



# Vers une réanalyse hydrométéorologique à l'échelle de la France sur les 140 dernières années par assimilation de données dans des reconstructions ensemblistes

**Alexandre Devers**<sup>1</sup>, Jean-Philippe Vidal<sup>1</sup>, Claire  
Lauvernet<sup>1</sup>, Olivier Vannier<sup>2</sup> et Benjamin Graff<sup>2</sup>

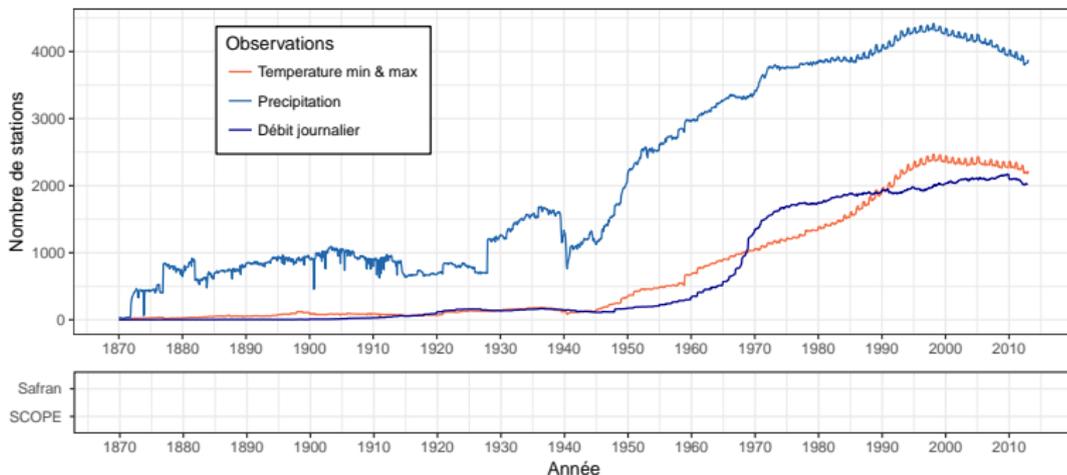
<sup>1</sup>Irstea, UR RiverLy, Villeurbanne, France

<sup>2</sup>Compagnie Nationale du Rhône (CNR), Lyon, France

24 octobre 2018

# Contexte

## Les observations



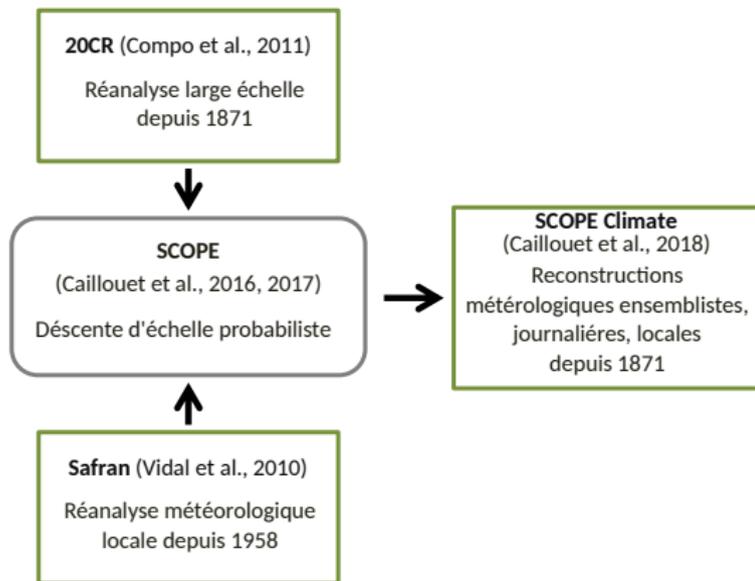
Données météorologiques observées disponibles en France sur la période 1871-2012

- Observations météorologiques : Météo-France
- Observations hydrologiques : Banque-HYDRO

⇒ Nombre faible d'observations en début de période  
Données discontinues spatialement

# Contexte

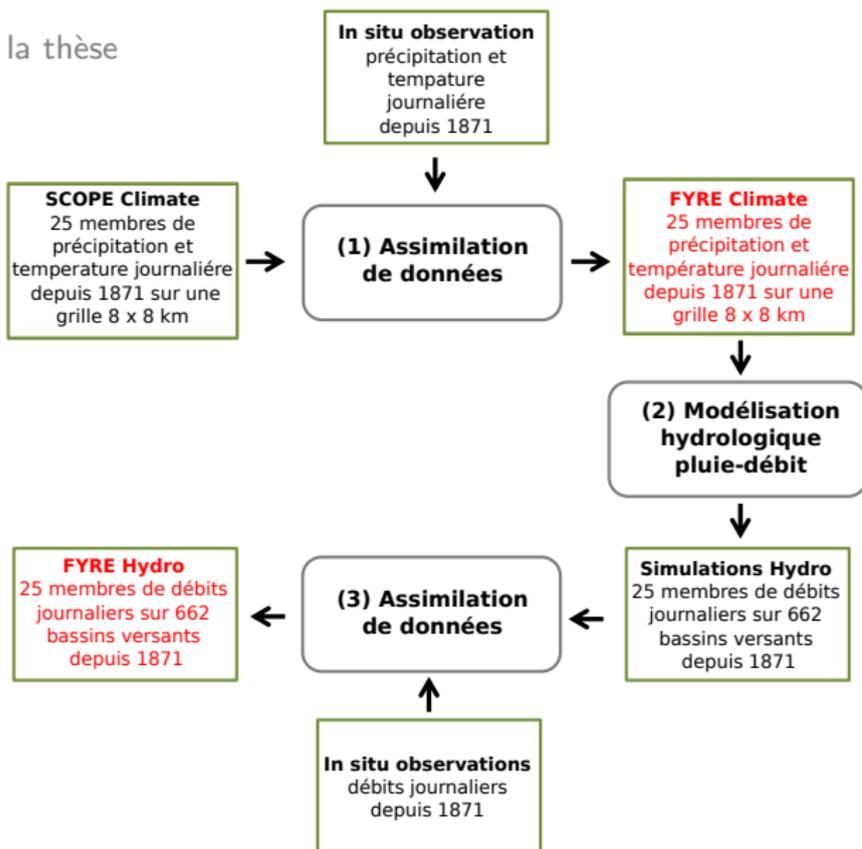
## SCOPE Climate



⇒ Forte incertitude / Corrélations journalières faibles  
Ne prend pas en compte les observations

