

Comment le changement abrupt dans les températures de surface impacte le cycle de l'eau en France ?

Léa Laurent^{1,2}, Albin Ullmann¹, Claude Perrot², Xavier Aubouy³, Thierry Castel¹

06/07/2022

¹CRC, Biogéosciences, UMR 6282 CNRS/Université de Bourgogne Franche-Comté, 6 boulevard Gabriel, 21000 Dijon, France

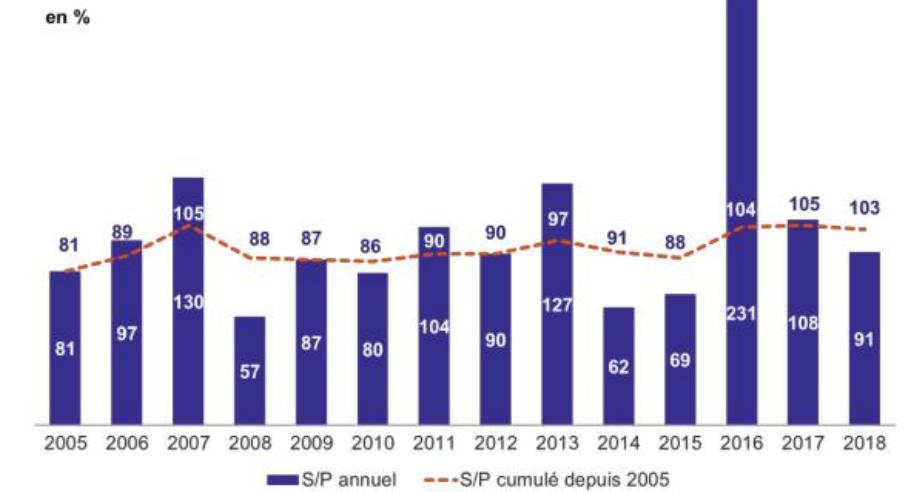
²Domaine Assurance Récolte, Groupama Rhône-Alpes Auvergne, 24 rue Charles Durand, 18020 Bourges Cedex, France

³Direction Etudes Tarification et Pilotage Secteur Risques Professionnels Agricoles, Groupama Mutuelle d'Assurance, 8 rue d'Astorg, 75008 Paris

Contexte socio-économique

L'assurance MultiRisque Climatique et les risques agro-climatiques

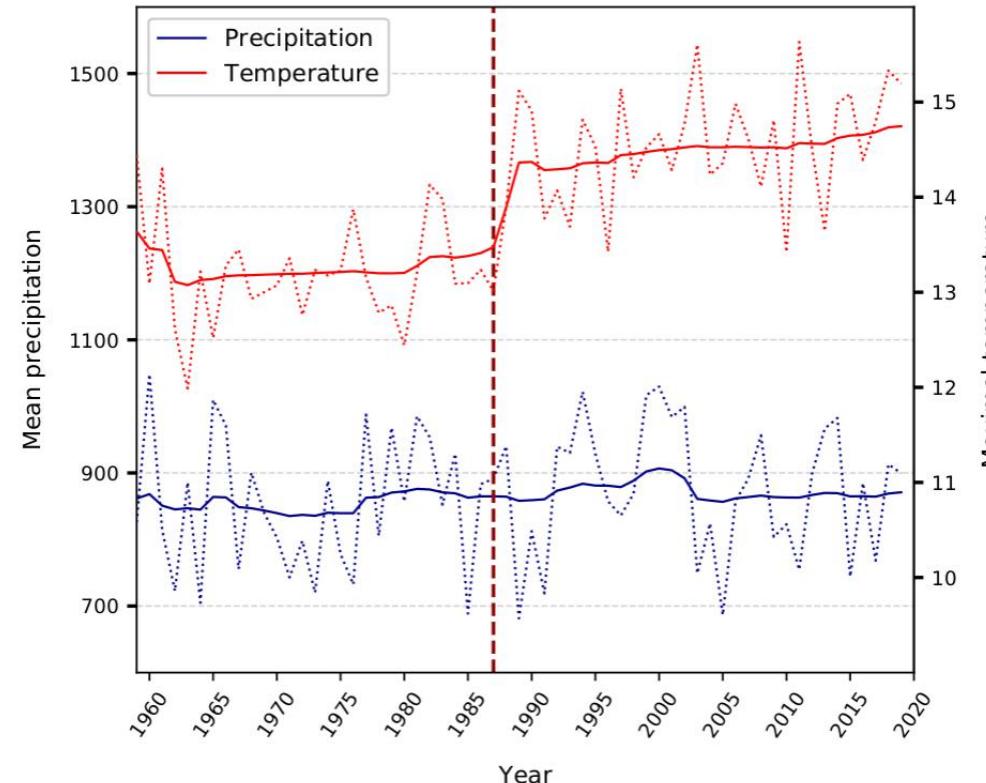
- Plusieurs **aléas climatiques** affectent les **rendements** des cultures en France (sécheresse, grêle, excès d'eau, ...)
- Évolution de la **fréquence** et de l'**intensité** des **aléas** modifie les **risques agro-climatiques**
- **Secteurs agricole et assurantiel** particulièrement **exposé** à ces risques
- Forte **sinistralité** des **contrats MRC** depuis leur création, **enjeu important** pour les **assureurs**



Résultats des contrats MultiRisques Climatiques (MRC) en France. Létardart & Lelièvre, 2019.

Contexte scientifique

Réchauffement des températures et rupture de stationnarité



- **Rupture de stationnarité pour T_{min} et T_{max} en France en 1987/1988**
- **Pas de rupture ou de tendance significative dans la quantité annuelle de précipitations**

Saisonnalité

Period	Minimum temperature			Maximum temperature		
	% of stations	ΔT (°C)	95% HDI	% of stations	ΔT (°C)	95% HDI
YEAR	62	+0.92*	0.67–1.18	84	+1.1*	0.81–1.46
DJF	11	+0.64*	0.58–0.71	44	+0.92*	0.86–0.99
MAM	81	+1.13*	1.09–1.17	92	+1.55*	1.51–1.6
JJA	30	+1.1*	1.07–1.14	40	+1.31*	1.26–1.36
SON	4	+0.68	0.63–0.73	0	+0.48	0.43–0.52

