2018) : $\sigma_{obs} = 15\% \times Q_{obs}$



Plan

1. Contexte
2. Outils
3. Méthodes et résultats
4. Conclusion et perspectives

Méthodes et résultats

Objectifs

Prise en compte des incertitudes hydrométriques et météorologiques lors de la calibration

Prise en compte des incertitudes météorologiques lors des simulations

Prise en compte de l'incertitude modèle lors des simulations

Méthodes et résultats

Calibration

Période : 1973-2006 (+ de 90% des observations disponibles)

Calage déterministe : 1 membre météorologique

Perturbation des observations : $Q_p = Q + \mathcal{N}(0, \sigma_{obs}^2)$

Critère de calibration : Kling-Gupta-Efficiency

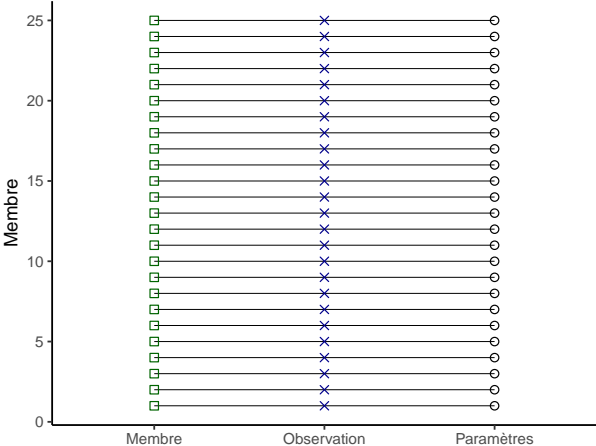
- Biais
- Corrélacion
- Rapport des variances

Test différents jeux de paramètres, puis optimisation locale

Méthodes et résultats

Calibration

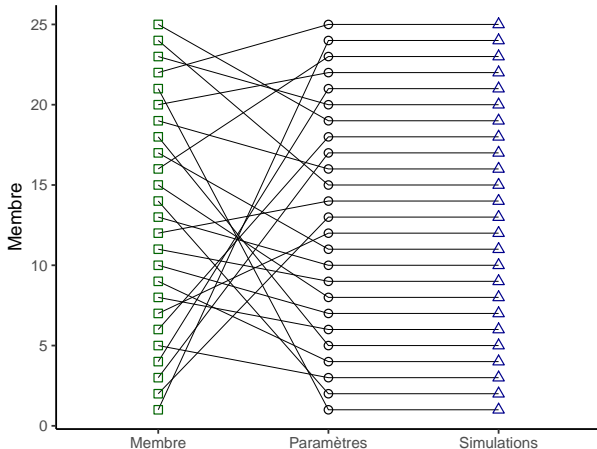
Prise en compte des incertitudes hydrométriques et météorologiques lors de la calibration



Méthodes et résultats

Calibration

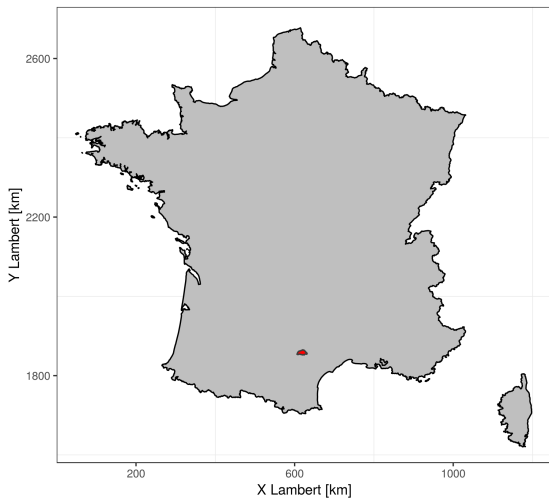
Prise en compte des incertitudes hydrométriques et météorologiques lors de la calibration