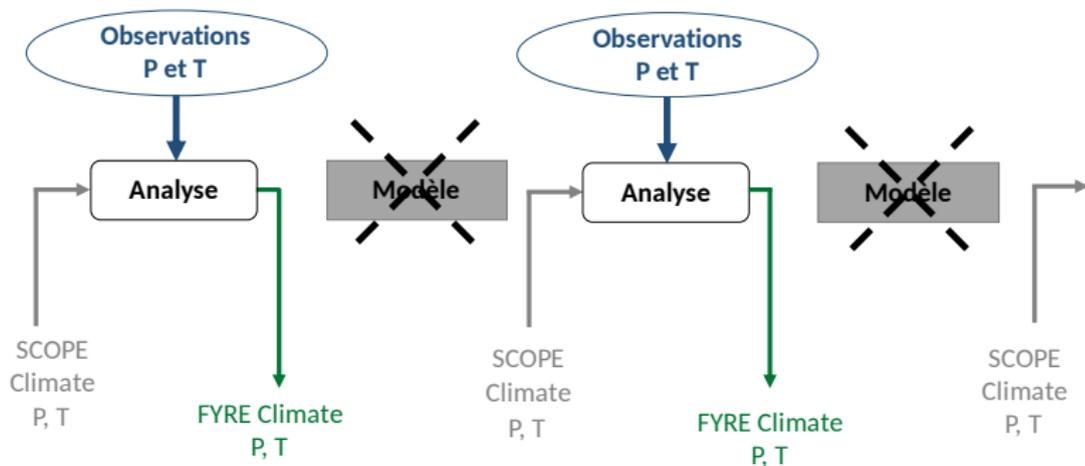
# Contexte

## Objectifs de la thèse



# Assimilation de données météorologiques

## Principe

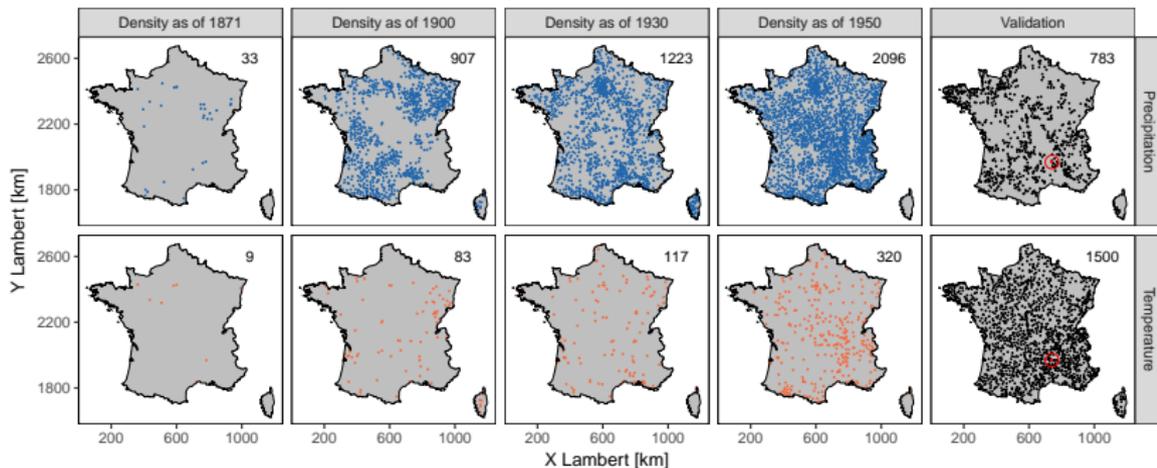


- Utilisation d'un filtre de Kalman d'Ensemble (Evensen, 2003)
- + Localisation anisotrope
- + Anamorphose pour les précipitations journalières
- + Erreurs d'observation dans le passé

# Assimilation de données météorologiques

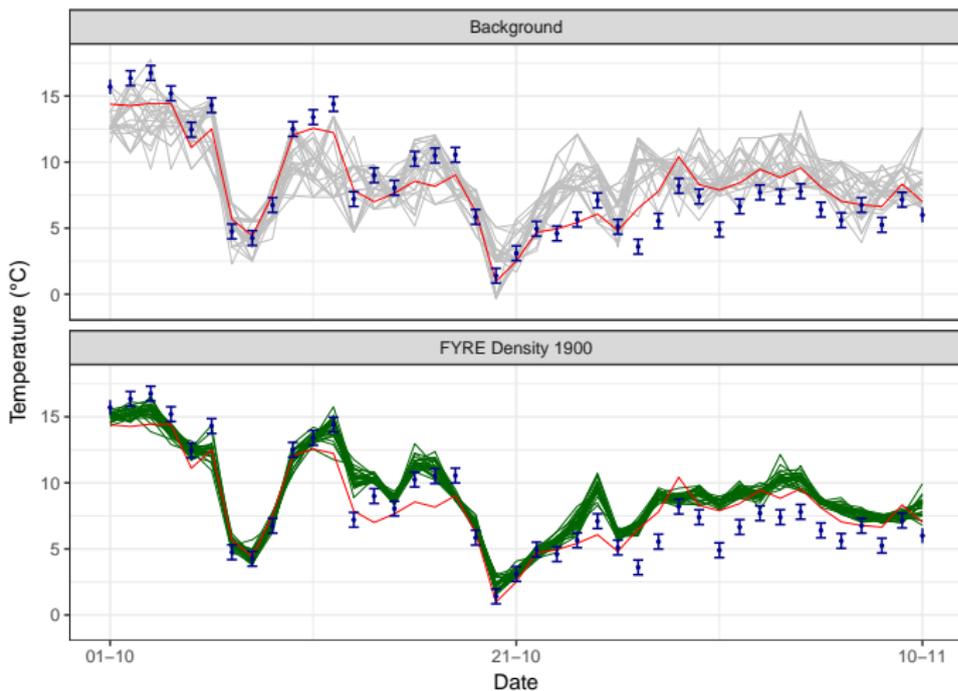
## Validation de l'assimilation

- Production de plusieurs réanalyses sur la période 2009-2012
- Reproduction des densités d'observations du passé : 1871 / 1900 / 1930 / 1950
- Validation à travers des stations indépendantes



# Assimilation de données météorologiques

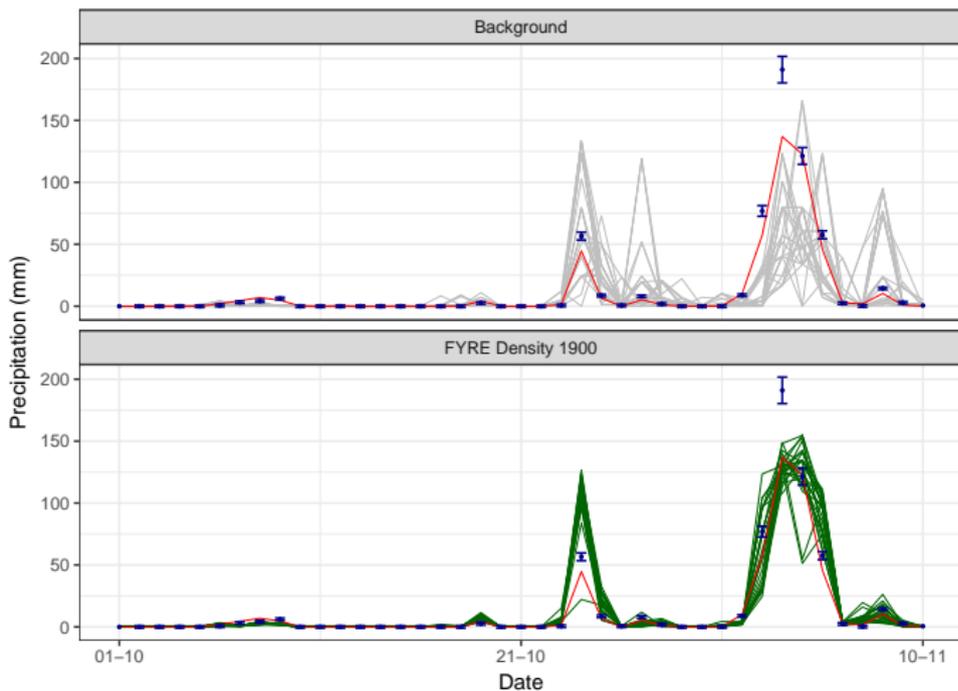
Exemple : Assimilation avec la densité de 1900



