



Evolution futures des ressources en eau en France et conséquences possibles sur l'agriculture

Agnès Ducharne

Directrice de recherche au CNRS

Laboratoire METIS-IPSL, Paris

Membre correspondante de la section 7

agnes.ducharne@cnrs.fr

Avec Peng Huang & Clémence Mayaux

Laboratoire METIS-IPSL, Paris

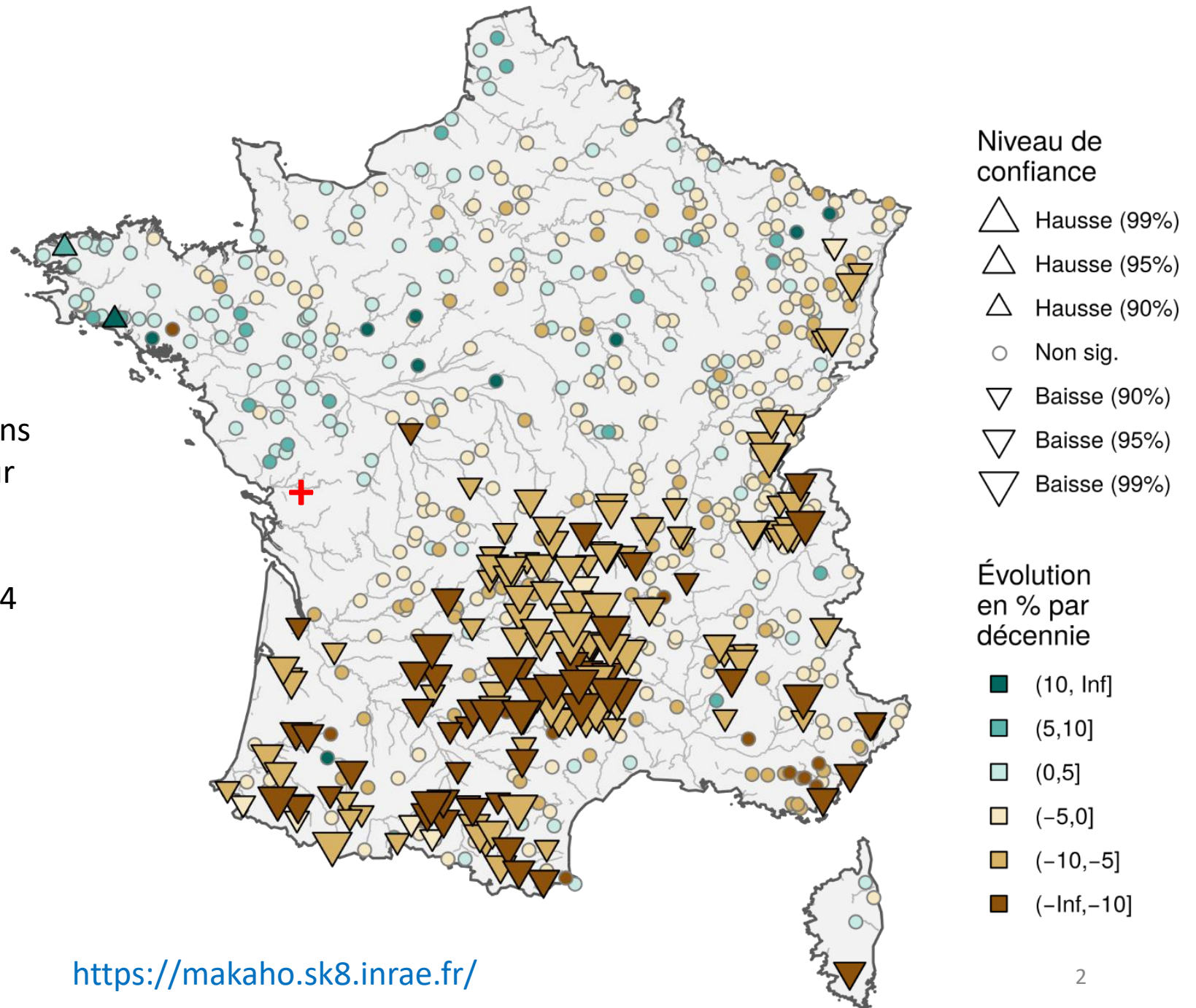
Tendances passées

1. Impact climatique ?

- Débit moyen annuel
- Un régime peu perturbé par les actions humaines pour ne pas se tromper sur l'origine d'éventuels changements
- Une bonne qualité de la mesure
- Un minimum de 30 ans sur 1968-2024

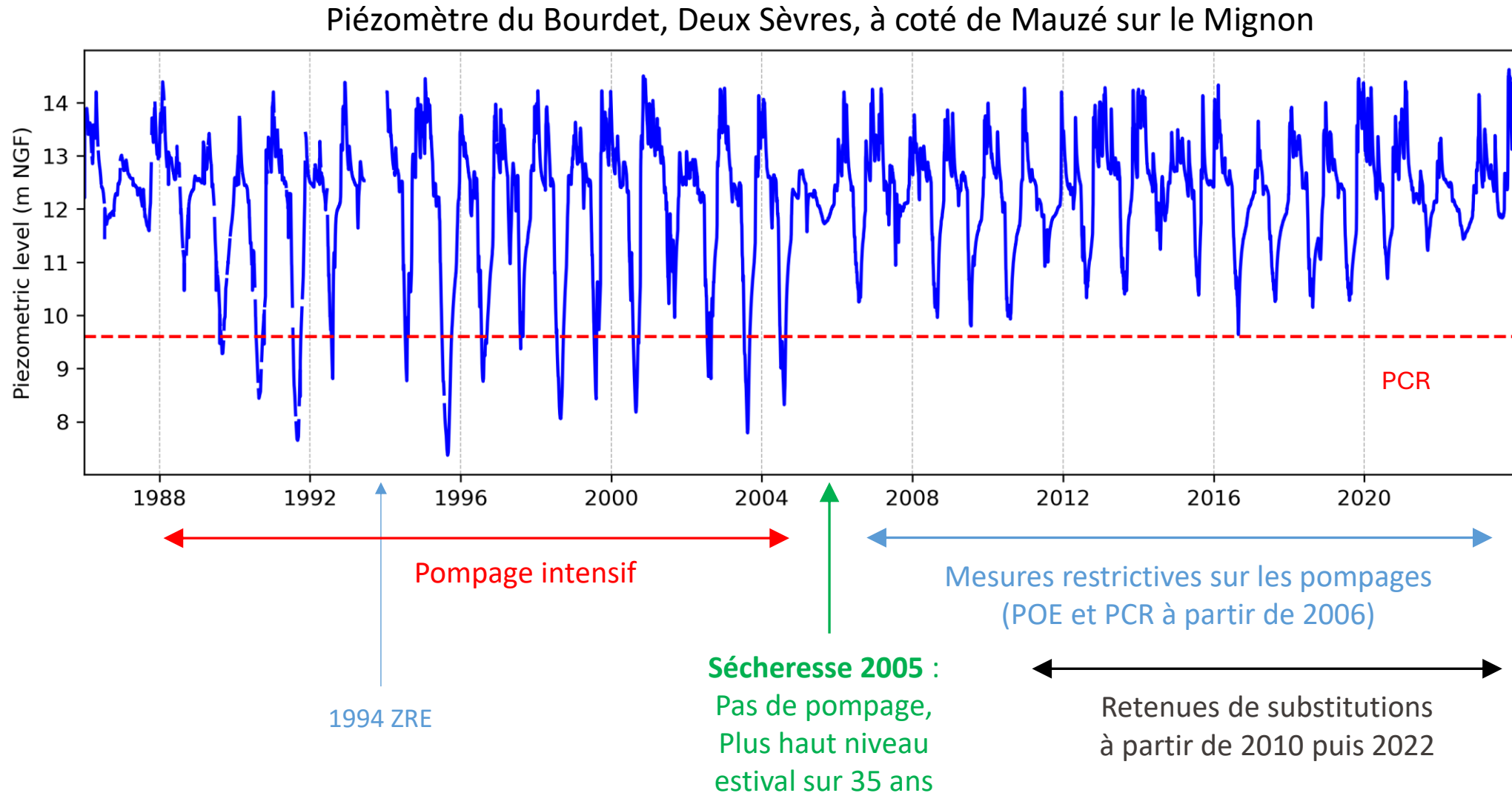
Fort contraste NW/SE

En dehors des points faiblement influencés, une part des baisses est attribuable aux prélèvements



Tendances passées

2. Impact des prélèvements ?



Que nous réserve l'avenir selon le projet Explore2 ?