Méthodes et résultats

Résultats

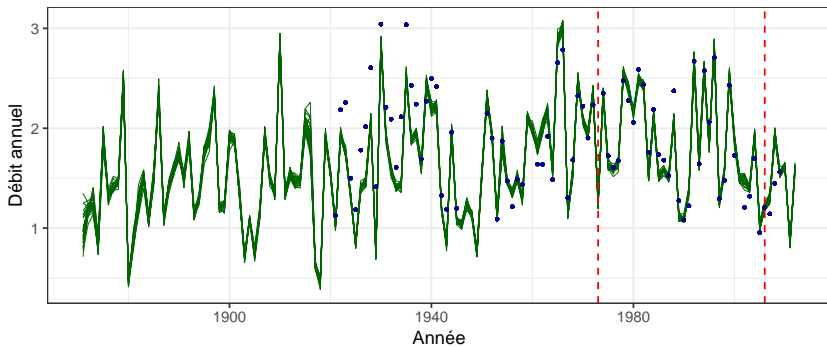
Le Gijou à Vabre (département du Tarn) avec un bassin versant de 208 km²



Méthodes et résultats

Résultats

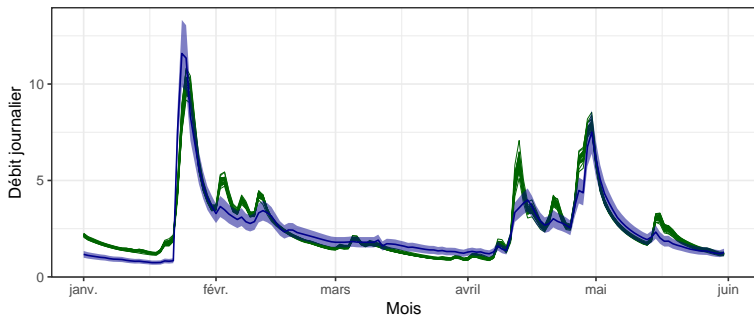
Exemple de reconstructions de débits sur un bassin versant



Méthodes et résultats

Résultats

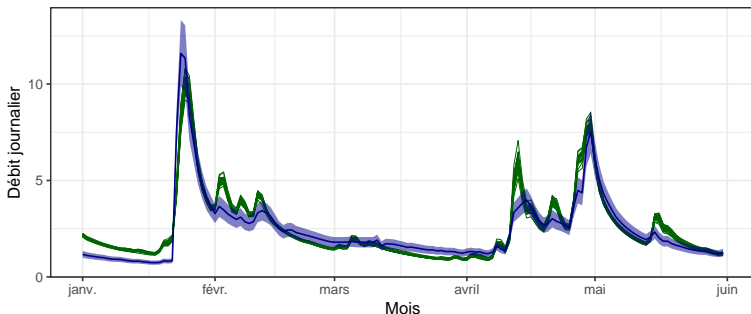
Exemple de reconstructions de débits sur un bassin versant



Méthodes et résultats

Résultats

Exemple de reconstructions de débits sur un bassin versant

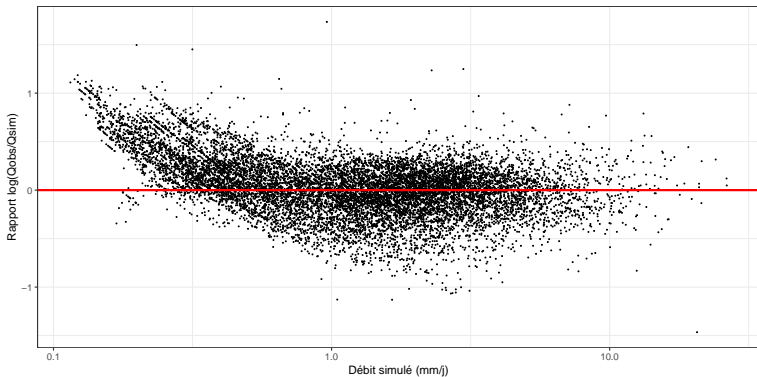


⇒ Proviens de l'incapacité du modèle à reproduire certains comportements du bassins versants / sous dispersion de l'ensemble