Températures journalières sur une station des Cévennes et la cellule associée en octobre-novembre 2011

# Assimilation de données météorologiques

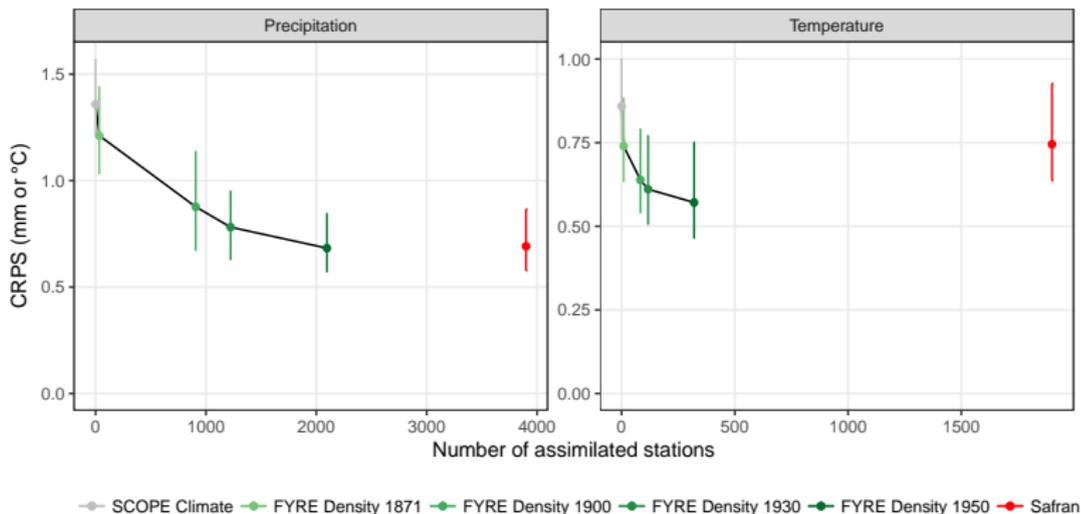
Exemple : Assimilation avec la densité de 1900



Précipitations journalières sur une station des Cévennes et la cellule associée en octobre-novembre 2011

# Assimilation de données météorologiques

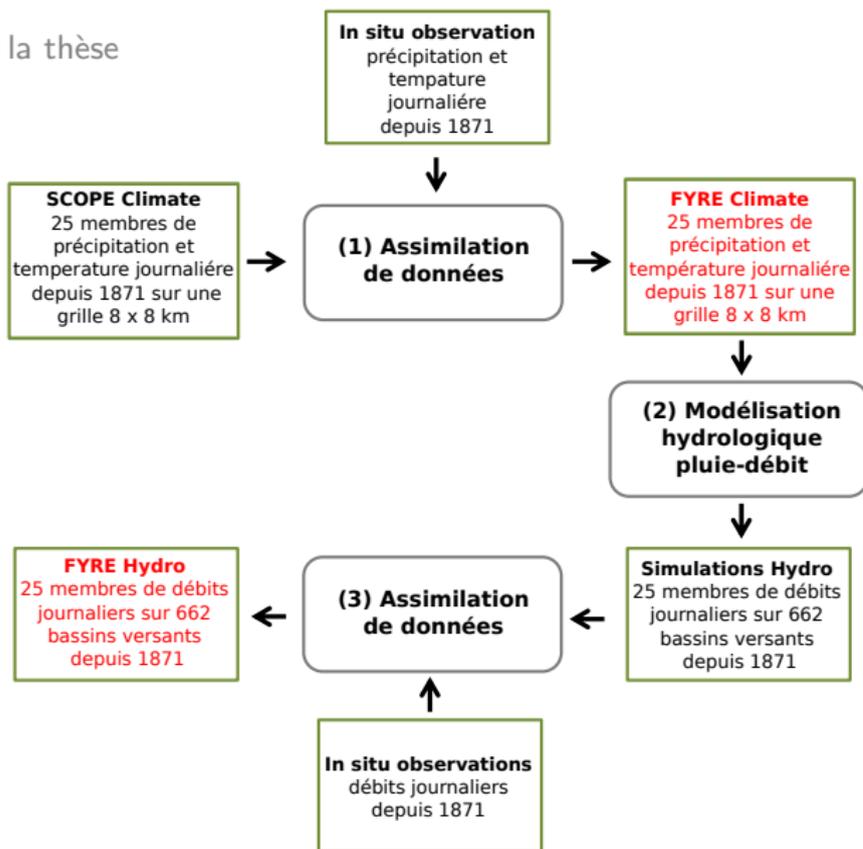
Résultats : Continuous Ranked Probability Score



- Même avec un petit nombre de stations assimilées une amélioration est visible
- La qualité de la réanalyse est fortement liée au nombre d'observations assimilées
- Valide l'utilisation de la méthode sur 140 ans