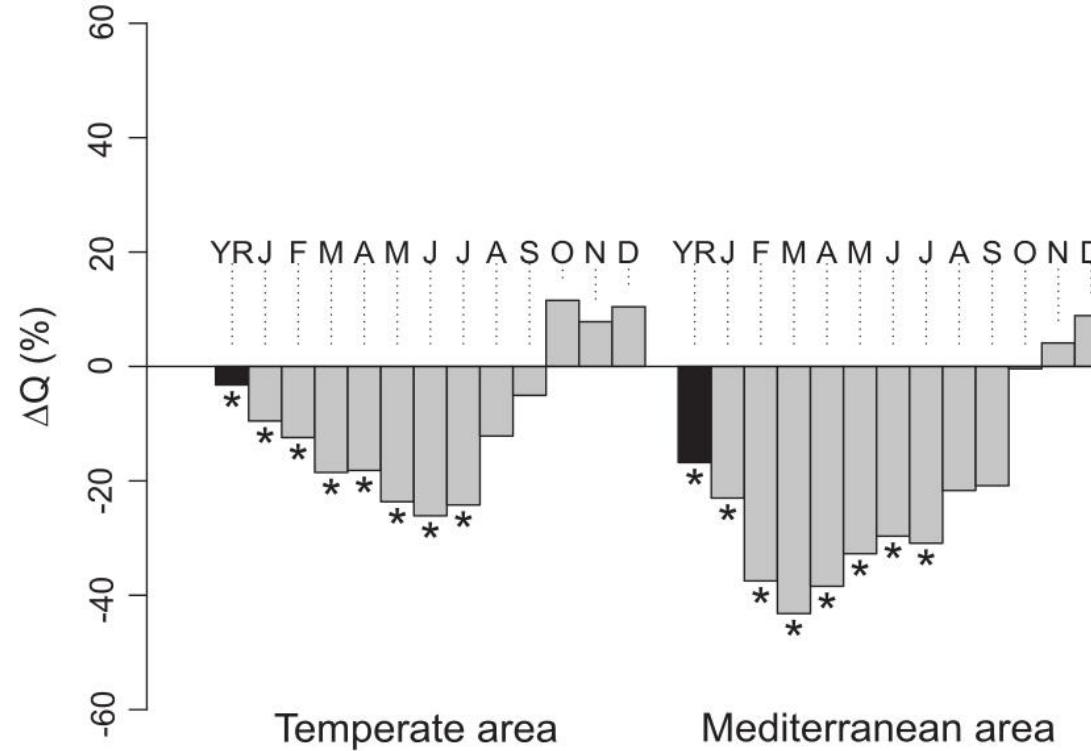
* Significant values are based on Bayesian analysis.

Brulebois et al., 2015.

- **Printemps saison la plus impactée**

Contexte scientifique

Evolution cycle de l'eau

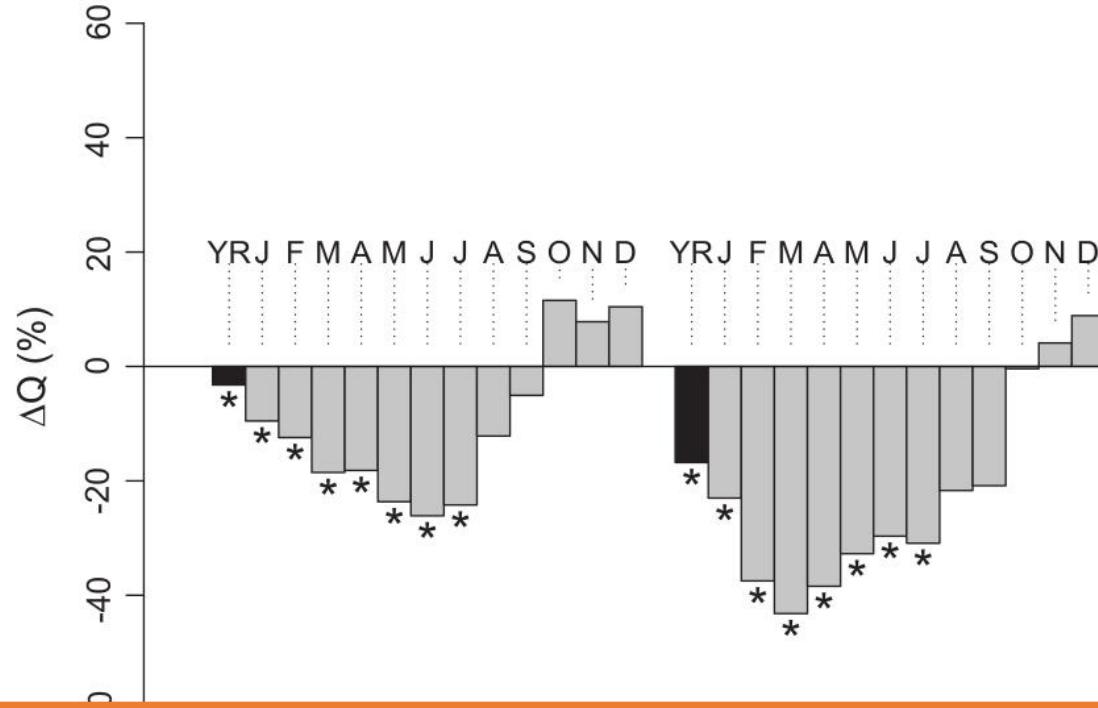


Brulebois et al., 2015.

- **Débits annuels en baisse** après 1987/1988 de **janvier à juillet**
- **Effet mémoire du sol** : humidité du sol en baisse au printemps induit assèchement du sol en été
- Rôles de l'**évapotranspiration** et des **précipitations** ?

Contexte scientifique

Evolution cycle de l'eau

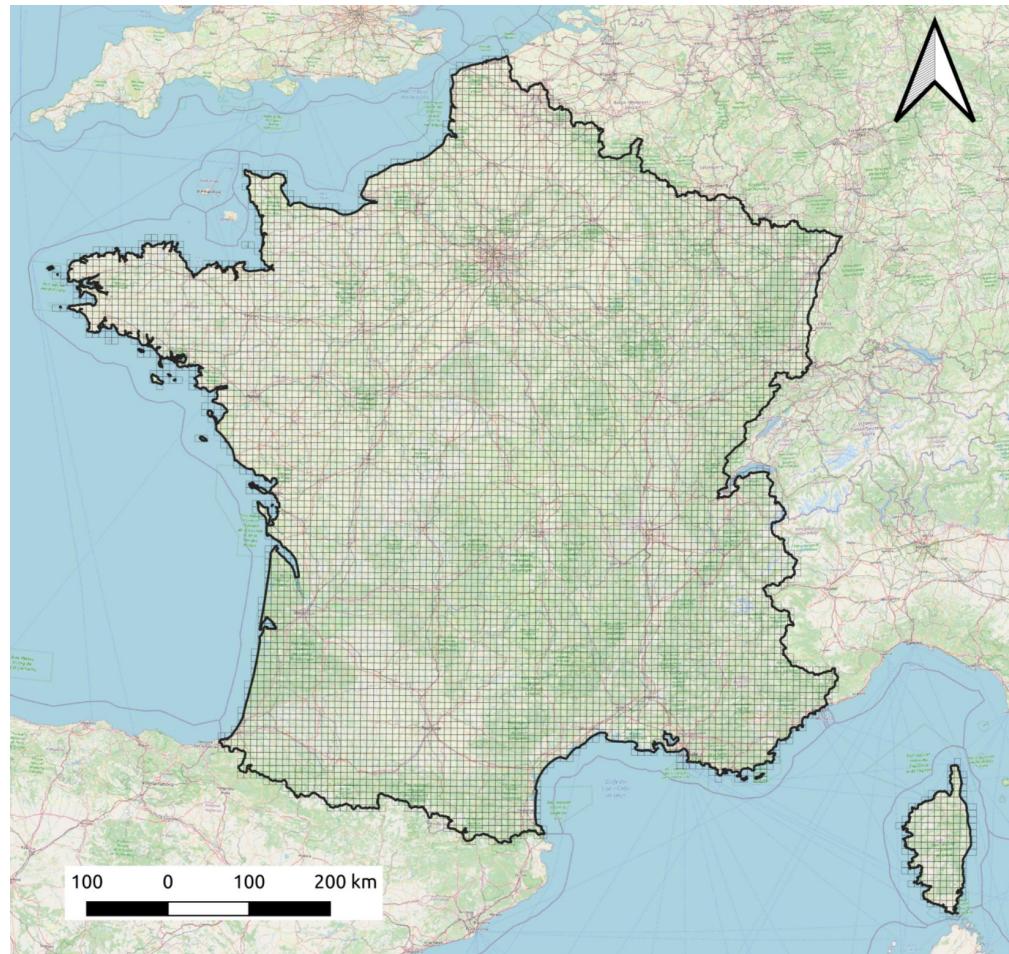


- **Débits annuels en baisse** après 1987/1988 de **janvier à juillet**
- **Effet mémoire du sol** : humidité du sol en baisse au printemps induit assèchement du sol en été
- Rôles de l'**évapotranspiration** et des **précipitations** ?