Méthodes et résultats

Erreur modèle

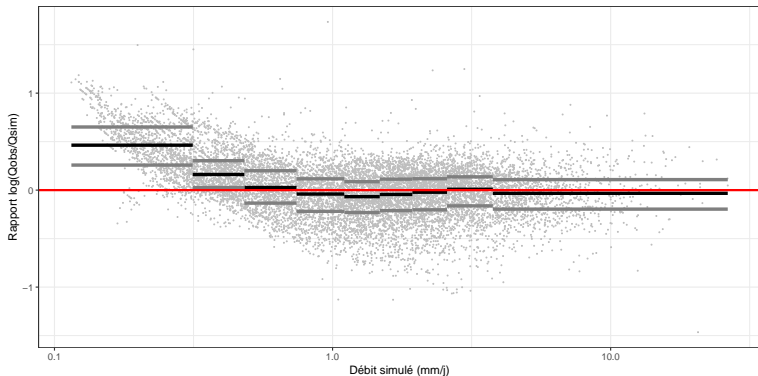
Étude des résidus entre les débits observés et simulés pour chaque membre (méthode OTAMIN, Bourgin (2014))



Méthodes et résultats

Erreur modèle

Étude des résidus entre les débits observés et simulés pour chaque membre (méthode OTAMIN, Bourgin (2014))

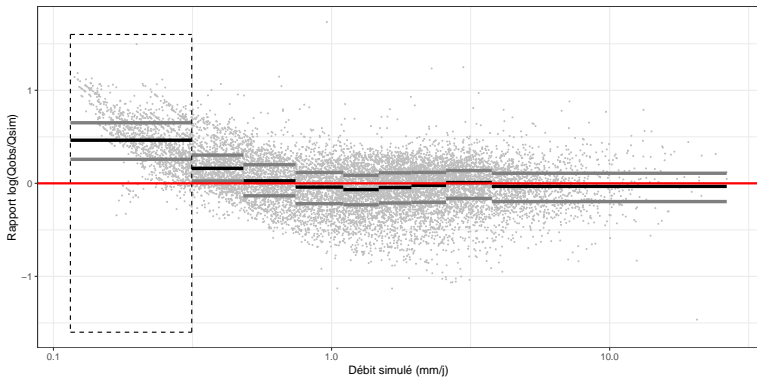


Méthodes et résultats

Erreur modèle

Pour chaque classe $\sigma_{classe} = \sqrt{\sigma_{residus}^2 - \sigma_{obs}^2}$

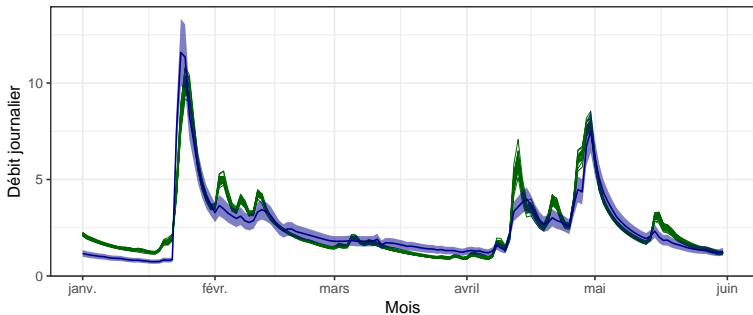
et $\mu_{classe} = \mu_{residus}$



Méthodes et résultats

Résultats

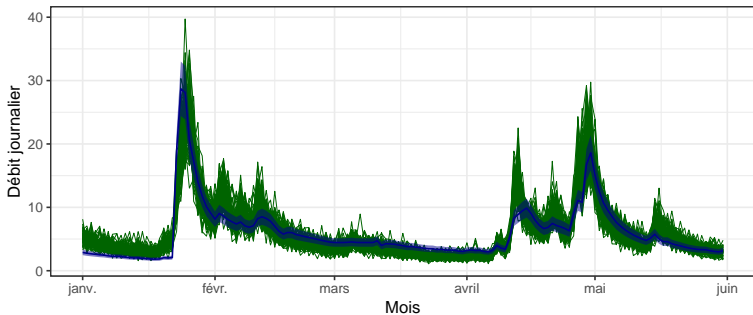
Exemple avec 4 perturbations pour chaque membre (soit 100 membres)