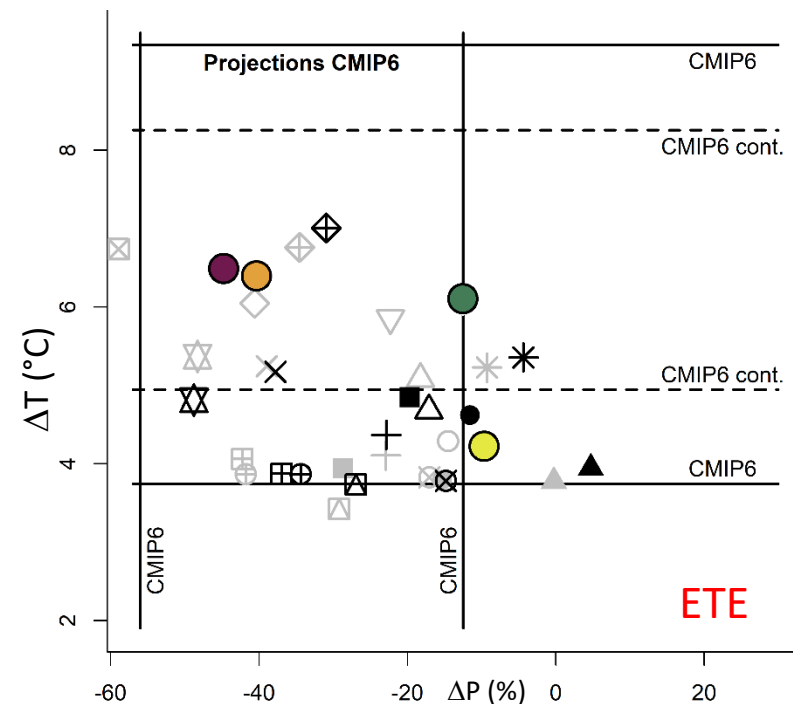
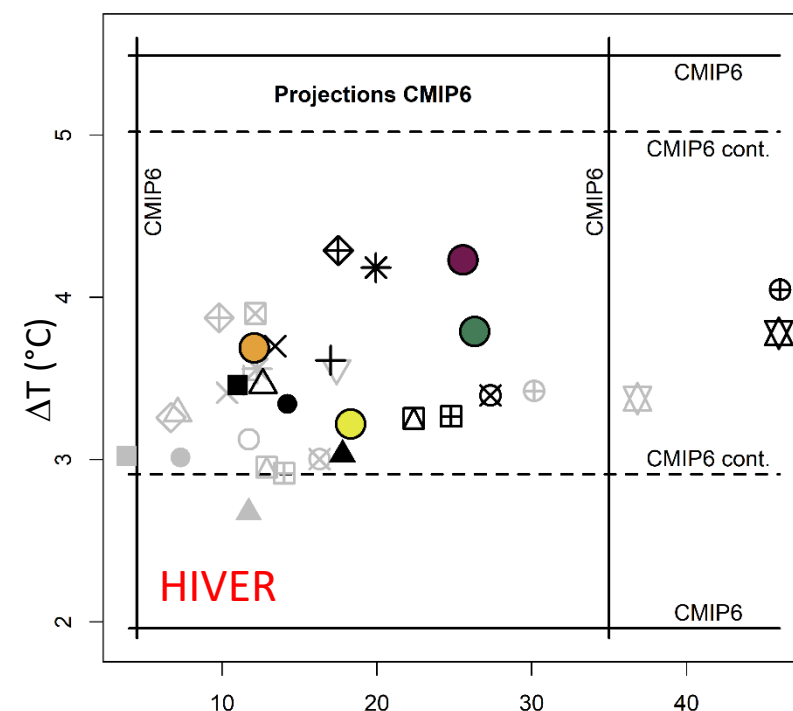
- Financé par le MTES de 2021 à 2024, porté par INRAe et l'OFB
- **Construction de projections régionalisées des ressources en eau en France** (débits, nappes)
- **Approche multi-modèles et multi-scénarios** par 10 modèles hydrologiques à partir des projections climatiques DRIAS (17 projections RCP8.5 + RCP4.5 et RCP2.8)
- **Sans changement autre que climatique**
- Valorisation :
 - Rapports et MOOC sur <https://professionnels.ofb.fr/fr/node/1244>
 - Visualisation sur meandre.explore2.inrae.fr
 - Données accessibles sur www.drias-eau.fr et www.drias-climat.fr
 - Articles en cours

Que nous réserve l'avenir selon le projet Explore2 ?

- Financé par le MTES de 2021 à 2024, porté par INRAe et l'OFB
- Construction de projections régionalisées des ressources en eau en France** (débits, nappes)
- Approche multi-modèles et multi-scénarios** par 10 modèles hydrologiques à partir des projections climatiques DRIAS (17 projections RCP8.5 + RCP4.5 et RCP2.8)
- Sans changement autre que climatique**
- Valorisation :
 - Rapports et MOOC sur <https://professionnels.ofb.fr/fr/node/1244>
 - Visualisation sur meandre.explore2.inrae.fr
 - Données accessibles sur www.drias-eau.fr et www.drias-climat.fr
 - Articles en cours

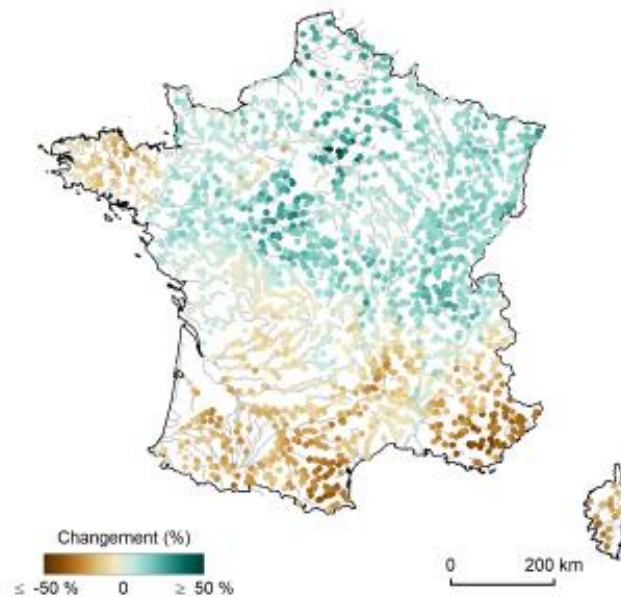
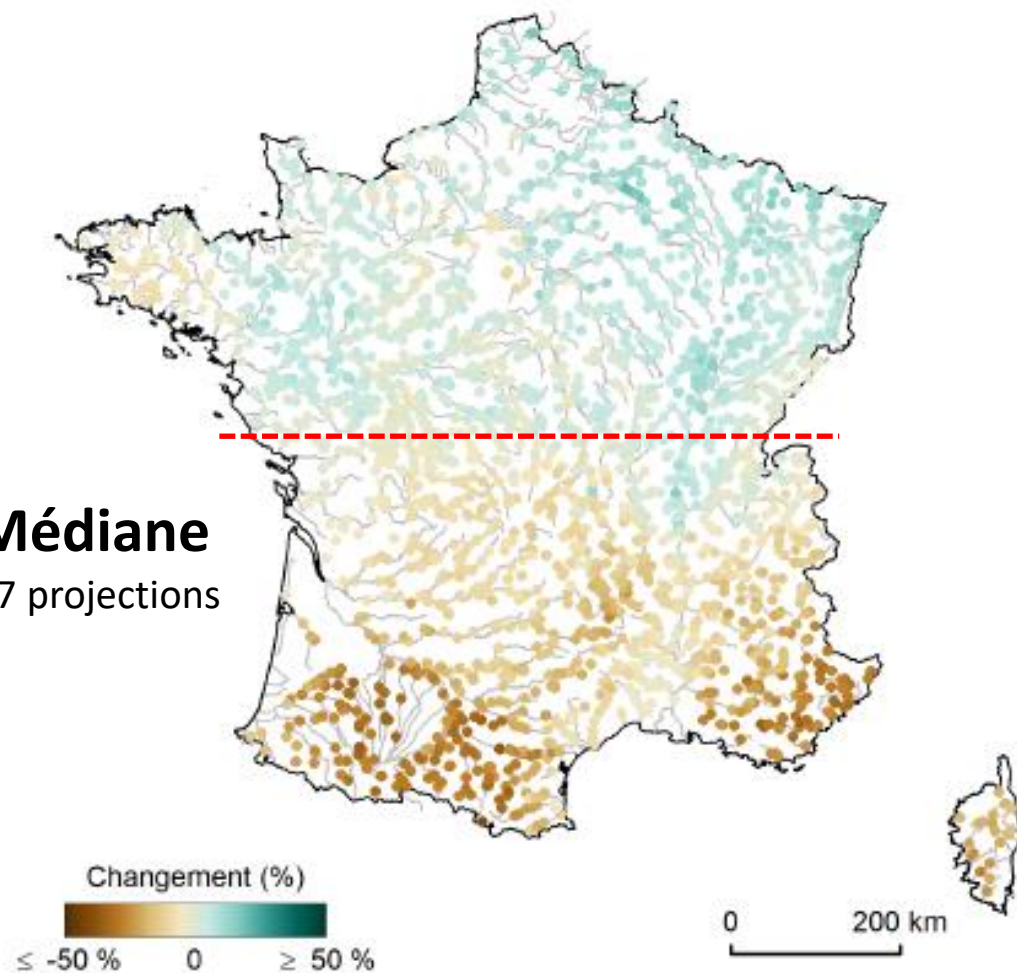
17 projections RCP8.5 illustrées par
4 narratifs jaune, vert, orange et violet

Variations de T et de P entre la fin du 21^{ème}
et la fin du 20^{ème} siècle sous scénarios RCP8.5
Moyennes saisonnières en France métropolitaine