Quelles sont les variables climatiques responsables de l'évolution du cycle de l'eau ? Quels sont les évolutions temporelles et spatiales du bilan hydrique ?

Données climatiques

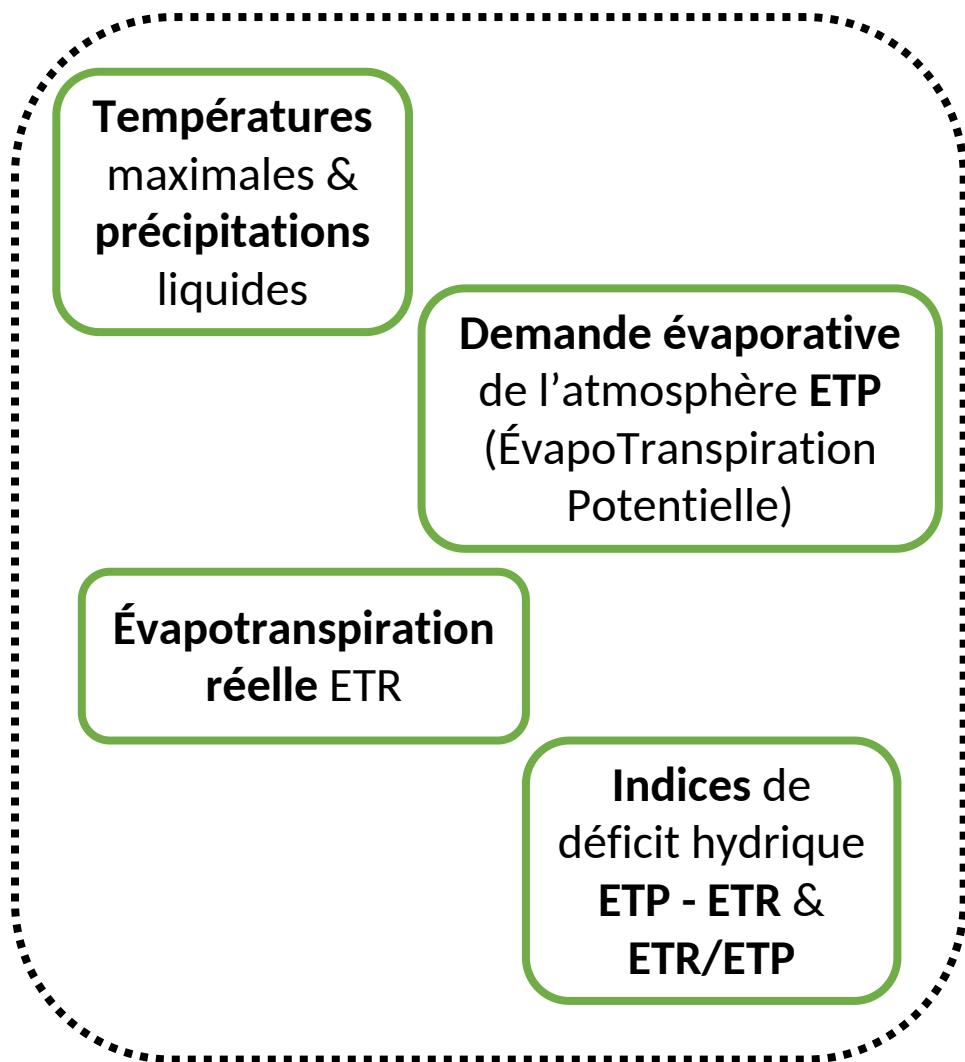
Safran-Isba-Modcou (SIM) - Météo France



Safran-Isba-Modcou (SIM) grid points.

- **Réanalyse des observations des stations Météo France au pas de temps quotidien de 1959 à 2019**
- Grille de résolution **8km x 8km**
- **Combinaison de modèles** : système de réanalyse météorologique - modèle de surface - modèle hydrologique
- Chaîne de modélisation **robuste**, bonne estimation des fluxs d'eau

Variables étudiées et méthodes statistiques utilisées



Variables étudiées et méthodes statistiques utilisées

Températures maximales & précipitations liquides

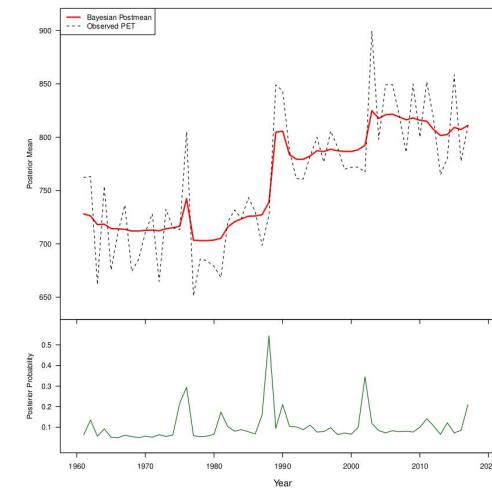
Demande évaporative de l'atmosphère ETP (ÉvapoTranspiration Potentielle)

Évapotranspiration réelle ETR

Indices de déficit hydrique ETP - ETR & ETR/ETP

Tests bayésiens de détection de rupture

Tests bayésiens des différences par rapport à 1987/1988



Variables étudiées et méthodes statistiques utilisées

Températures maximales & précipitations liquides

Demande évaporative de l'atmosphère ETP (ÉvapoTranspiration Potentielle)

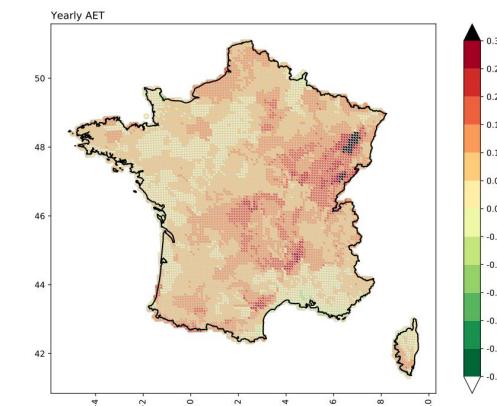
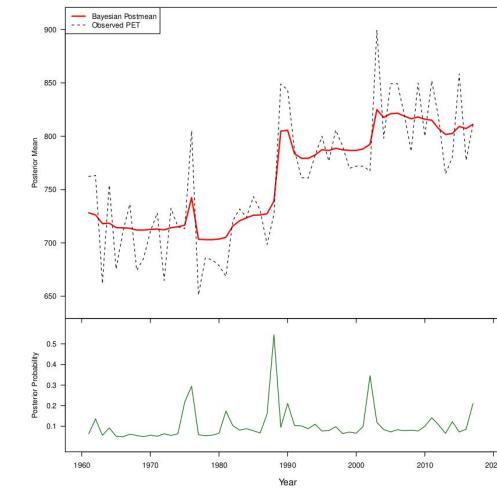
Évapotranspiration réelle ETR