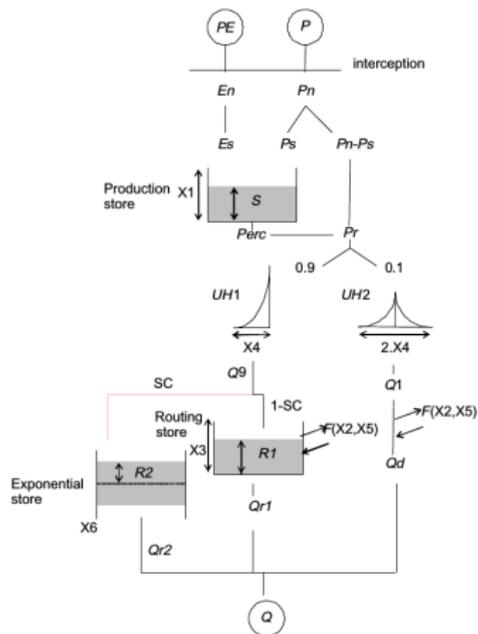
# Contexte

## Objectifs de la thèse



# Simulations hydrologiques

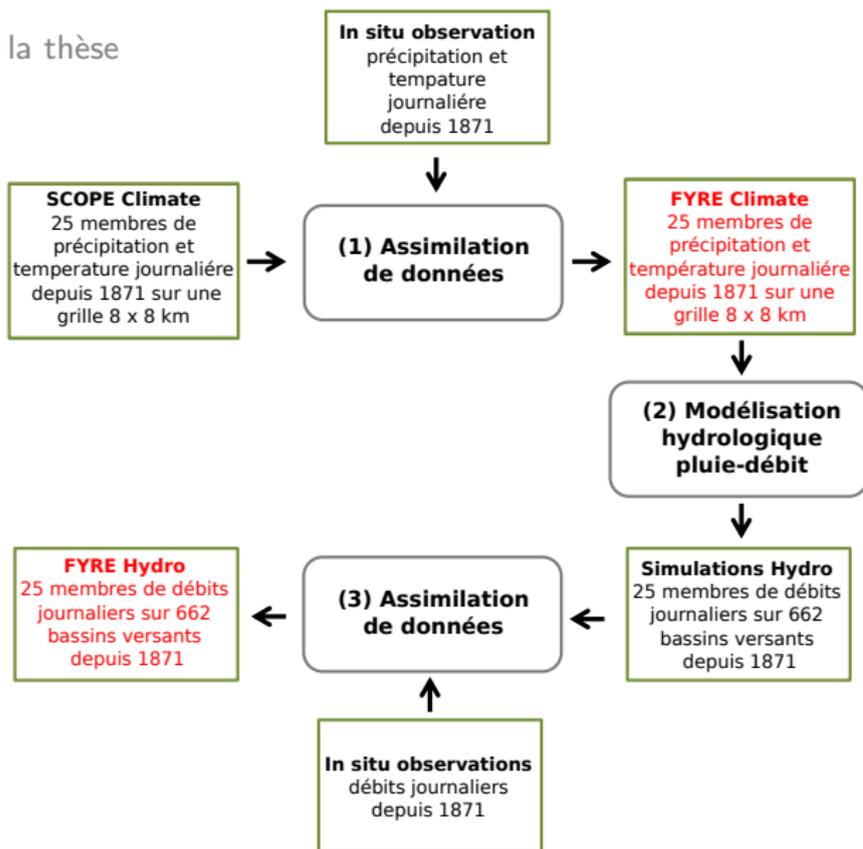
## Le modèle hydrologique



- GR6J (Pushpalatha et al., 2011) : Modèle pluie-débit conceptuel au pas de temps journalier
- Module neige CemaNeige (Valery, 2010)
- Entrée : précipitation, température et évapotranspiration
- 8 paramètres à caler par bassin versant

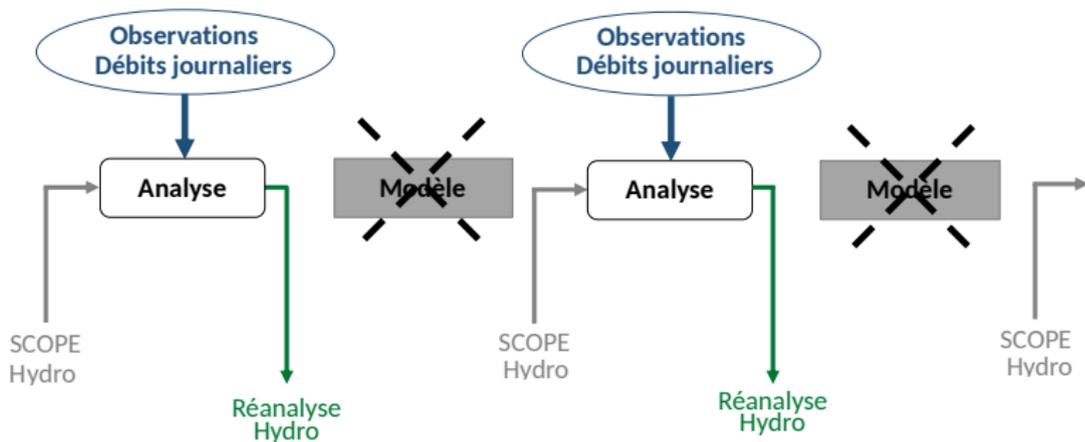
# Contexte

## Objectifs de la thèse



# Assimilation de données hydrologiques

## Principe



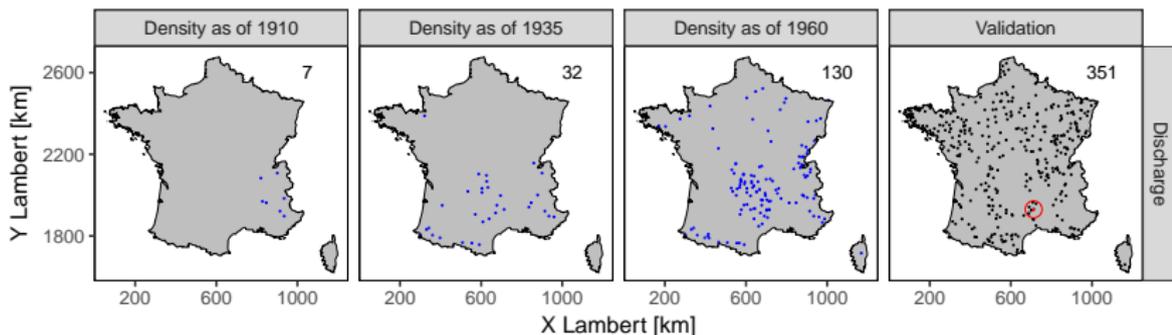
Utilisation de l'Ensemble Square Root Filter (Whitaker and Hamill, 2002)

- + Localisation anisotrope
- + Anamorphose pour les débits journaliers
- + Erreurs d'observation dans le passé ???

# Assimilation de données hydrologiques

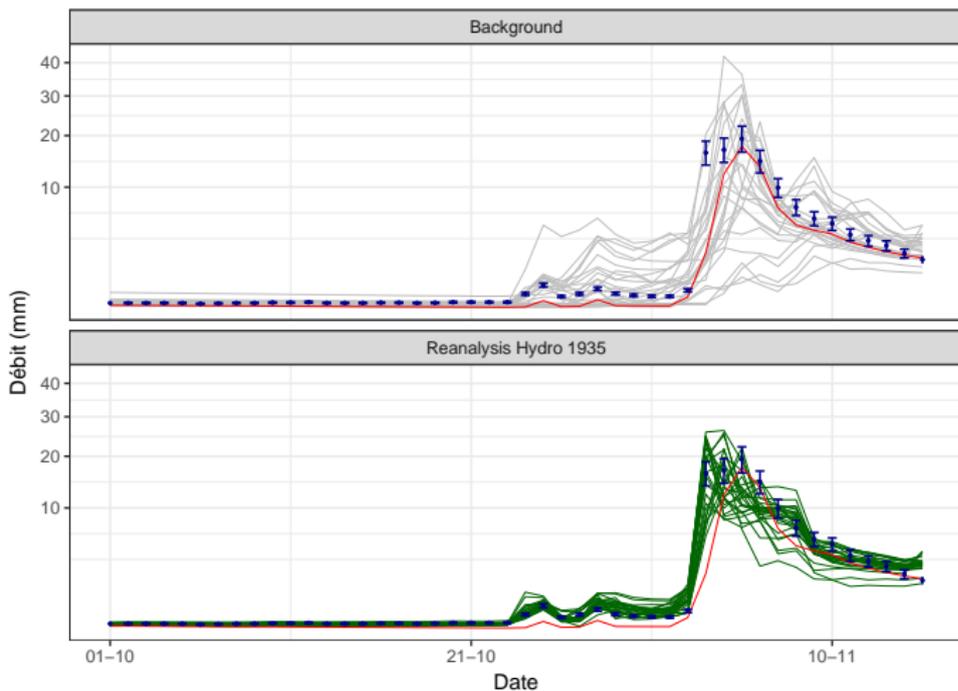
## Validation de l'assimilation

- Production de plusieurs réanalyses sur la période 2009-2012
- Reproduction des densités d'observations du passé : 1910 / 1935 / 1960
- Validation à travers des stations indépendantes