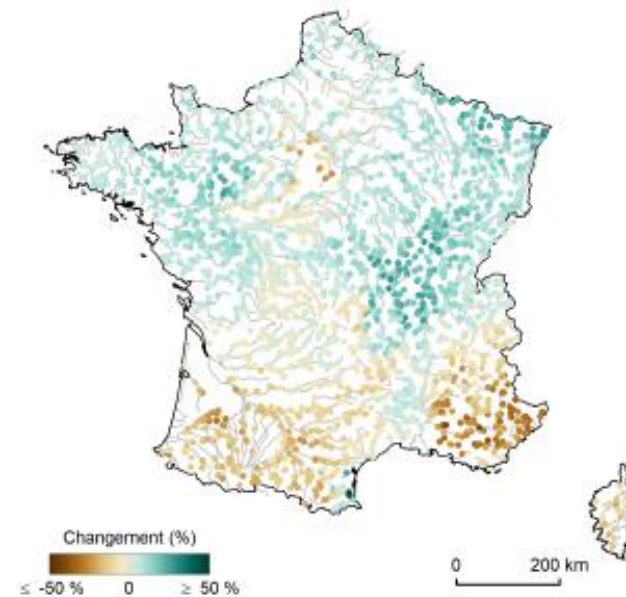


DÉBIT ANNUEL

Médiane
17 projections

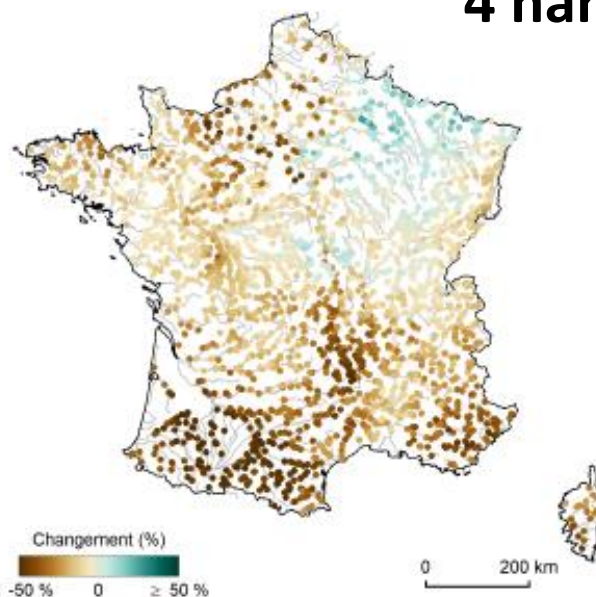


(a) vert

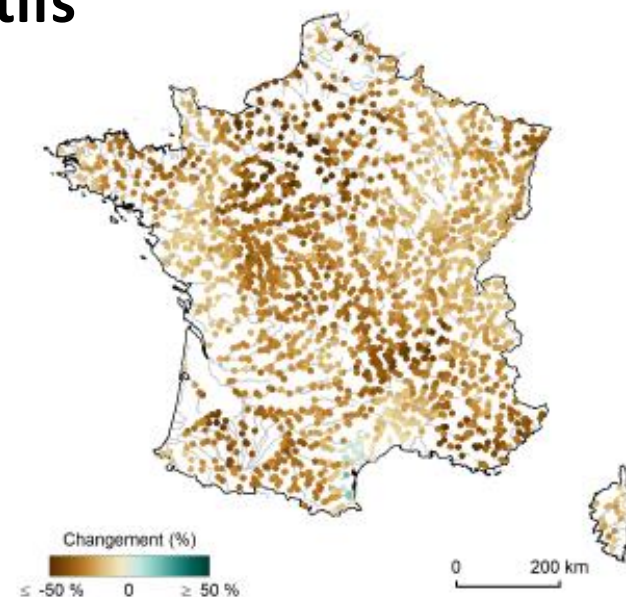


(b) jaune

4 narratifs



(c) violet

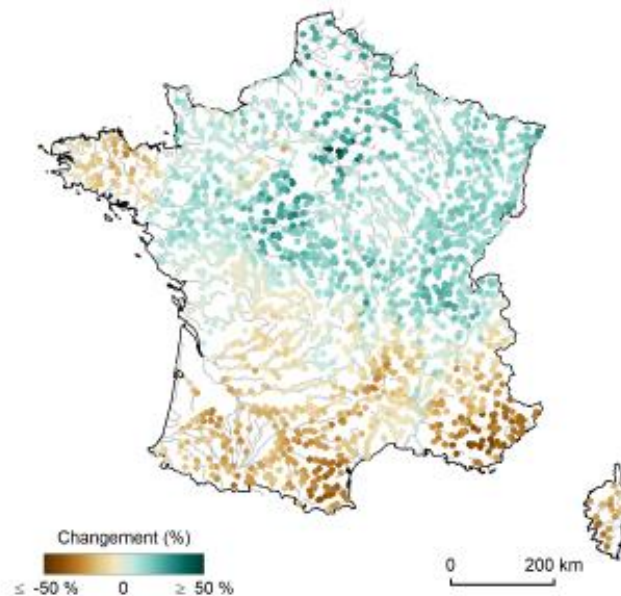
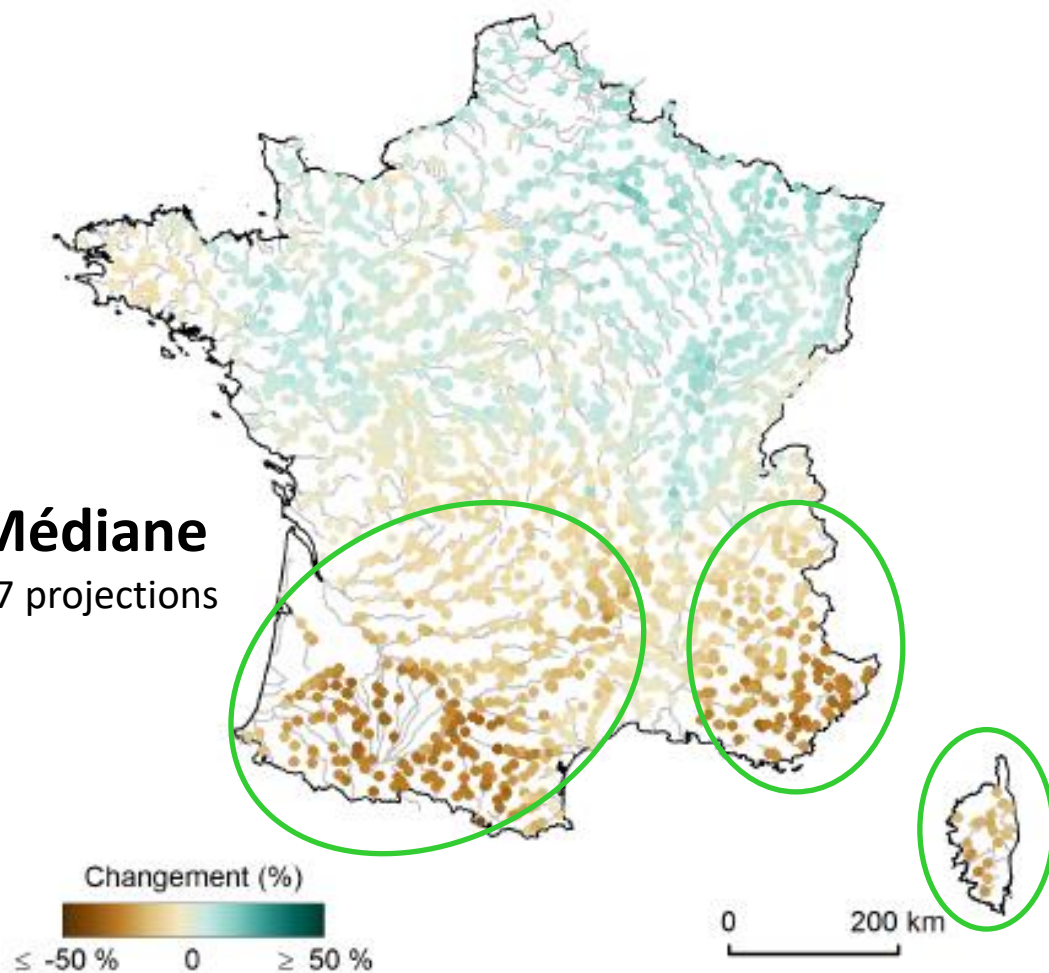