Méthodes et résultats

Résultats

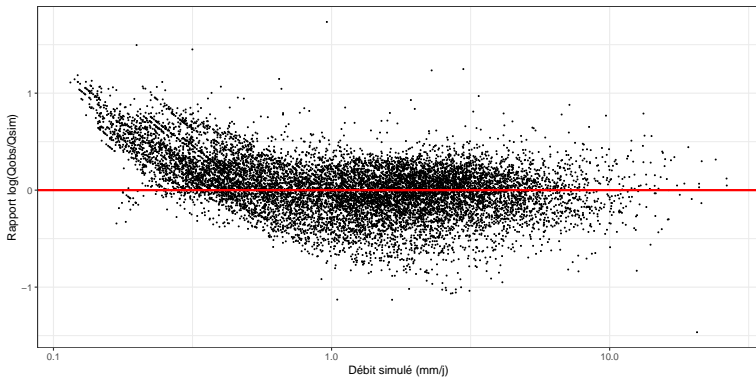
Exemple avec 4 perturbations pour chaque membre (soit 100 membres)



Méthodes et résultats

Fiabilité de l'ensemble

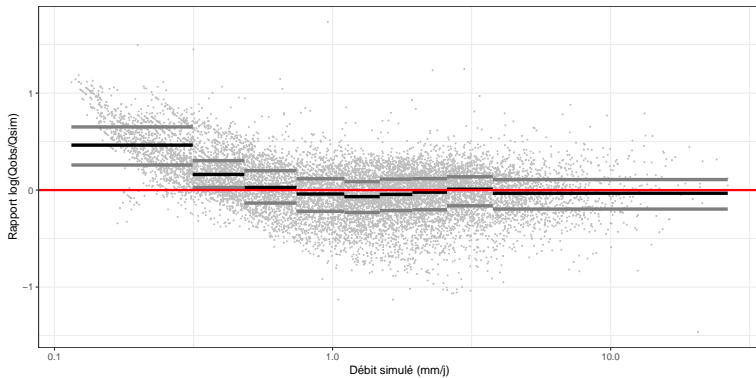
Étude de la relation entre $\sigma_{\varepsilon}^2 = MSE$
avec ε les anomalies des membres à la moyenne.



Méthodes et résultats

Fiabilité de l'ensemble

On définit nos classes :



Méthodes et résultats

Fiabilité de l'ensemble

Pour chaque classe on définit α et β

$$\alpha = \rho \times \frac{\sigma_{obs}}{\sigma_f}$$

$$\beta = \sqrt{(1 - \rho^2) \times \frac{\sigma_{obs}^2}{\sigma_\varepsilon^2}}$$

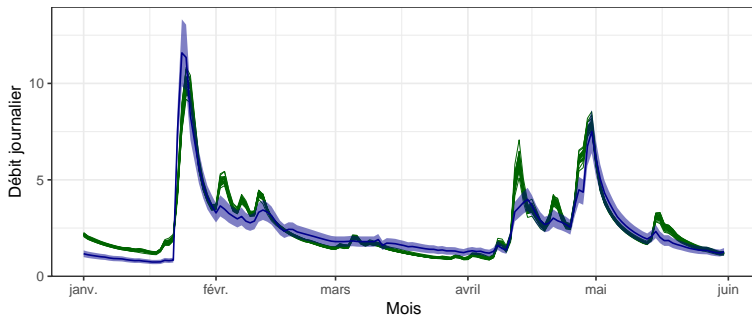
avec f la moyenne d'ensemble et ε les anomalies des membres à la moyenne.