# Assimilation de données hydrologiques

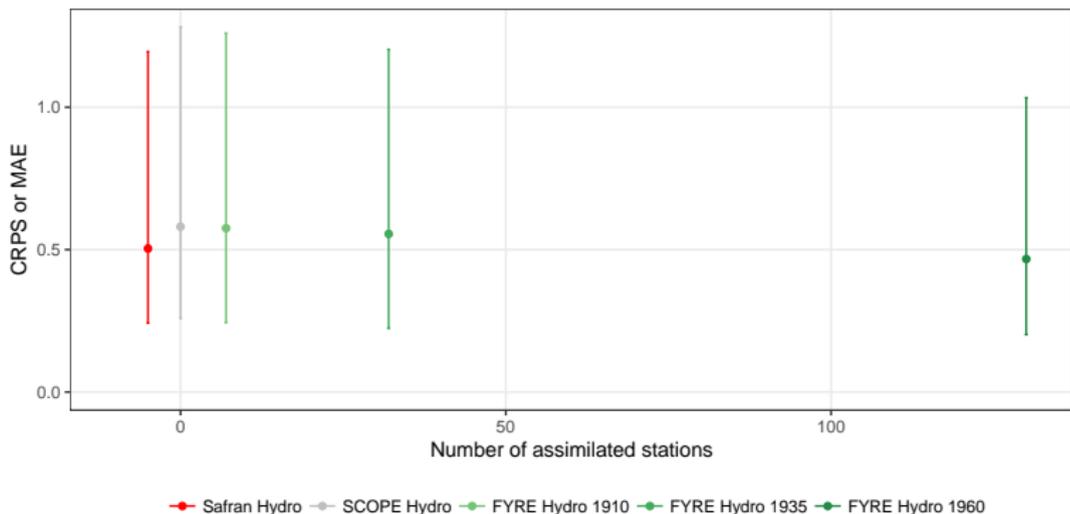
Exemple : Assimilation avec la densité de 1935



Débits journalier sur Le Rieuualet au Pont-de-Montvert au mois de octobre-novembre 2011

# Assimilation de données hydrologiques

Résultats : Continuous Ranked Probability Score



- L'amélioration est visible mais faible avec peu d'observations assimilées
- La qualité de la réanalyse est fortement liée au nombre d'observations assimilées
- Valide l'utilisation de la méthode sur 140 ans

# Conclusion et perspectives

## Conclusion :

- L'assimilation des données météorologiques permet de réduire l'incertitude des reconstructions SCOPE Climate
- La méthode développée est également adaptée à l'assimilation des débits journaliers

## Travaux déjà réalisés :

- Création de la réanalyse FYRE Climate sur les 140 ans
- Comparaison à Safran sur la période 1958-2008
- Modélisation hydrologique en utilisant FYRE Climate en entrée

## Conclusion et perspectives

### Perspectives :

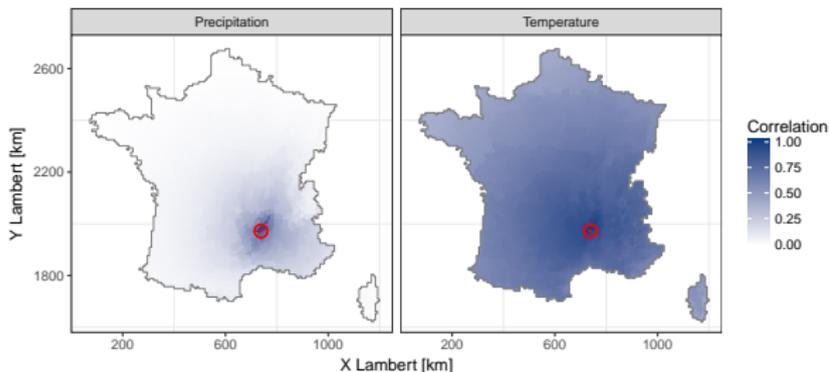
- Comparaison détaillée de la modélisation hydrologique sous FYRE Climate à la modélisation hydrologique sous Safran
- Incorporer une incertitude du modèle dans la chaîne de modélisation (par exemple en perturbant les paramètres)
- Voir l'impact de la méthode d'assimilation sur la modélisation hydrologique sous FYRE Climate
- Utiliser le modèle pour l'assimilation de débit

# Bibliographie

- Caillouet, L., Vidal, J.-P., Sauquet, E., Devers, A., and Graff, B. (2017). Ensemble reconstruction of spatio-temporal extreme low-flow events in france since 1871. *Hydrology and Earth System Sciences*, 21(6):2923–2951.
- Caillouet, L., Vidal, J.-P., Sauquet, E., and Graff, B. (2016). Probabilistic precipitation and temperature downscaling of the twentieth century reanalysis over france. *Climate of the Past*, 12(3):635–662.
- 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.
- Compo, G. P., Whitaker, J. S., Sardeshmukh, P. D., Matsui, N., Allan, R. J., Yin, X., Gleason, B. E., Vose, R. S., Rutledge, G., Bessemoulin, P., Brönnimann, S., Brunet, M., Crouthamel, R. I., Grant, A. N., Groisman, P. Y., Jones, P. D., Kruk, M. C., Kruger, A. C., Marshall, G. J., Mauder, M., Mok, H. Y., Nordli, Ø., Ross, T. F., Trigo, R. M., Wang, X. L., Woodruff, S. D., and Worley, S. J. (2011). The twentieth century reanalysis project. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 137(654):1–28.
- Evensen, G. (2003). The ensemble kalman filter: theoretical formulation and practical implementation. *Ocean Dynamics*, 53(4):343–367.
- 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.
- Valery, A. (2010). *Modélisation précipitations – débit sous influence nivale. Élaboration d'un module neige et évaluation sur 380 bassins versants*. PhD thesis, AgroParisTech.
- Wackernagel, H. (2003). *Multivariate Geostatistics: An Introduction with Applications*. Number 388p. Springer Science & Business Media.
- Whitaker, J. S. and Hamill, T. M. (2002). Ensemble data assimilation without perturbed observations. *Monthly Weather Review*, 130(7):1913–1924.

# FYRE Climate : méthode

## Localisation



Matrices de corrélation utilisées dans FYRE Climate pour la température et les précipitations pour une cellule des Cévennes

Basées sur :

- les corrélations journalières des séries désaisonnalisées basée sur SCOPE Climate (1958-2008),
- une décroissance exponentielle avec la distance.

Permet de relâcher l'hypothèse des zones climatologiquement homogènes héritée de Safran et d'obtenir des matrices de localisation anisotropes

# FYRE Climate : méthode

## Erreurs d'observation

- Sur la période récente (1999-2012) : utilisation des métadonnées de Météo-France prenant en compte l'erreur de représentativité (5 classes) et l'erreur de performance maintenue (5 classes)
- Sur la période ancienne (avant 1999) le type de station est pris en compte

	Type 0 et 1	Autres types
	Classe 2	Classe 3
Température	0,5 °C	1,4 °C
Précipitation	7 % ou 1 mm	18 % ou 1 mm

# FYRE Climate : méthode

Opérateur d'observation

Permet de passer l'ébauche dans l'espace des observations,

- Température : la différence d'altitude entre la station et la cellule est prise en compte. Un gradient altitudinal est calculé par bande de 300 mètres sur chaque zone Safran à l'aide des données de SCOPE Climate
- Précipitation : il n'y a pas de transformation, nous considérons l'impact de l'altitude négligeable en comparaison de l'hétérogénéité spatiale des précipitations.

# FYRE Climate : méthode

## Anamorphose

- Les méthodes de filtrage sont optimales dans un contexte gaussien. Les précipitations journalières sont transformées à l'aide de l'anamorphose (Wackernagel, 2003).