(d) orange

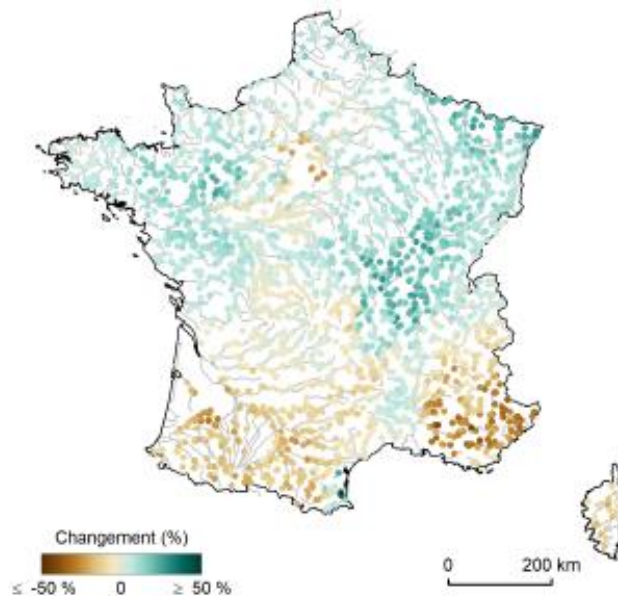
DÉBIT ANNUEL

Médiane

17 projections

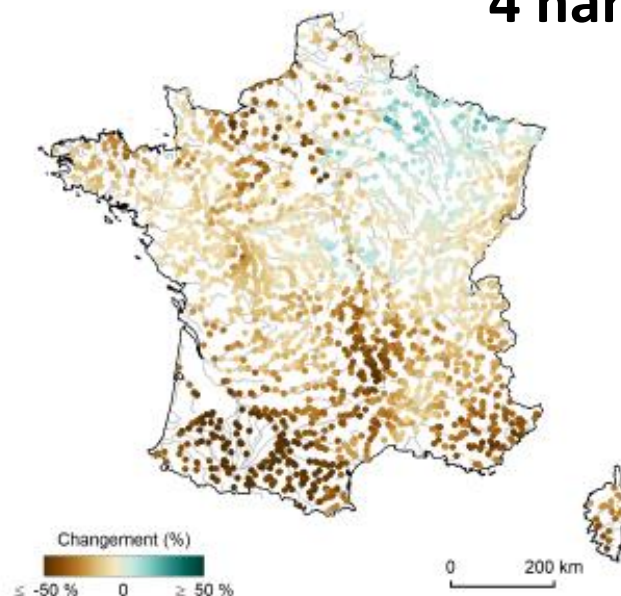


(a) vert

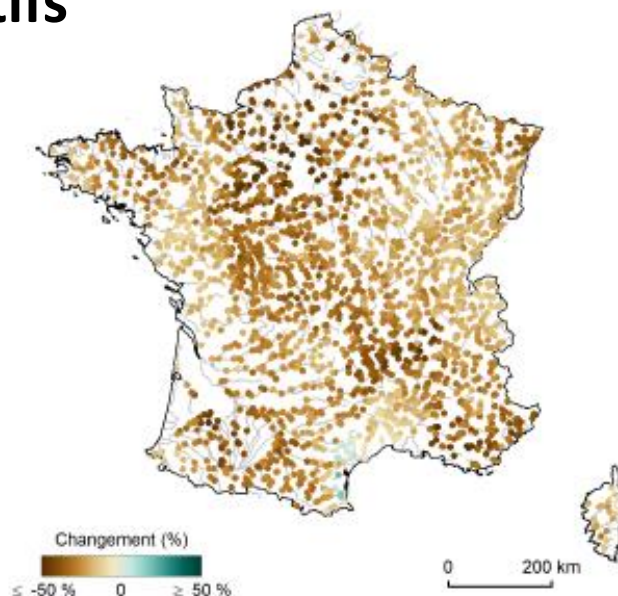


(b) jaune

4 narratifs



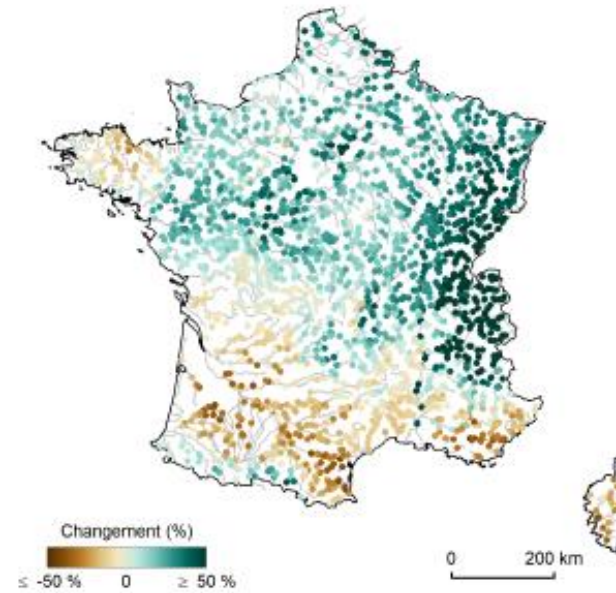
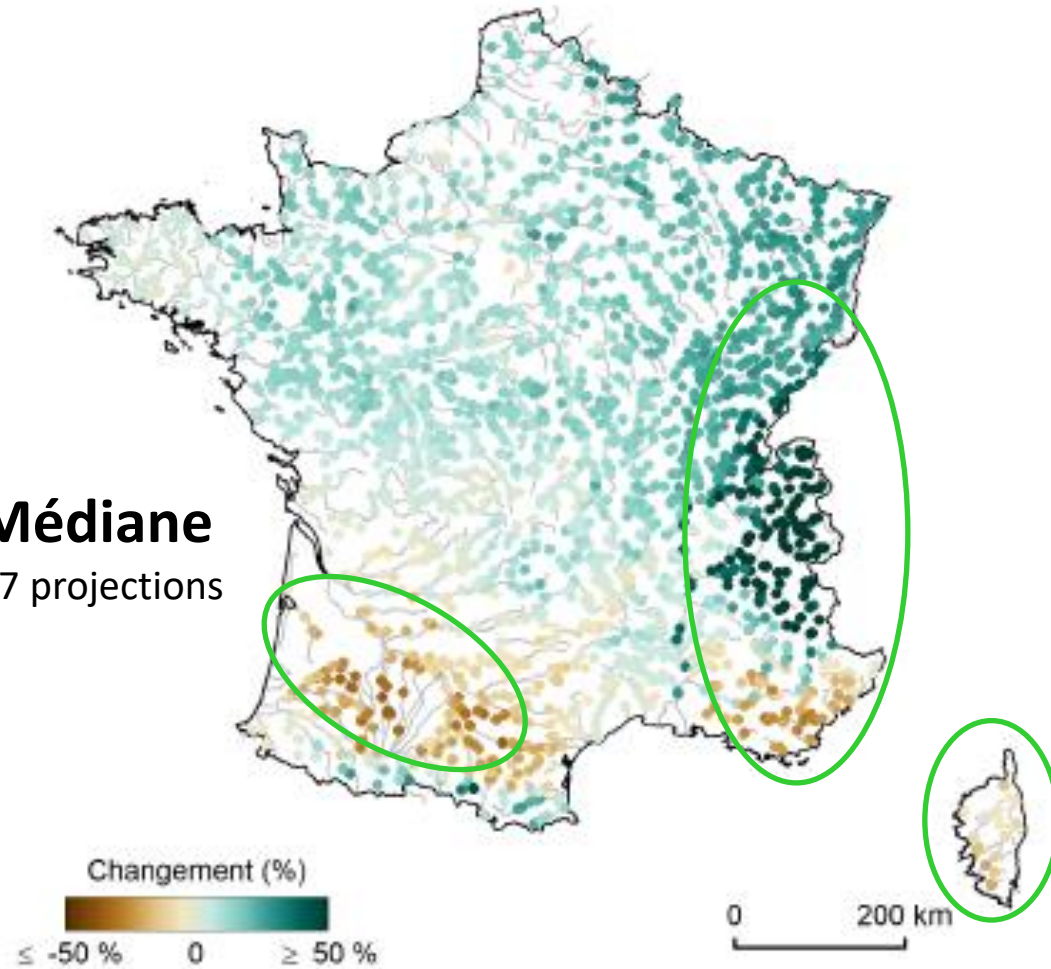
(c) violet