Indices de déficit hydrique ETP - ETR & ETR/ETP

Tests bayésiens de détection de rupture

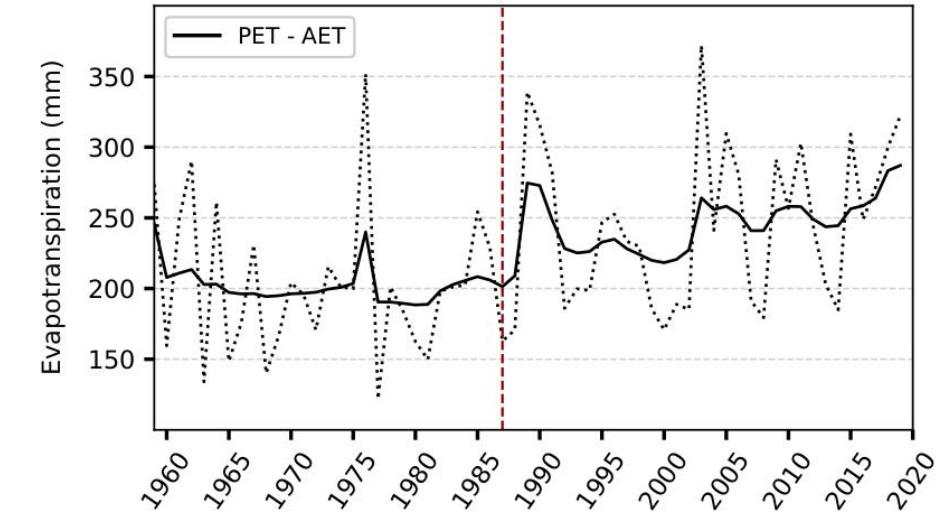
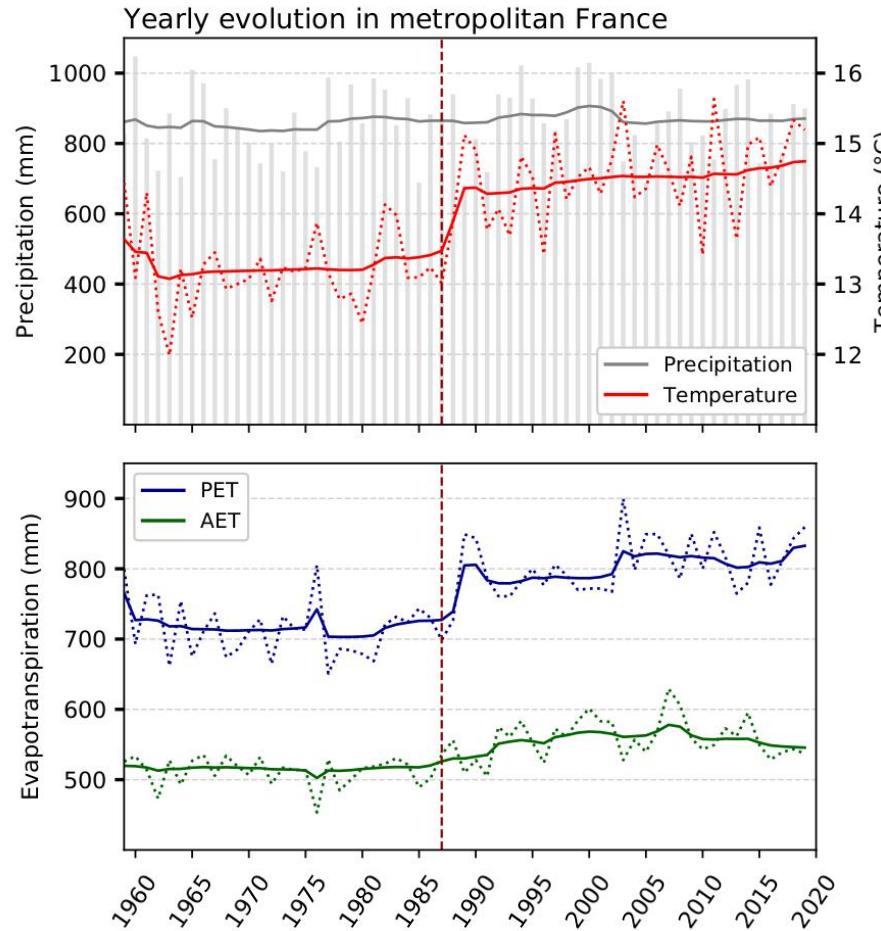
Tests bayésiens des différences par rapport à 1987/1988