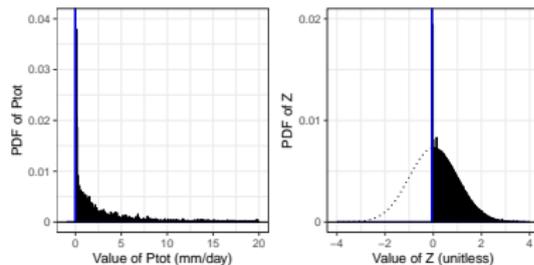
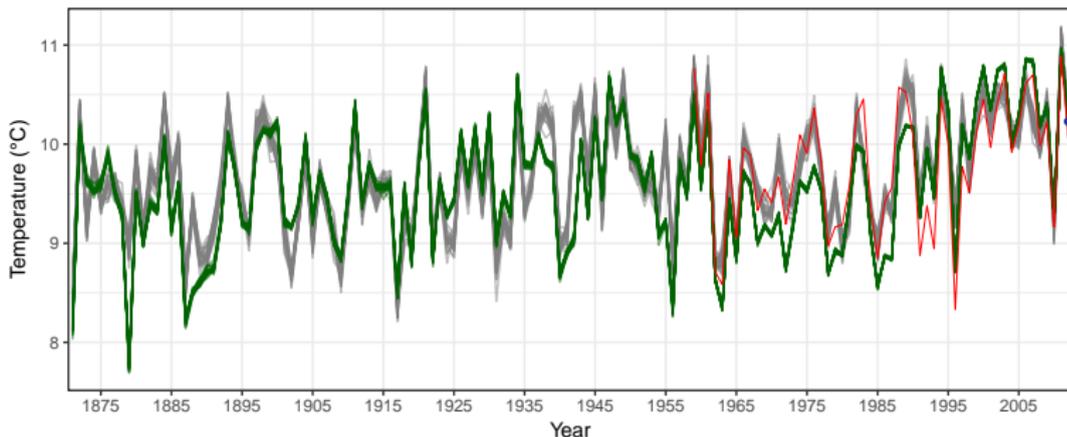


Schéma de l'anamorphose gaussienne appliquée à la cellule du cas d'étude pour les précipitations de SCOPE Climate. Pour la lisibilité de la figure l'axe des x est coupé à 20 mm/d.

La distribution obtenue n'est pas gaussienne du fait d'un Dirac en zéro

## FYRE Climate : résultats pour la température

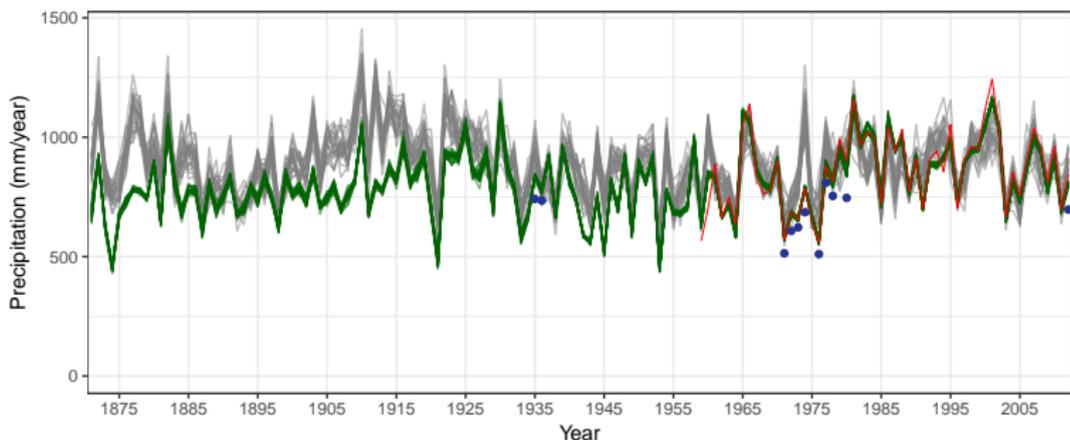
Températures moyennes annuelles



⇒ Différences avec SCOPE Climate / Différences avec Safran sur la période récente / Événements : 1879 et 1887

## FYRE Climate : résultats pour les précipitations

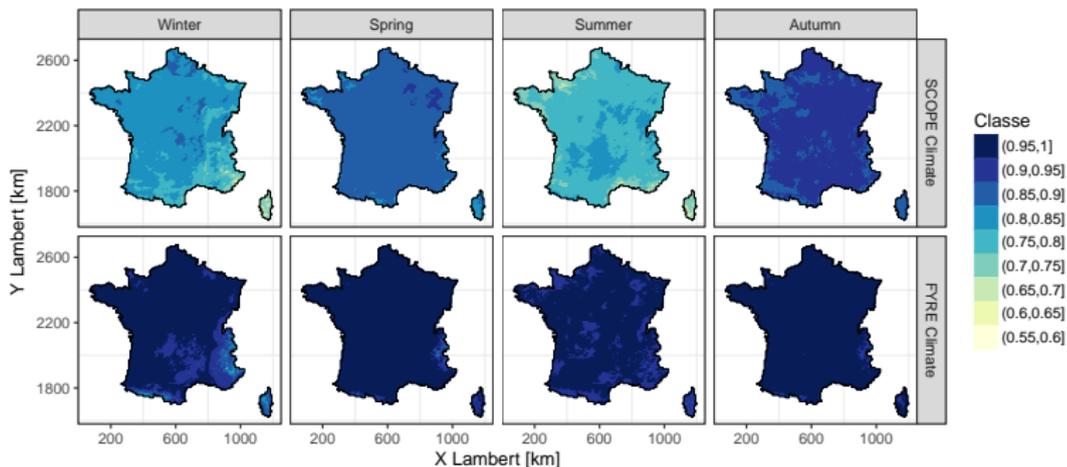
Cumuls des précipitations annuelles



⇒ Différences importantes avec SCOPE Climate / Forte corrélation avec Safran / Événements : 1874 et 1921