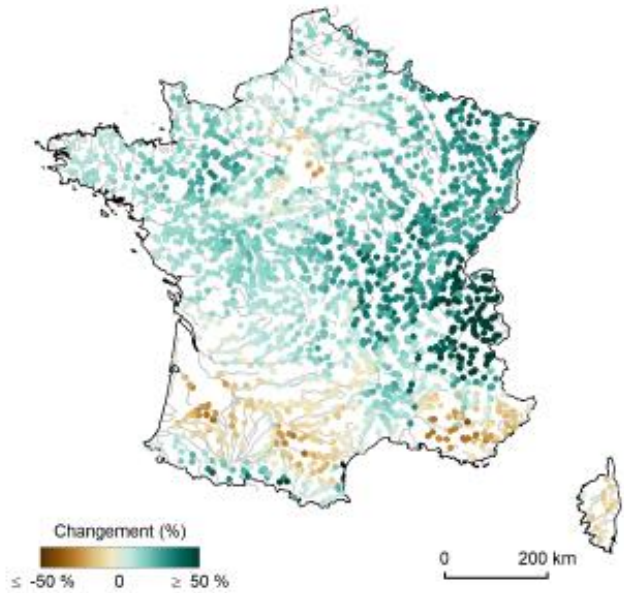
(d) orange

DÉBIT D'HIVER

Médiane
17 projections

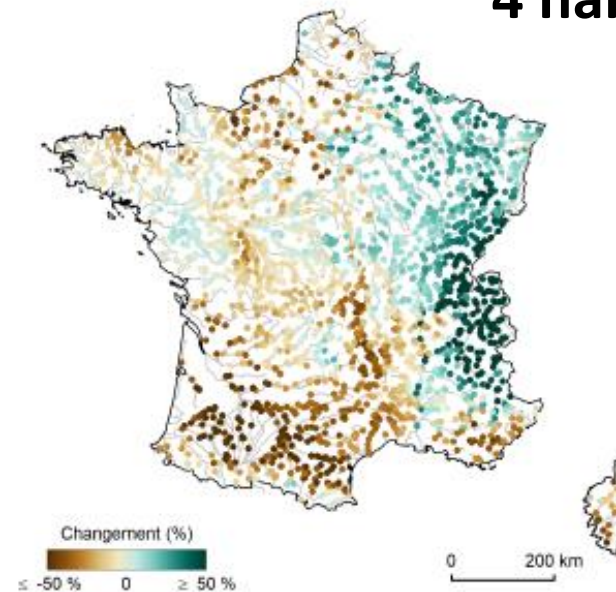


(a) vert

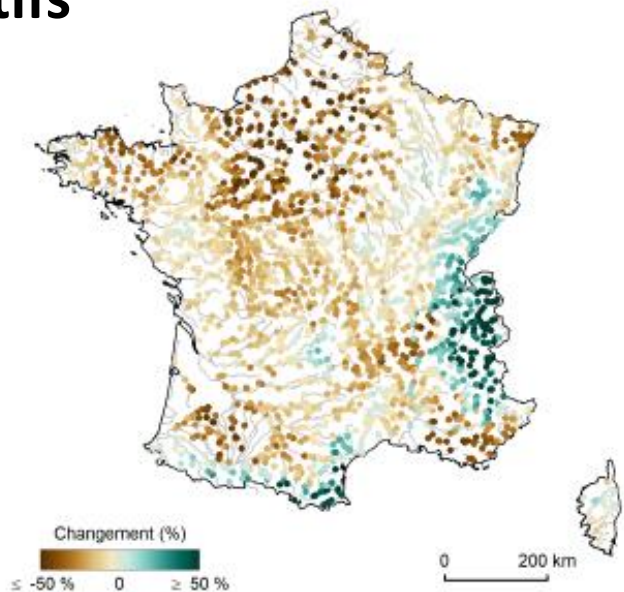


(b) jaune

4 narratifs

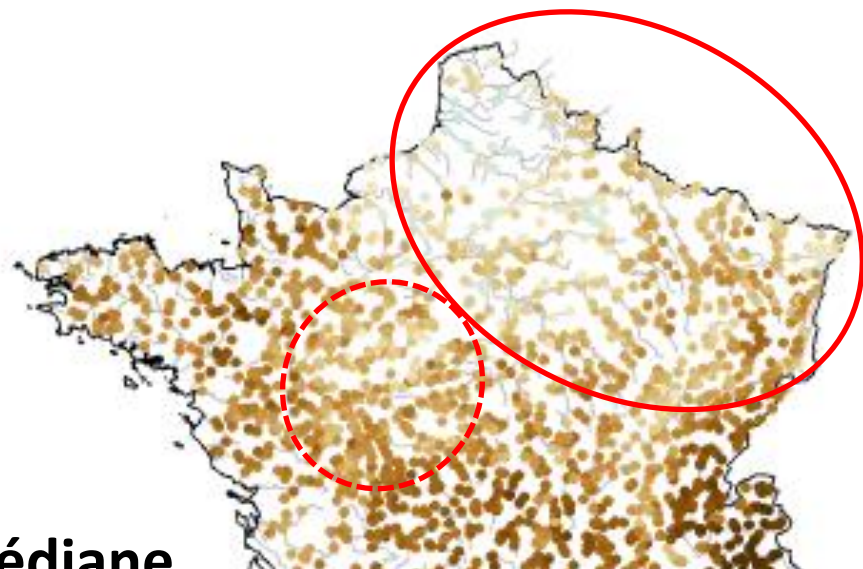


(c) violet



(d) orange

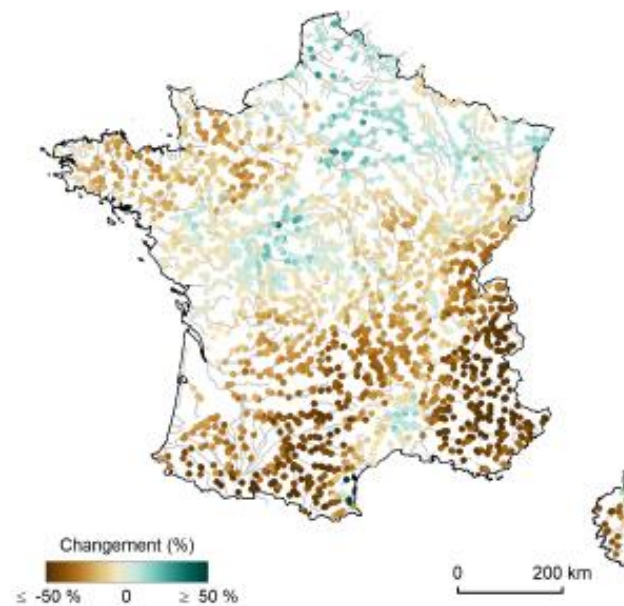
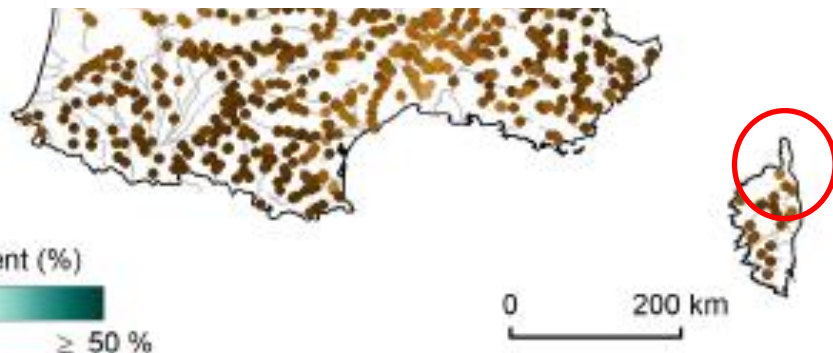
DÉBIT D'ÉTÉ