Évolution spatiale des variables par rapport à 1987/1988



Ruptures de stationnarité dans le cycle de l'eau

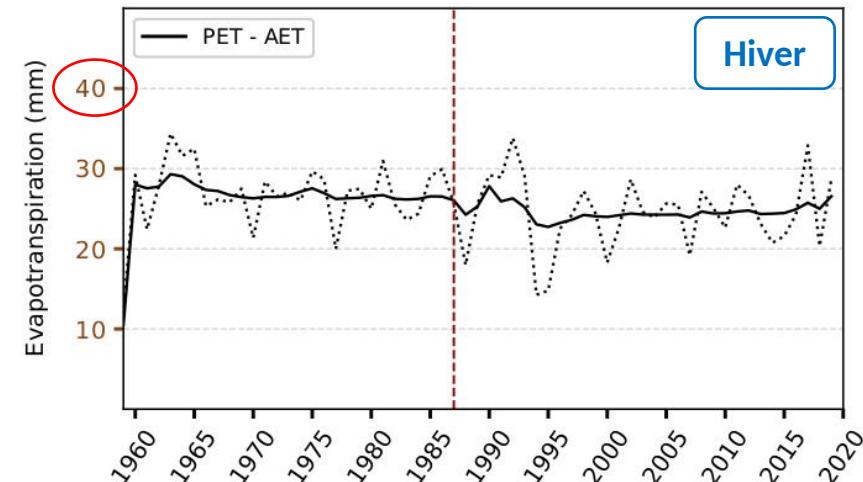
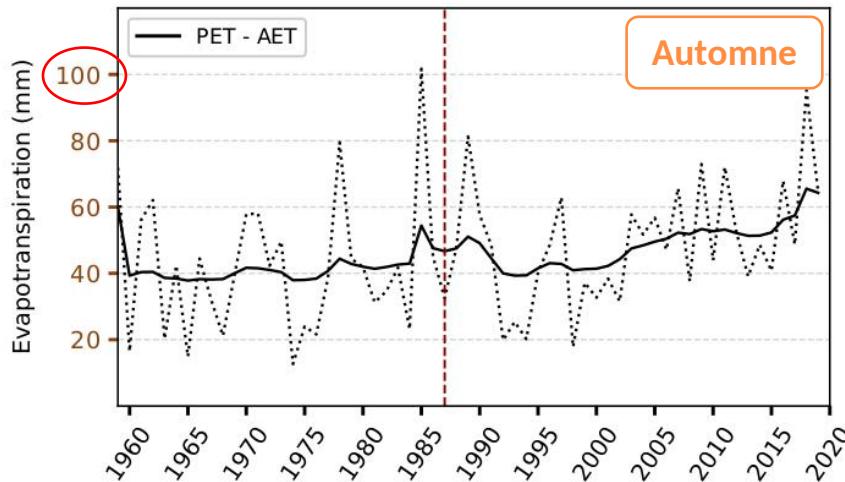
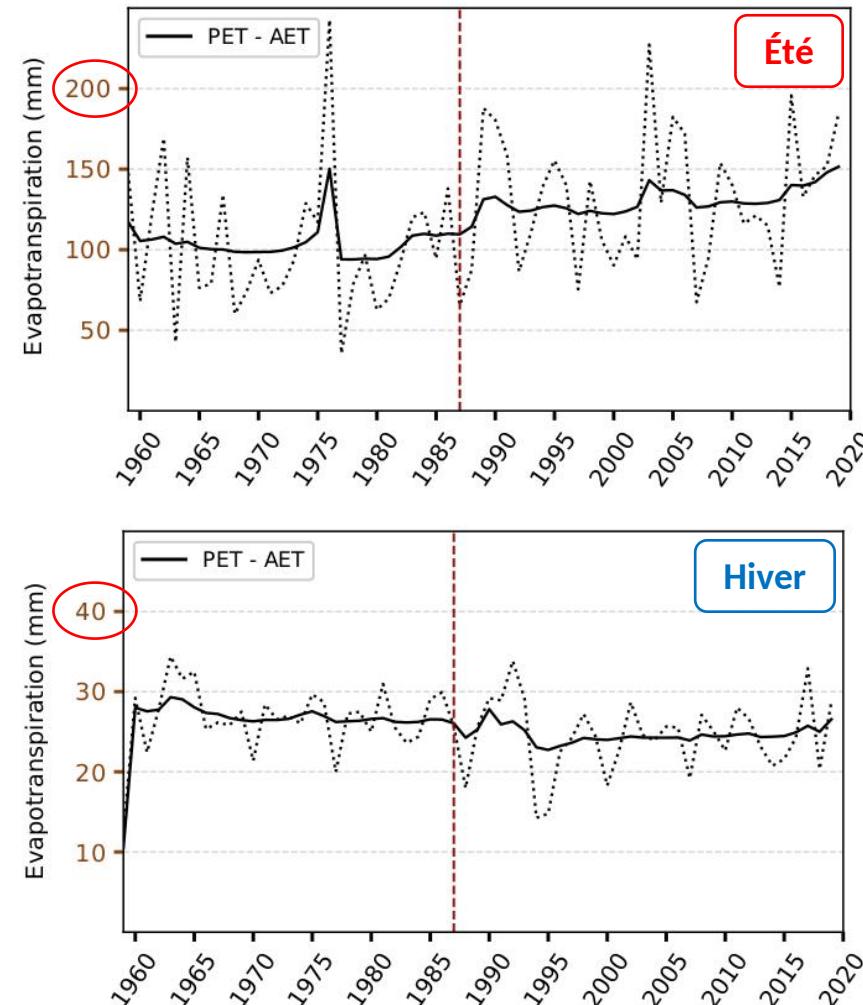
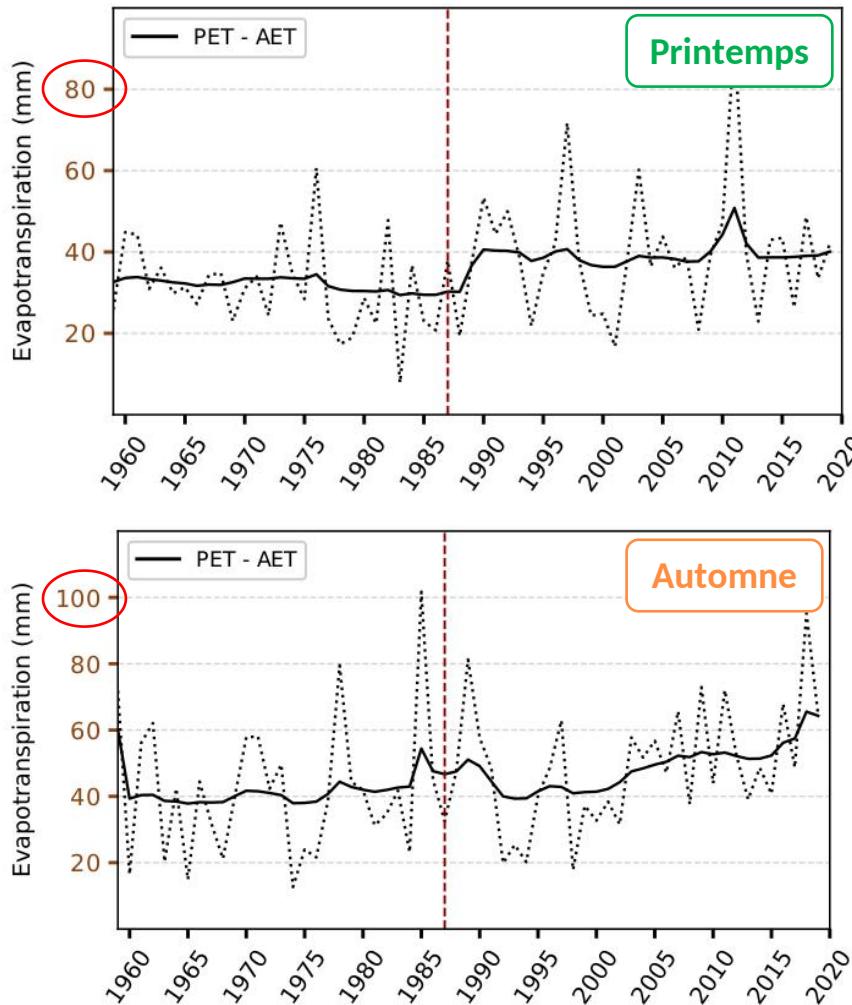
Échelle annuelle



- **Rupture de la demande évaporative qui suit celle des températures**
- **Évapotranspiration réelle augmente peu après 1987/1988**
- **Contrainte hydrique augmente de manière importante à l'échelle annuelle en France**

Ruptures de stationnarité dans le cycle de l'eau

Échelle saisonnière



- **Contrainte hydrique : changements saisonniers contrastés**
- **Haussse peu importante au printemps**
- **Augmentation importante en été**
- **Peu d'évolution en automne et en hiver**
- **Nouveau signal sur la dernière décennie**

1987/1988 : un point de rupture

Période	ÉvapoTranspiration Potentielle (ETP)		
	% de points	Δ ETP (mm)	95% HDI
annuel	45	+90.3*	89.8 - 90.9
DJF	31	+5.73*	5.64 - 5.81
MAM	69	+32.5*	32.4 - 32.7
JJA	16	+38.5*	38.2 - 38.8
SON	9	+13.6*	13.5 - 13.8

Période	ÉvapoTranspiration Réelle (ETR)		
	% de points	Δ ETR (mm)	95% HDI
annuel	9	+45.7*	45.4 - 46.1
DJF	37	+8.29*	8.19 - 8.40
MAM	54	+23.2*	23.0 - 23.3
JJA	4	+7.69*	7.43 - 7.96
SON	4	+5.35*	5.25 - 5.46