# FYRE Climate : résultats pour la température

Corrélations journalières avec Safran sur 1959-2007

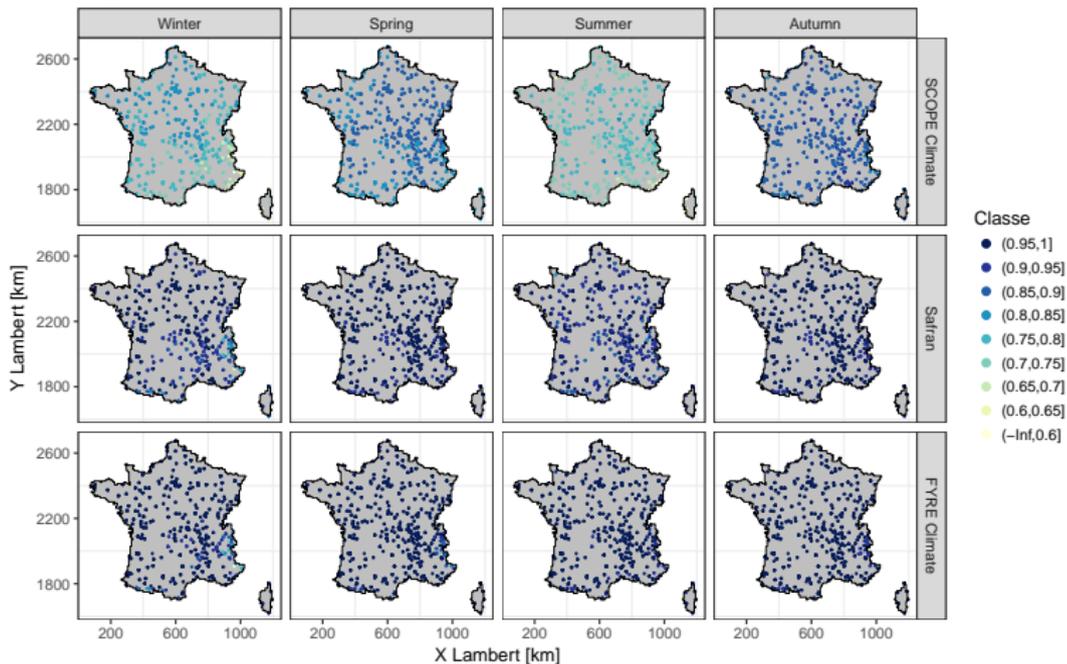


Médiane des corrélations entre les Safran et les membres de SCOPE Climate / FYRE Climate pour les températures sur la période 1957-2009

⇒ **Corrélations plus élevées avec FYRE Climate que SCOPE Climate**

# FYRE Climate : résultats pour la température

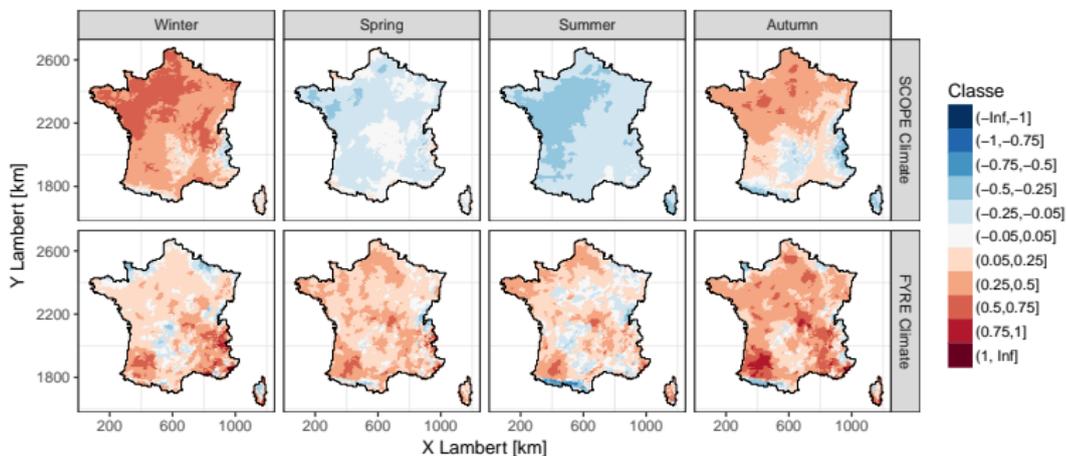
Corrélations journalières avec les observations sur 1959-2007



Médiane des corrélations entre les observations et SCOPE Climate / FYRE Climate / Safran pour les températures sur la période 1957-2009

# FYRE Climate : résultats pour la température

Biais journaliers avec Safran sur 1959-2007

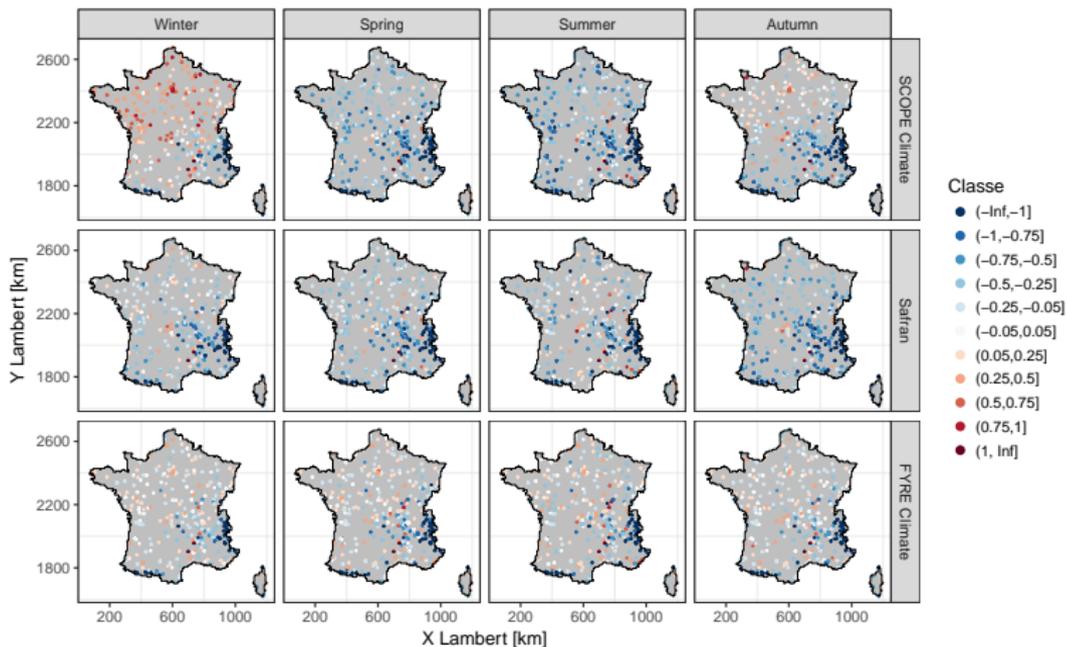


Médiane des biais entre Safran et SCOPE Climate / FYRE Climate pour les températures sur la période

1957-2009

# FYRE Climate : résultats pour la température

Biais journaliers avec les observations sur 1959-2007

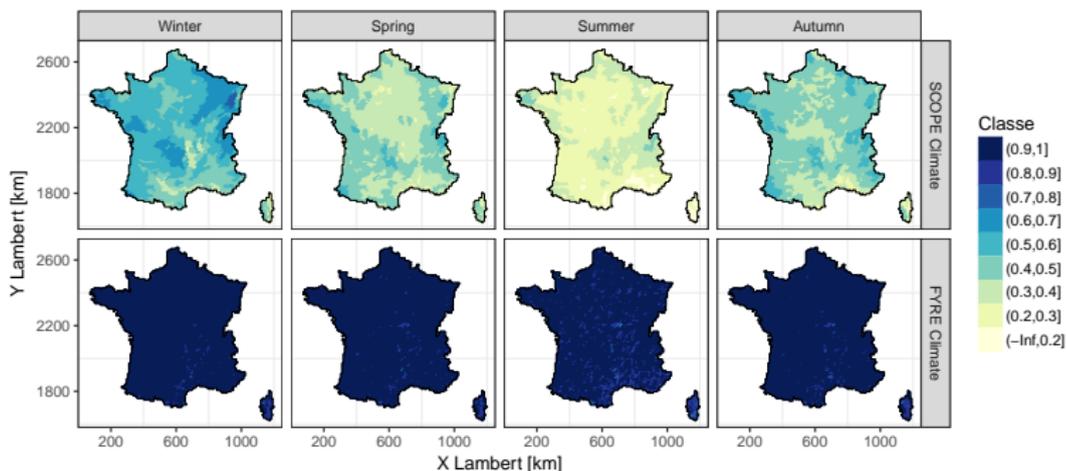


Médiane des biais entre les observations et SCOPE Climate / FYRE Climate / Safran pour les températures