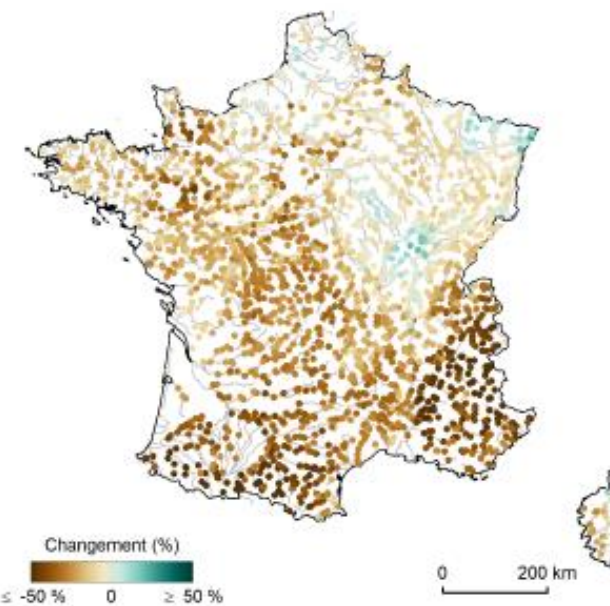
Médiane

17 projections

Etiages plus sévères

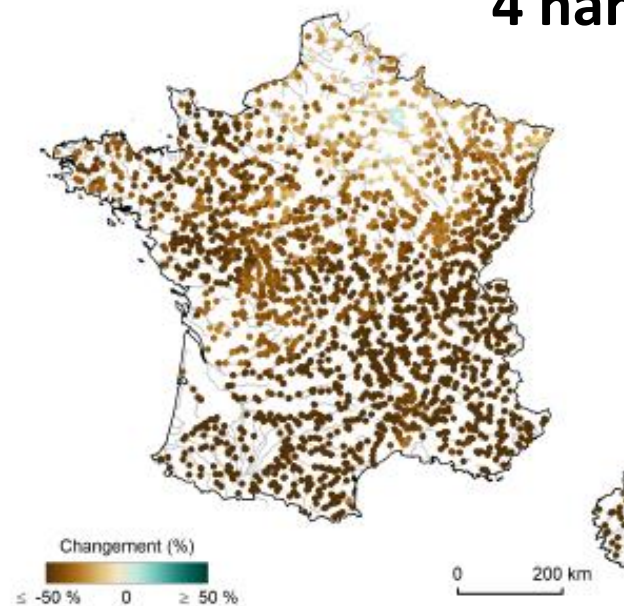


(a) vert

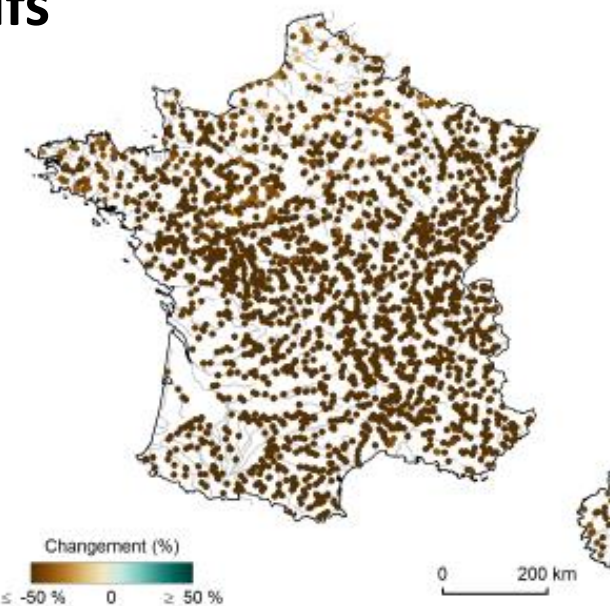


(b) jaune

4 narratifs



(c) violet

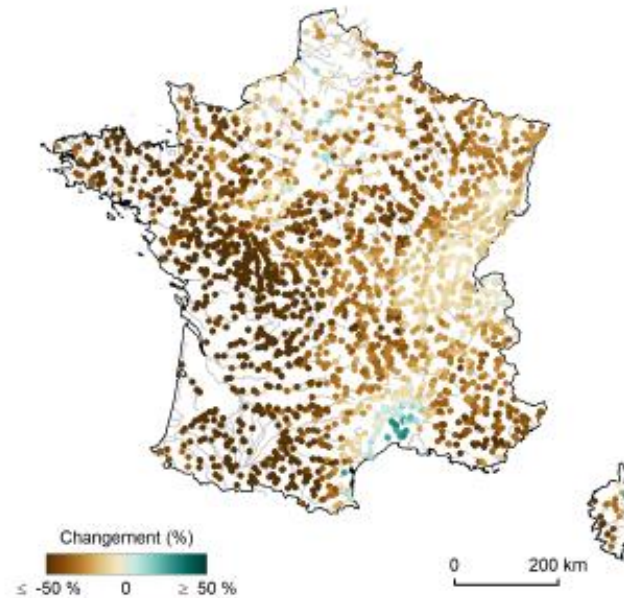
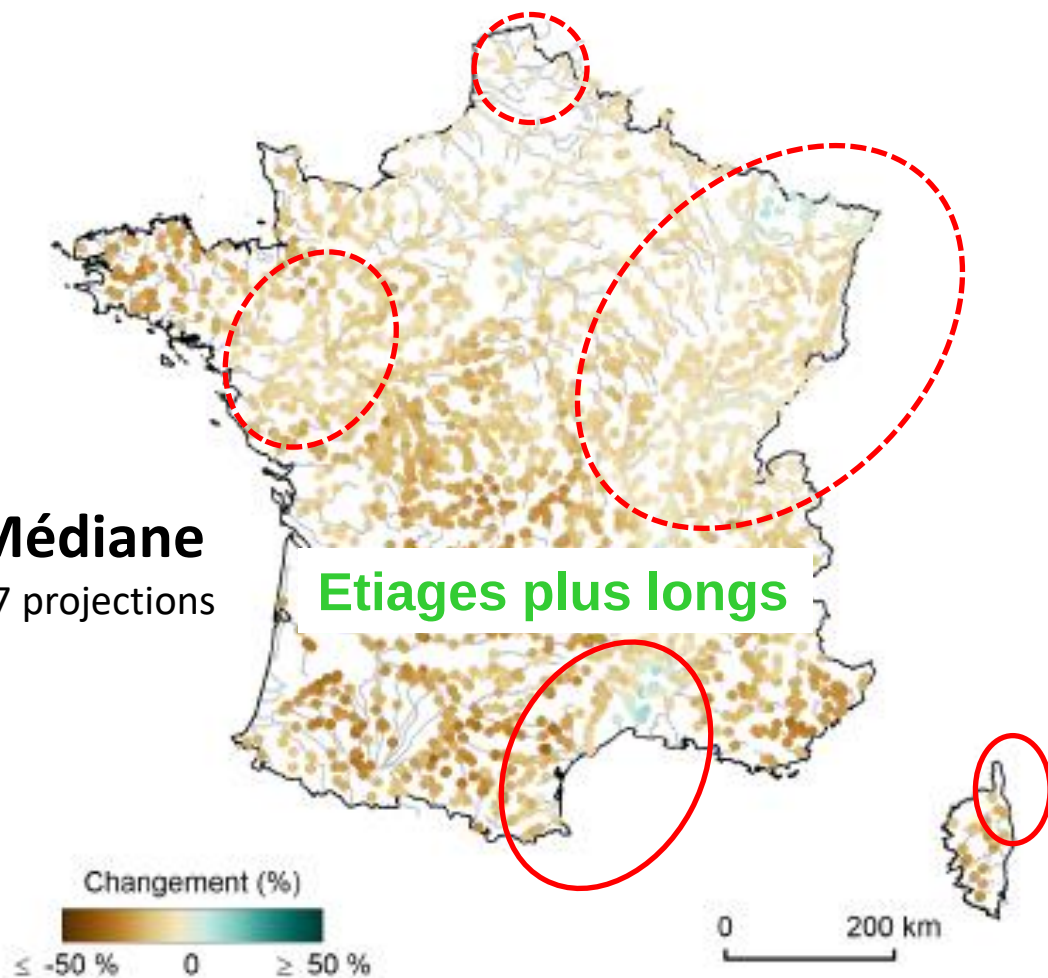


(d) orange

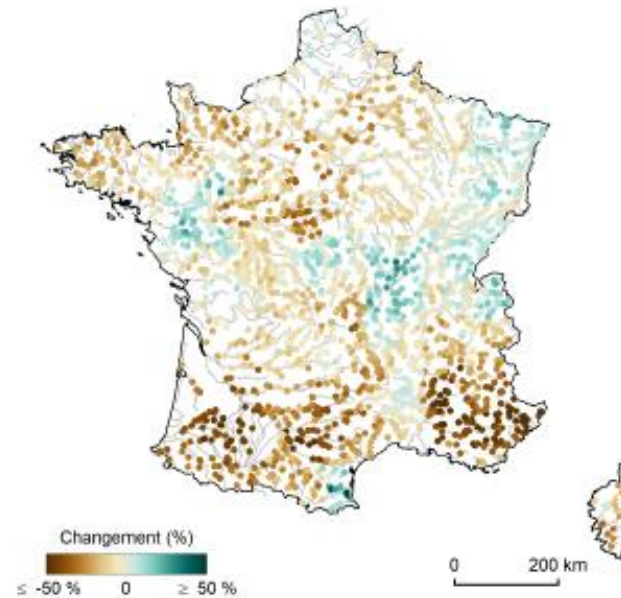
DÉBIT D'AUTOMNE

Médiane
17 projections

Etiages plus longs

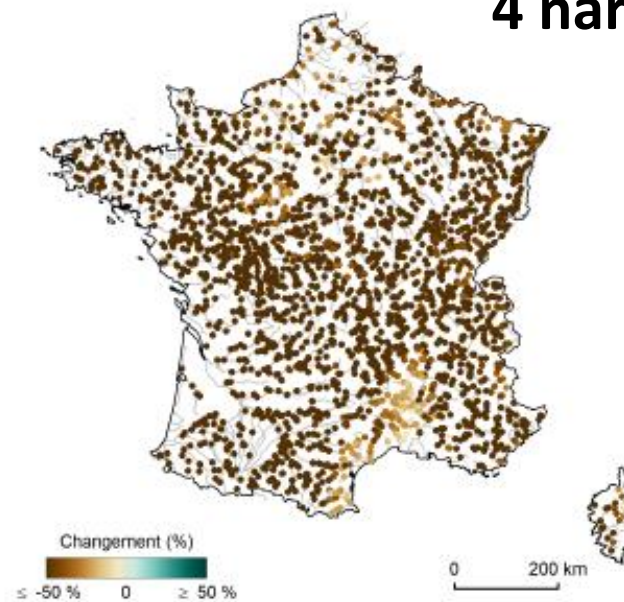


(a) vert

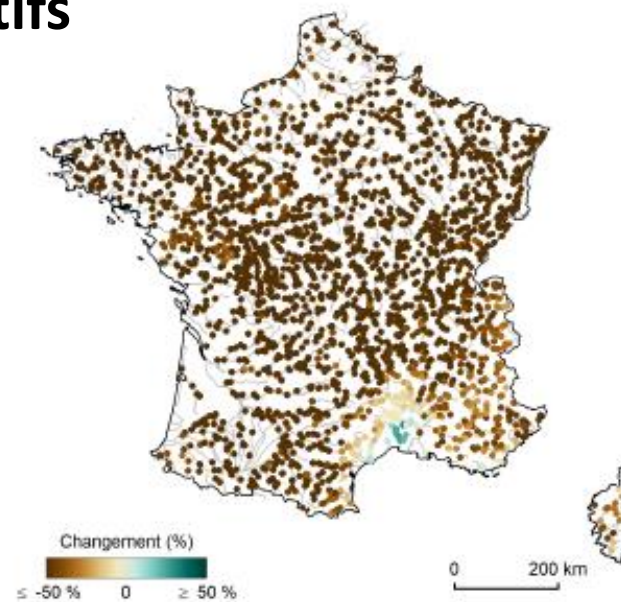


(b) jaune

4 narratifs



(c) violet



(d) orange

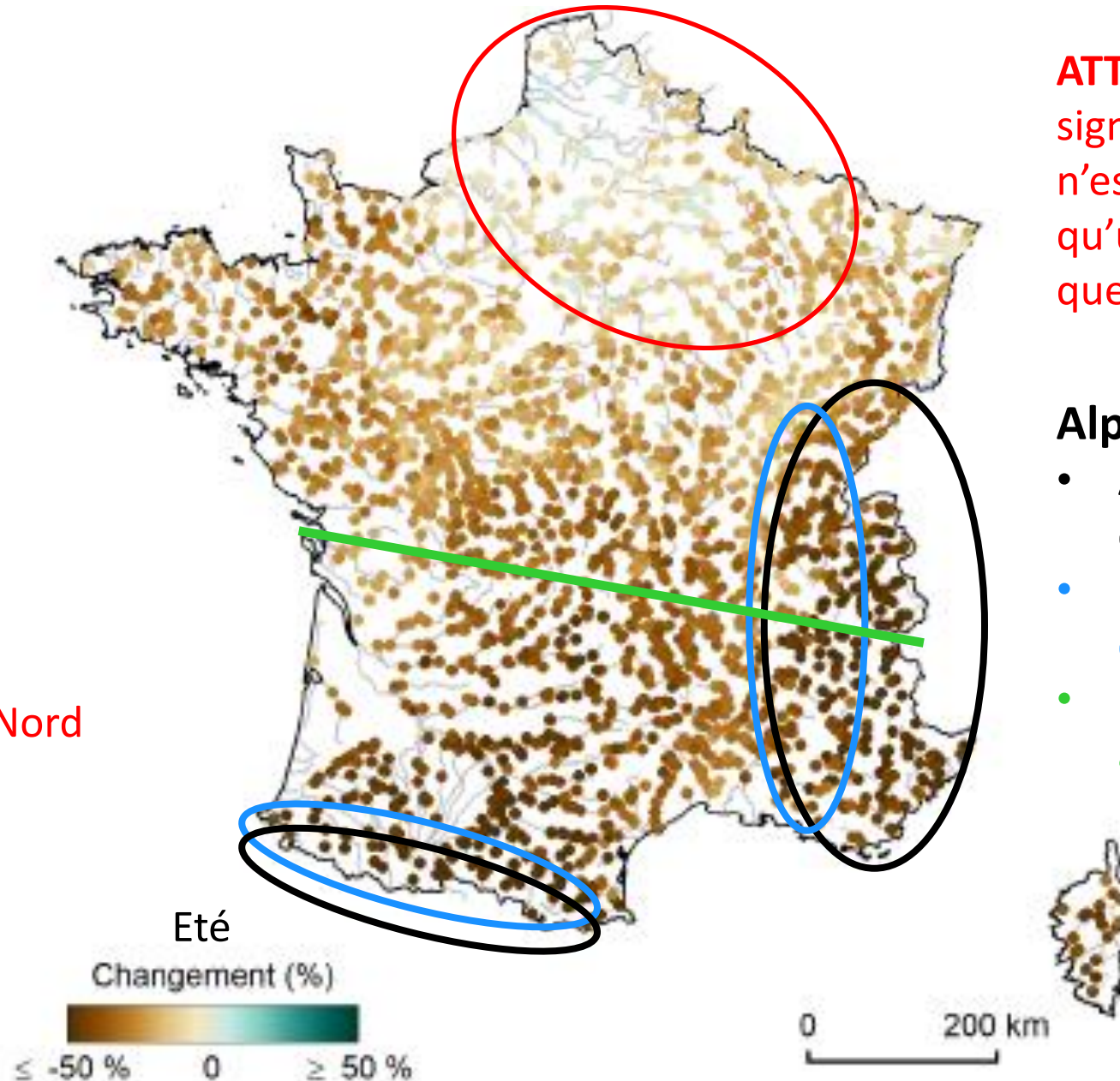
Résumé : quels sont les changements robustes ?