1987/1988 : un point de rupture

Période	ÉvapoTranspiration Potentielle (ETP)		
	% de points	Δ ETP (mm)	95% HDI
annuel	45	+90.3*	89.8 - 90.9
DJF	31	+5.73*	5.64 - 5.81
MAM	69	+32.5*	32.4 - 32.7
JJA	16	+38.5*	38.2 - 38.8
SON	9	+13.6*	13.5 - 13.8

- **Augmentation importante de la demande évaporative et de l'évapotranspiration réelle à l'échelle annuelle**
- **Rupture plus répandue et plus importante pour la demande évaporative**

Période	ÉvapoTranspiration Réelle (ETR)		
	% de points	Δ ETR (mm)	95% HDI
annuel	9	+45.7*	45.4 - 46.1
DJF	37	+8.29*	8.19 - 8.40
MAM	54	+23.2*	23.0 - 23.3
JJA	4	+7.69*	7.43 - 7.96
SON	4	+5.35*	5.25 - 5.46

1987/1988 : un point de rupture

Période	ÉvapoTranspiration Potentielle (ETP)		
	% de points	ΔETP (mm)	95% HDI
annuel	45	+90.3*	89.8 - 90.9
DJF	31	+5.73*	5.64 - 5.81
MAM	69	+32.5*	32.4 - 32.7
JJA	16	+38.5*	38.2 - 38.8
SON	9	+13.6*	13.5 - 13.8

Période	ÉvapoTranspiration Réelle (ETR)		
	% de points	ΔETR (mm)	95% HDI
annuel	9	+45.7*	45.4 - 46.1
DJF	37	+8.29*	8.19 - 8.40
MAM	54	+23.2*	23.0 - 23.3
JJA	4	+7.69*	7.43 - 7.96
SON	4	+5.35*	5.25 - 5.46

- **Augmentation importante de la demande évaporative et de l'évapotranspiration réelle à l'échelle annuelle**
- **Rupture plus répandue et plus importante pour la demande évaporative**
- **Saisonnalité : printemps forte augmentation de la demande évaporative suivie par l'ETR, été forte augmentation de la contrainte hydrique**

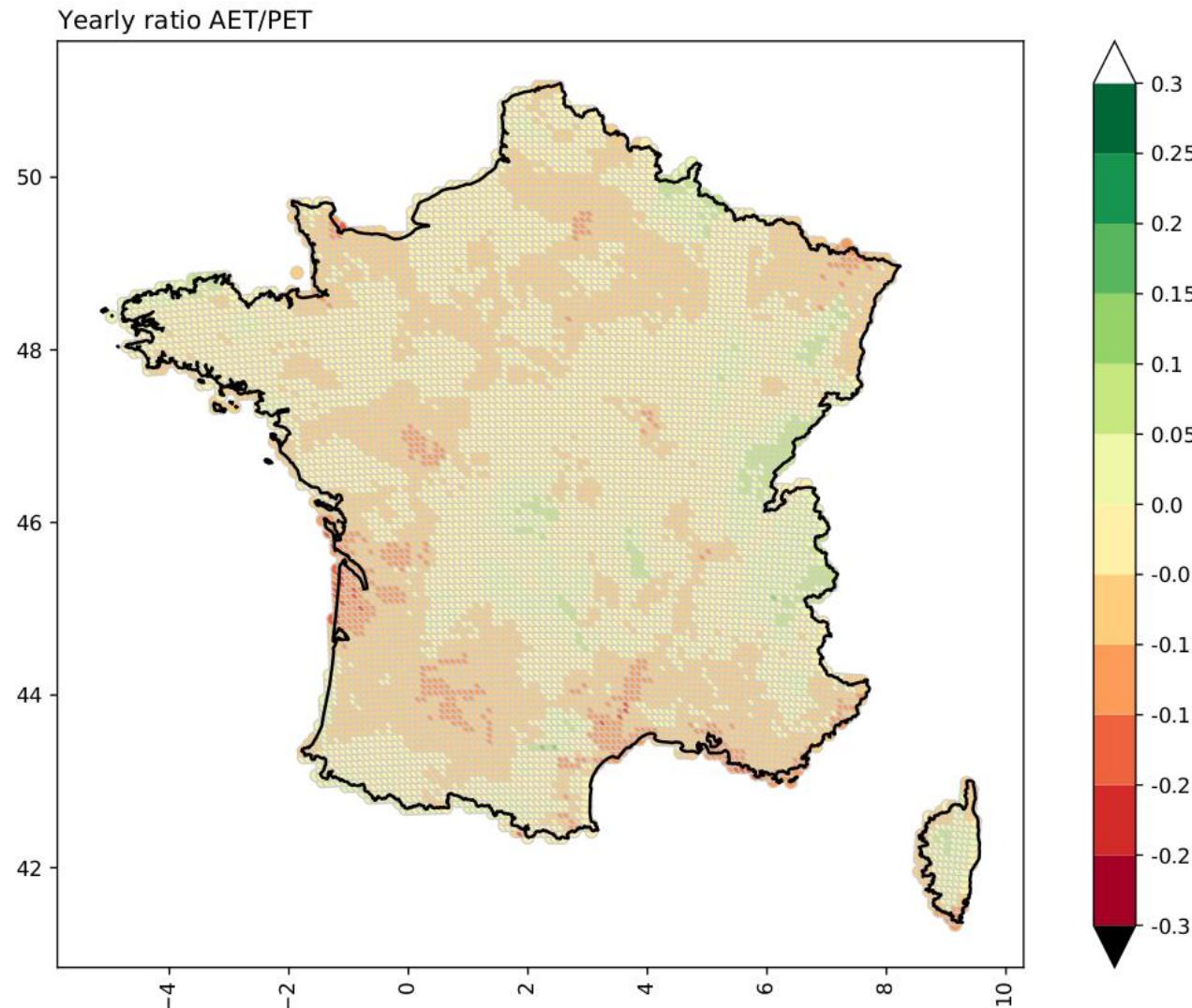
1987/1988 : un point de rupture

Période	ÉvapoTranspiration Potentielle (ETP)		
	% de points	ΔETP (mm)	95% HDI
annuel	45	+90.3*	89.8 - 90.9
DJF	31	+5.73*	5.64 - 5.81
MAM	69	+32.5*	32.4 - 32.7
JJA	16	+38.5*	38.2 - 38.8
SON	9	+13.6*	13.5 - 13.8

Période	ÉvapoTranspiration Réelle (ETR)		
	% de points	ΔETR (mm)	95% HDI
annuel	9	+45.7*	45.4 - 46.1
DJF	37	+8.29*	8.19 - 8.40
MAM	54	+23.2*	23.0 - 23.3
JJA	4	+7.69*	7.43 - 7.96
SON	4	+5.35*	5.25 - 5.46