$$Q_{new} = \alpha \times f + \beta \times \varepsilon$$

Méthodes et résultats

Résultats

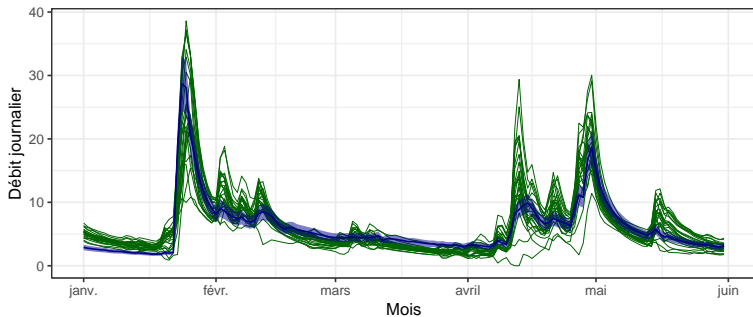
Sans erreur modèle ni post-traitement



Méthodes et résultats

Résultats

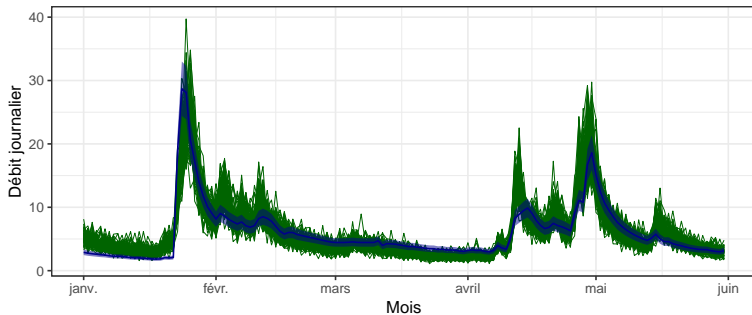
Post-traitement



Méthodes et résultats

Résultats

Erreur modèle



Plan

1. Contexte
2. Outils
3. Méthodes et résultats
4. Conclusion et perspectives

Conclusion et perspectives

Les reconstructions prennent en compte :

- incertitude sur la réanalyse
- incertitude hydrométrique durant la calibration
- incertitude modèle / calibration de l'ensemble en post-traitement

Limitations et perspectives :

- Les erreurs sont : du bruit blanc (pas de biais)
- L'erreur modèle créer des membres indépendants temporellement et spatialement
- Le post-traitement conserve cette cohérence
- Quantifier l'amélioration CRPS / Histogramme de rang / Courbe ROC
- Utiliser la méthode du Schaake-Shuffle (Clark et al., 2004) pour réorganiser les perturbations de l'erreur modèle
- Assimiler des mesures de débits dans les reconstructions pour créer une réanalyse hydrologique sur 1871-2012

Bibliographie I

- Bourgin, F. (2014). *Comment quantifier l'incertitude prédictive en modélisation hydrologique?: Travail exploratoire sur un grand échantillon de bassins versants*. PhD thesis, AgroParisTech.
- Caillouet, L., Vidal, J.-P., Sauquet, E., Graff, B., and Soubeyroux, J.-M. (2018). Scope climate: a 142-year daily high-resolution ensemble meteorological reconstruction dataset over france. *Earth System Science Data Discussions*, 2018:1–26.
- Catalogne, C. (2012). *Improvement of the predetermination methods of low-flow characteristics at ungauged and few gauged sites*. Theses, Université de Grenoble.
- Clark, M., Gangopadhyay, S., Hay, L., Rajagopalan, B., and Wilby, R. (2004). The schaake shuffle: A method for reconstructing space–time variability in forecasted precipitation and temperature fields. *Journal of Hydrometeorology*, 5(1):243–262.
- Devers, A., Vidal, J.-P., Lauvernet, C., Graff, B., and Vannier, O. (sub). A framework for high-resolution meteorological reanalysis through offline data assimilation in an ensemble of downscaled reconstructions. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*.
- Giuntoli, I., Renard, B., Vidal, J.-P., and Bard, A. (2013). Low flows in france and their relationship to large-scale climate indices. *Journal of Hydrology*, 482:105 – 118.
- Horner, I., Renard, B., Le Coz, J., Branger, F., McMillan, H. K., and Pierrefeu, G. (2018). Impact of stage measurement errors on streamflow uncertainty. *Water Resources Research*, 54(3):1952–1976.
- Pushpalatha, R., Perrin, C., Moine, N. L., Mathevet, T., and Andréassian, V. (2011). A downward structural sensitivity analysis of hydrological models to improve low-flow simulation. *Journal of Hydrology*, 411(1-2):66–76.