Débits d'été et d'automne :

- Baisse sur une grande part du territoire
- Evolution incertaine dans le Nord-Est

Débits annuels :

- Baisse sur la moitié Sud
- Evolution incertaine au Nord



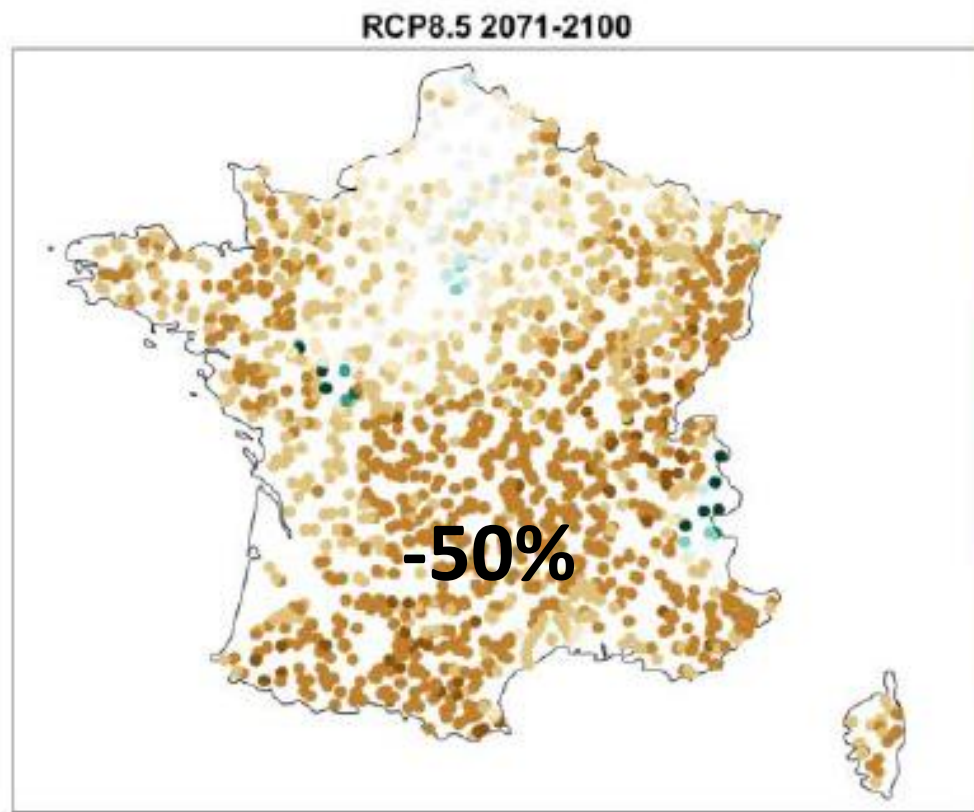
ATTENTION : incertain
signifie que la médiane
n'est pas plus certaine
qu'une projection
quelconque

Alpes, Jura, Pyrénées :

- Augmentation des débits d'hiver
- Disparition de l'onde de fonte nivale (été)
- Baisse des débits annuels au Sud

Sécheresses et crues deviennent plus intenses, souvent aux mêmes endroits

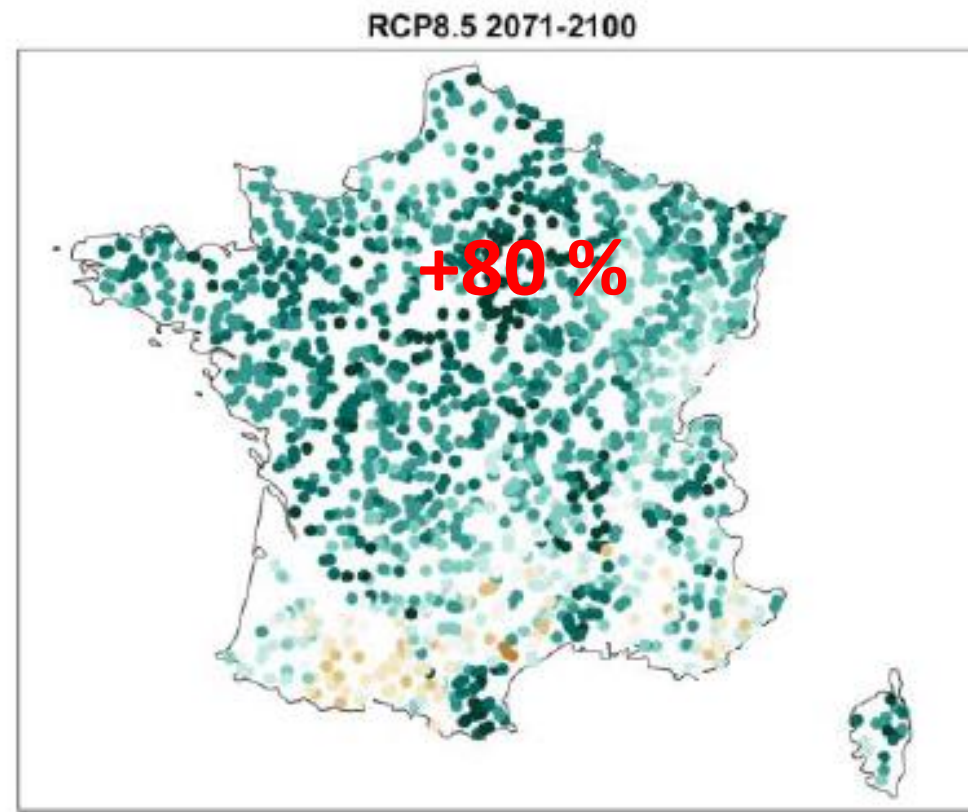
Les contrastes sont profondément renforcés



Sécheresses hydrologiques (étiages T=5 ans)

Moyenne multi-modèle

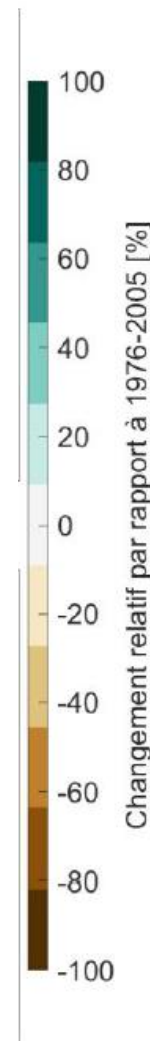
Avec très bon accord multi-modèle



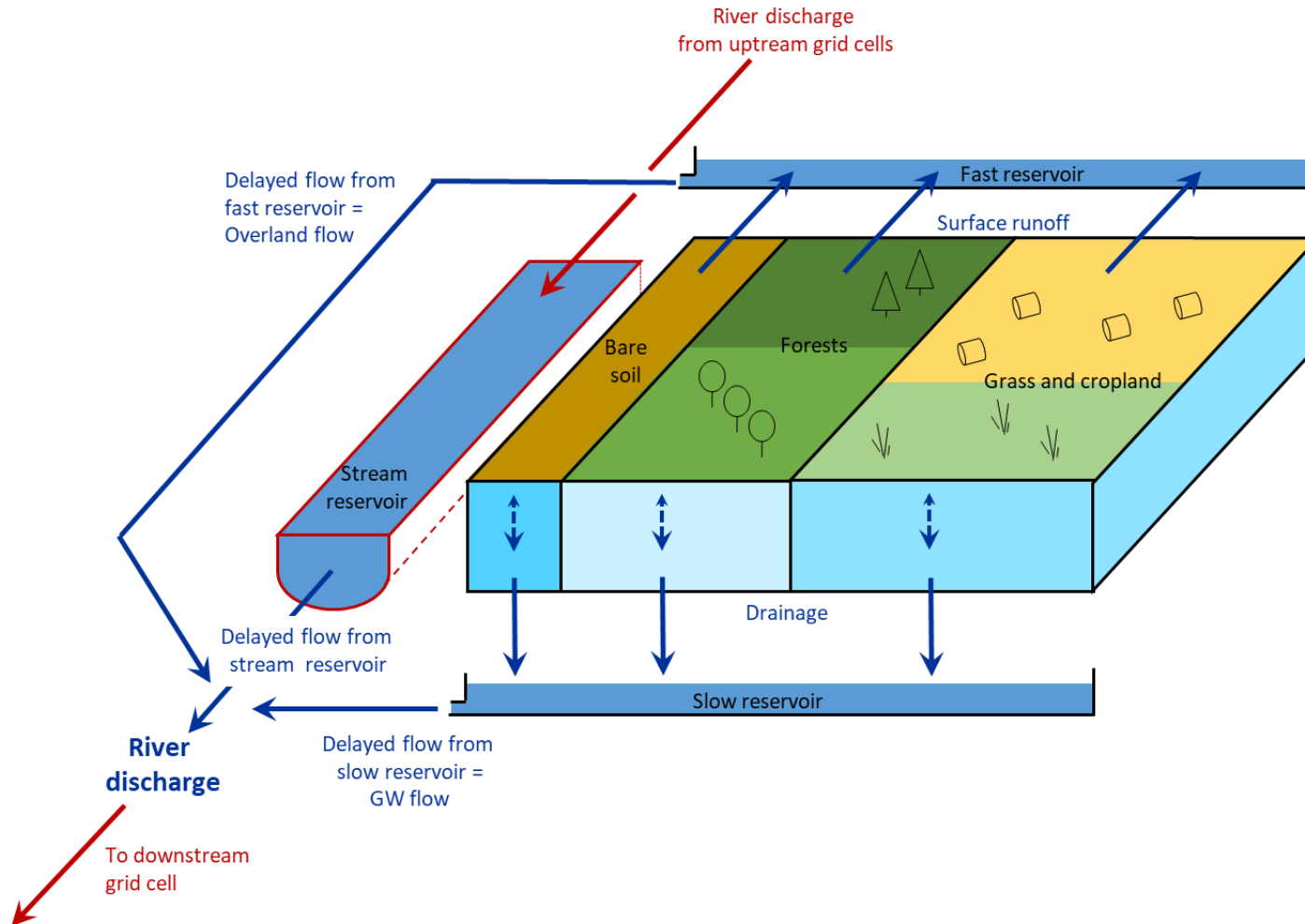
Crues rares (T=20 ans)