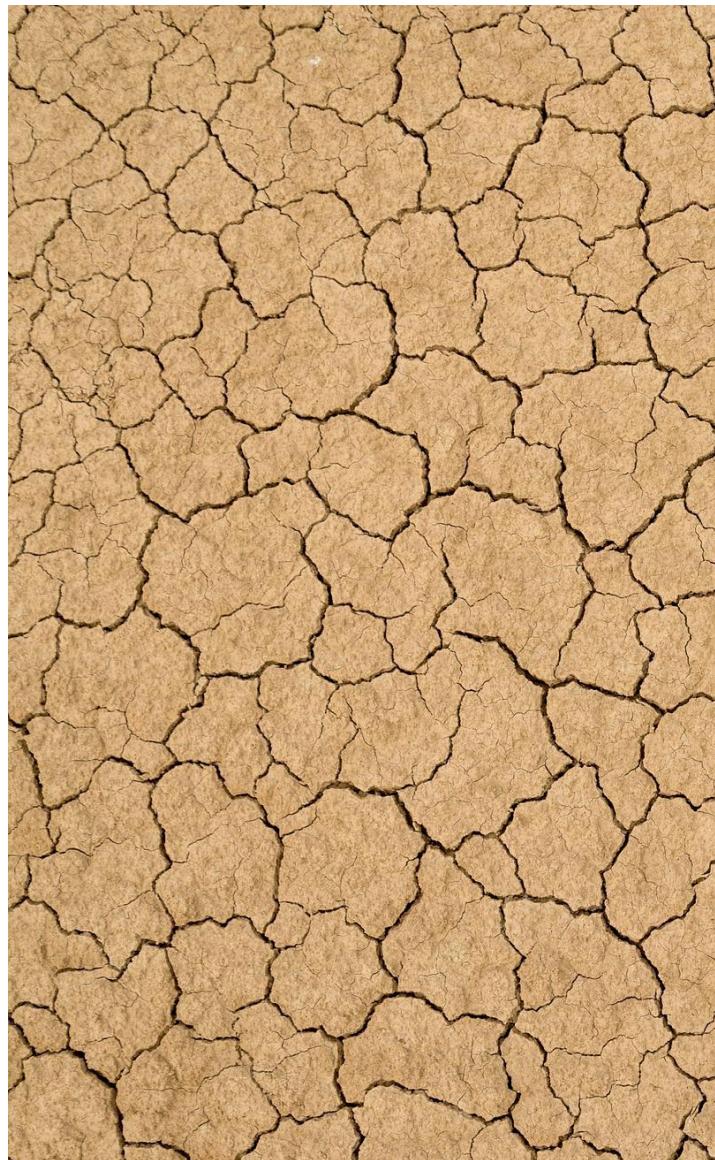
- **Augmentation importante de la demande évaporative et de l'évapotranspiration réelle à l'échelle annuelle**
- **Rupture plus répandue et plus importante pour la demande évaporative**
- **Saisonnalité : printemps forte augmentation de la demande évaporative suivie par l'ETR, été forte augmentation de la contrainte hydrique**
- **Précipitations liquides évoluent peu en volume aux différentes échelles : évolution contrainte hydrique principalement portée par l'évapotranspiration**

Réponse géographique du cycle de l'eau



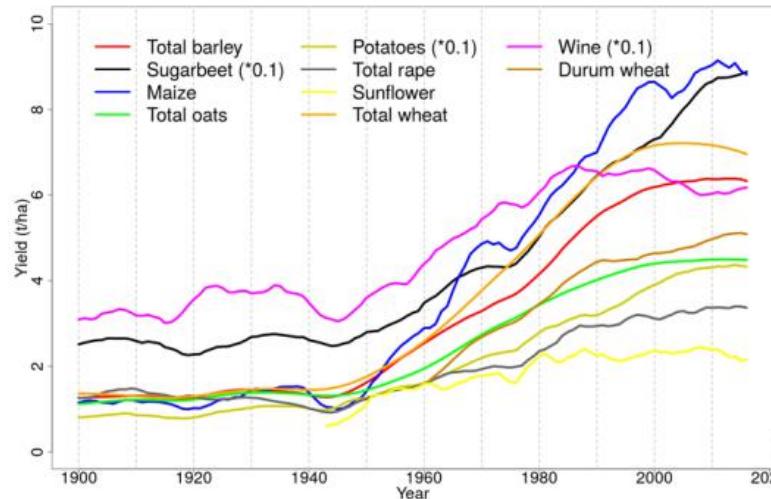
- **Ratio ETR/ETP :** entre 0 (contrainte hydrique forte) et 1 (pas de contrainte hydrique)
- **Contrainte hydrique** augmente de **10 à 20%** après la rupture sur l'extrême Nord-Est, la Picardie, la vallée du Rhône, la côte méditerranéenne et le Sud-Ouest

Les impacts de la rupture en 1987/1988 sur le cycle de l'eau local

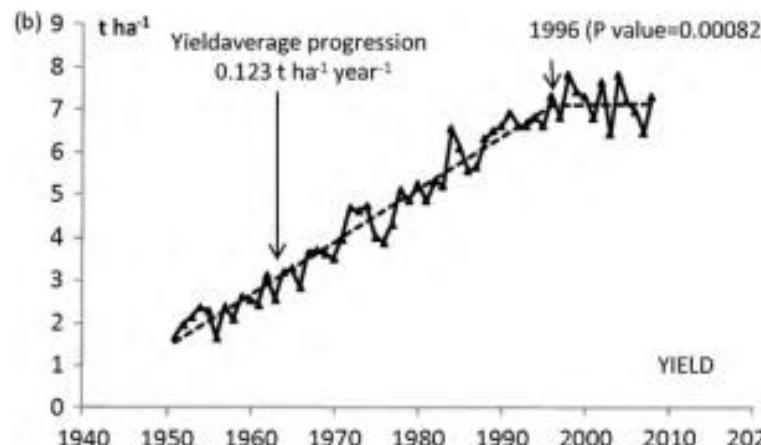


- Forte **augmentation de la demande évaporative** suite à la **rupture dans les températures**
- Échelle **annuelle** : une part importante du **territoire ne suit pas avec la même intensité** la hausse de la **demande évaporative**
- **Réponses contrastées** selon les **saisons** et les **zones géographiques** :
 - **Hausse très importante** de la contrainte hydrique en **été**
 - Extrême Nord-Est, Picardie, vallée du Rhône, côte méditerranéenne, Sud-Ouest **territoires très impactés** par la **hausse** de la contrainte hydrique

Une évolution de l'aléa qui impacte les risques agroclimatiques



Schauberger et al., 2018.