sur la période 1957-2009

# FYRE Climate : résultats pour les précipitations

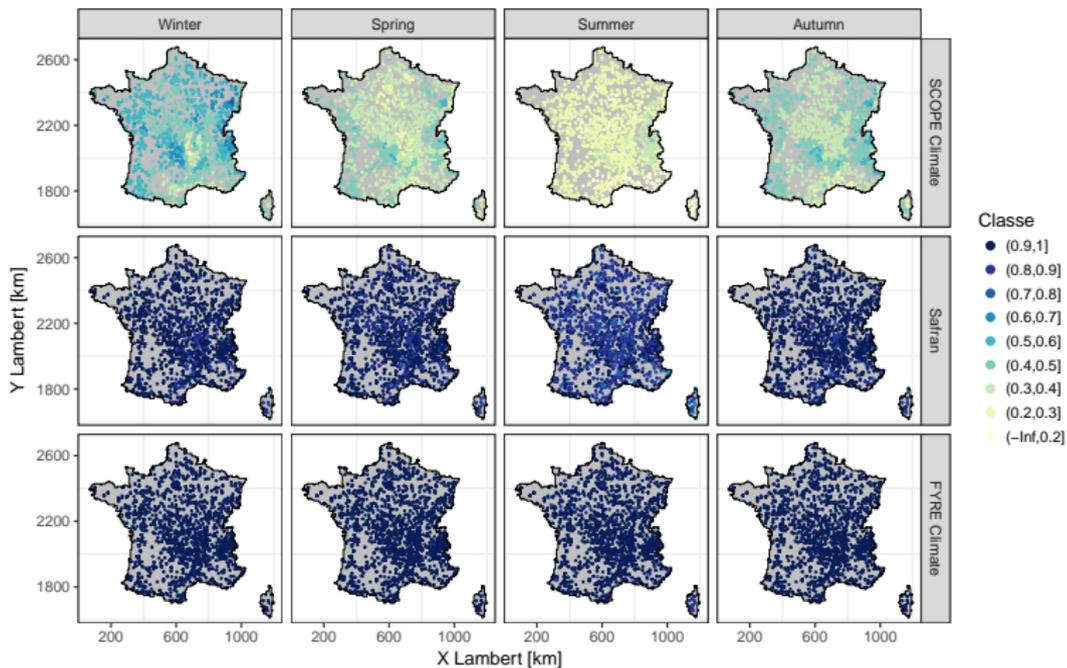
Corrélations journalières avec Safran sur 1959-2007



Médiane des corrélations entre Safran et les membres de SCOPE Climate / FYRE Climate pour les précipitations sur la période 1957-2009

# FYRE Climate : résultats pour les précipitations

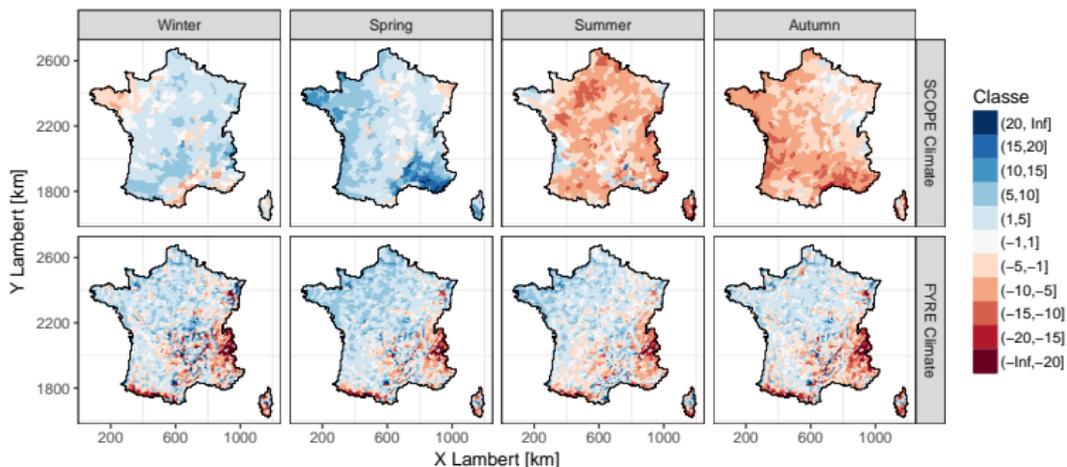
Corrélations journalières avec les observations sur 1959-2007



Médiane des corrélations entre les observations et SCOPE Climate / FYRE Climate / Safran pour les précipitations sur la période 1957-2009

# FYRE Climate : résultats pour les précipitations

Biais journaliers avec Safran sur 1959-2007

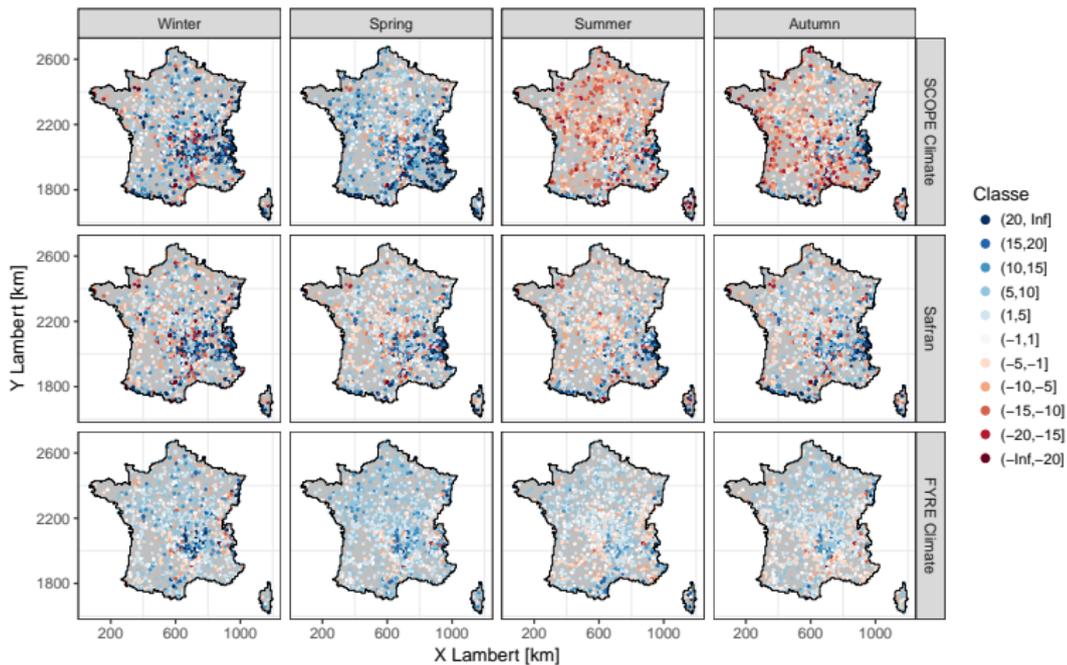


Médiane des biais entre Safran et SCOPE Climate / FYRE Climate pour les précipitations sur la période

1957-2009

# FYRE Climate : résultats pour les précipitations

Biais journaliers avec les observations sur 1959-2007



Médiane des biais entre les observations et SCOPE Climate / FYRE Climate / Safran pour les précipitations sur la période 1957-2009