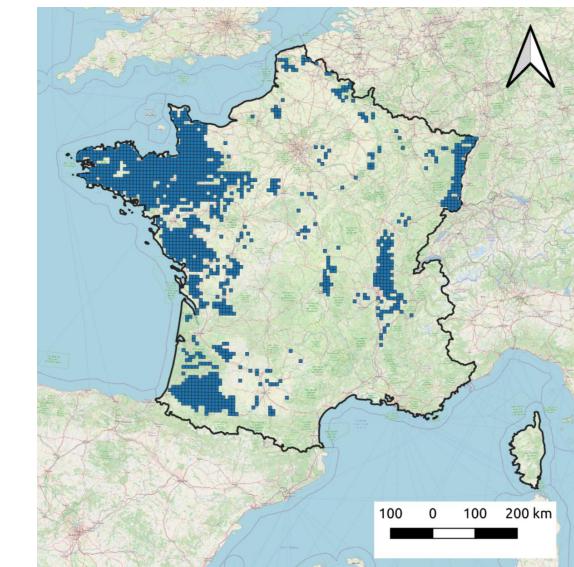
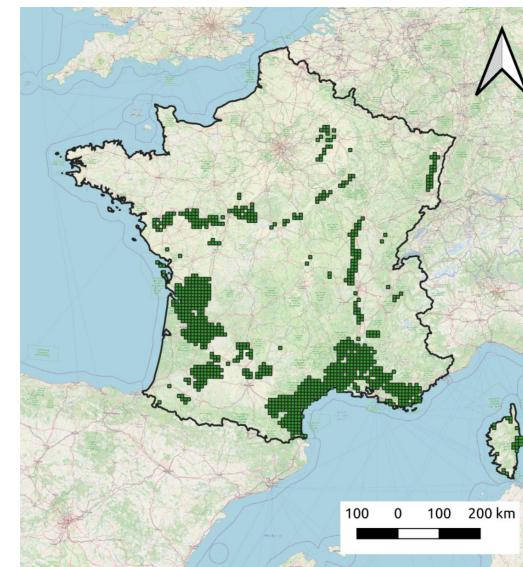
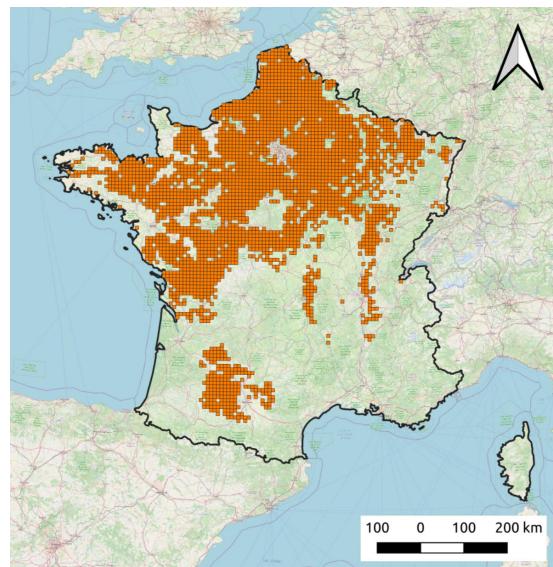


Source des données : AGRESTE. Brisson et al., 2010.

- **Stagnation des rendements depuis ~ 1990 en France**
- **Blé particulièrement impacté**
- **Plusieurs causes identifiées, incluant le changement climatique**
- **Évolution de la contrainte hydrique après la rupture de 1987/1988 pourrait être l'une des causes majeures**
- **Évolution de l'aléa climatique induit évolution du risque agro-climatique : problématique socio-économique importante**

Quelle évolution du bilan hydrique sur les cultures annuelles et pérennes ?

- **Modélisation** du bilan hydrique sur **3 cultures d'intérêt** : blé, maïs et vigne
- Utilisation de **2 modèles de bilan hydrique** : Jacquart & Choisnel, 1995 ; Lebon et al., 2003
- Étude de l'**évolution du risque** lié au dépassement de **seuils de stress hydrique** par rapport à la rupture dans les températures de **1987/1988**



Points de grille avec au moins 10% de surface couverte par des parcelles de blé, de maïs, et 1% par des vignes en 2019.

Merci pour votre attention

Bibliographie

- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D. & Smith, M., 1998: *Crop evapotranspiration — guidelines for computing crop water requirements*. 333 pages.
- Barry, D. & Hartigan, J. A., 1993: A Bayesian Analysis for Change Point Problems. *Journal of the American Statistical Association* 88, 309–319.
- Boé, J. & Habets, F., 2014: Multi-decadal river flow variations in France. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 18, 691–708.
- Brulebois, E., Castel, T., Richard, Y., Chateau-Smith, C. & Amiotte-Suchet, P., 2015: Hydrological response to an abrupt shift in surface air temperature over France in 1987/88. *Journal of Hydrology* 531, 892–901.
- Creed, I. F., Hwang, T., Lutz, B. & Way, D., 2015: Climate warming causes intensification of the hydrological cycle, resulting in changes to the vernal and autumnal windows in a northern temperate forest. *Hydrol. Process.* 29, 3519–3534.
- Doorenbos, J. & Pruitt, W. O., 1977: Guidelines for predicting crop water requirements. (FAO).
- Habets, F. et al., 2008: The SAFRAN-ISBA-MODCOU hydrometeorological model applied over France. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 113.
- Jacquot, C. & Choisnel, E. Un modèle de bilan hydrique simplifié à deux réservoirs utilisable en agrométéorologie. *La Météorologie* 8ème série, 29–44 (1995).
- Kruschke, J. K., 2013: Bayesian estimation supersedes the t test. *Journal of Experimental Psychology: General* 142, 573–603.
- Lebon, E., Dumas, V., Pieri, P. & Schultz, H. R. Modelling the seasonal dynamics of the soil water balance of vineyards. *Functional Plant Biol.* 30, 699–710 (2003).
- Noilhan, J. & Mahfouf, J.-F., 1996: The ISBA land surface parameterisation scheme. *Global and Planetary Change* 13, 145–159.
- Noilhan, J. & Planton, S., 1989: A Simple Parameterization of Land Surface Processes for Meteorological Models. *Monthly Weather Review* 117, 536–549.
- Reid, P. C. et al., 2016: Global impacts of the 1980s regime shift. *Global Change Biology* 22, 682–703.
- Ruggieri, E., 2013: A Bayesian approach to detecting change points in climatic records. *International Journal of Climatology* 33, 520–528.
- Schauberger, B. et al., 2018: Yield trends, variability and stagnation analysis of major crops in France over more than a century. *Sci Rep* 8, 16865.
- Seneviratne, S. I., 2012: Historical drought trends revisited. *Nature* 491, 338–339.
- Sergent, A.-S., Rozenberg, P. & Bréda, 2014: *N. Douglas-fir* is vulnerable to exceptional and recurrent drought episodes and recovers less well on less fertile sites. *Annals of Forest Science* 71, 697–708.
- Soubeyroux, J.-M. et al., 2008: Safran-Isba-Modcou (SIM) : Un outil pour le suivi hydrométéorologique opérationnel et les études. *Météorologie* 8, 40.
- Soubeyroux, J.-M., Kitova, N., Blanchard, M. & Vidal, J. P., 2011: Impact du changement climatique sur la sécheresse et l'eau du sol en France : les résultats du projet CLIMSEC. in 3èmes Rencontres de la recherche et du développement en Poitou-Charentes - Changement climatique : quelles perspectives pour l'agriculture régionale 9–16.
- Terray, L. & Boé, J., 2013: Quantifying 21st-century France climate change and related uncertainties. *Comptes Rendus Geoscience* 345, 136–149.
- Vidal, J.-P., Martin, E., Franchistéguy, L., Baillon, M. & Soubeyroux, J.-M., 2010b: A 50-year high-resolution atmospheric reanalysis over France with the Safran system. *International Journal of Climatology* 30, 1627–1644.

Annexes

Période	Précipitations liquides (PRELIQ)		
	% de points	ΔPRELIQ (mm)	95% HDI
annuel	0	+23.2*	22.0 - 24.3
DJF	1	-3.07*	-3.60 - -2.56
MAM	3	+0.28	-0.12 - 0.69
JJA	1	+3.53*	3.08 - 3.99
SON	0	+10.4*	9.90 - 10.9

Températures maximales - Différence entre la période 1959/1987 et la période 1988/2019 - France métropolitaine