Moyenne multi-modèle

Avec bon accord multi-modèle

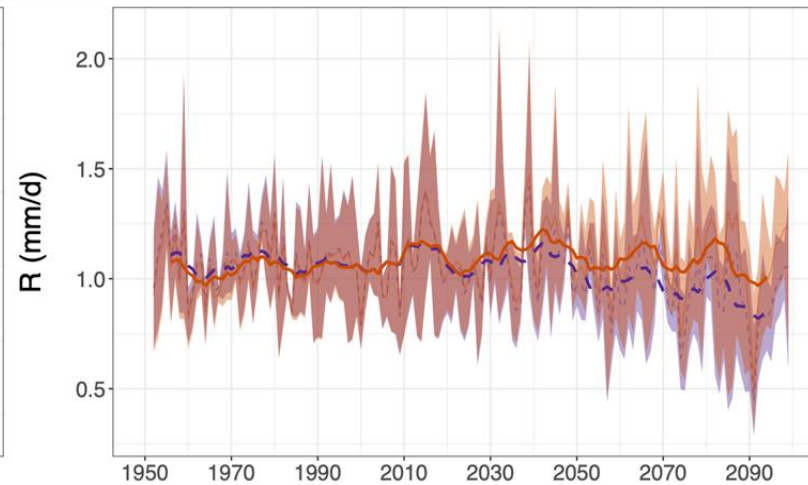
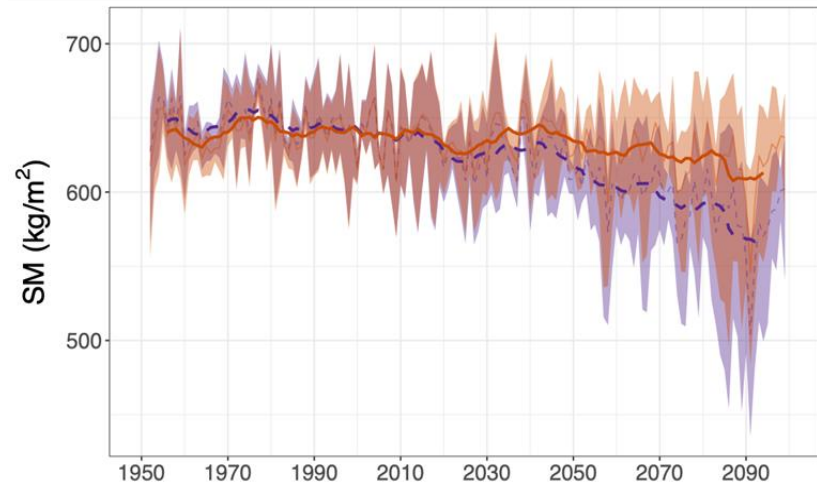
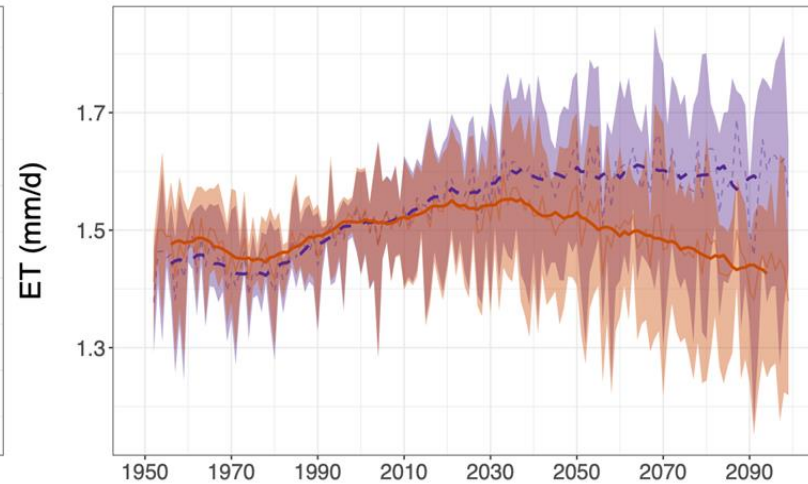
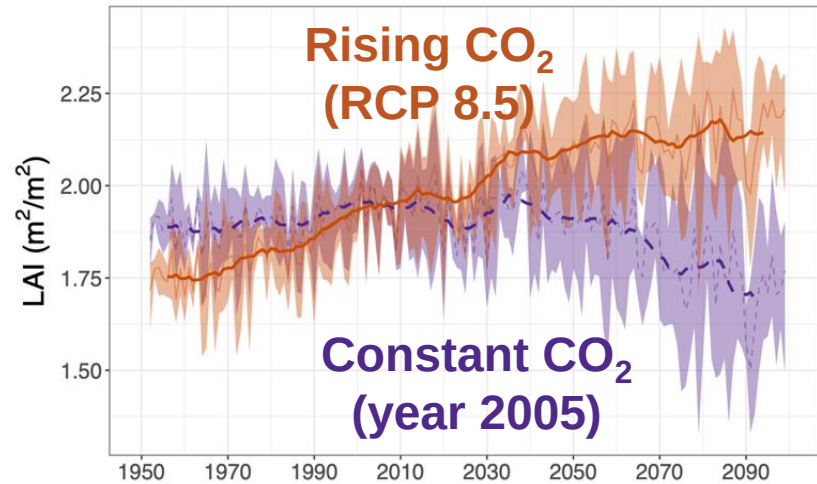


Analyses complémentaires avec le modèle ORCHIDEE



- Un des 10 modèles hydrologiques utilisés dans Explore2
 - Décrit l'influence de la végétation et des cultures sur les bilans d'eau
 - **La végétation répond à l'augmentation du CO₂ atmosphérique** (fermeture stomatique vs fertilisation)
 - **L'irrigation peut être décrite :**
 - Demande dépend de l'humidité racinaire donc du climat
 - Irrigation effective limitée par disponibilité en eau
- Dans Explore2 :
 - Occupation des sols constante (2005)
 - Pas d'irrigation
 - Effet du CO₂ sur la végétation (seul modèle)

1. Les effets physiologiques du CO₂ pourraient atténuer la baisse des débits



Effets physiologiques du CO₂:

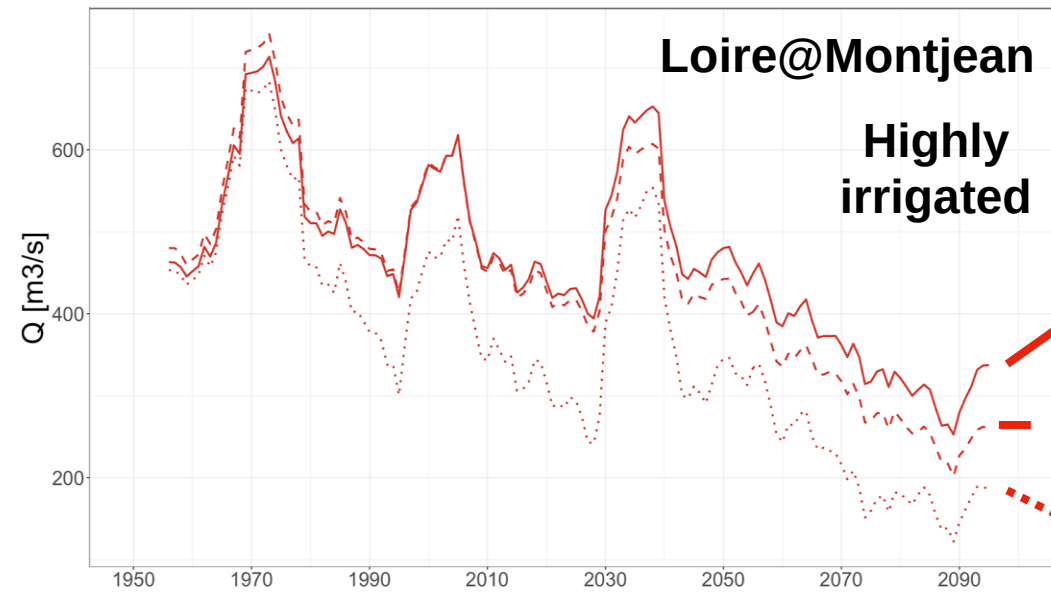
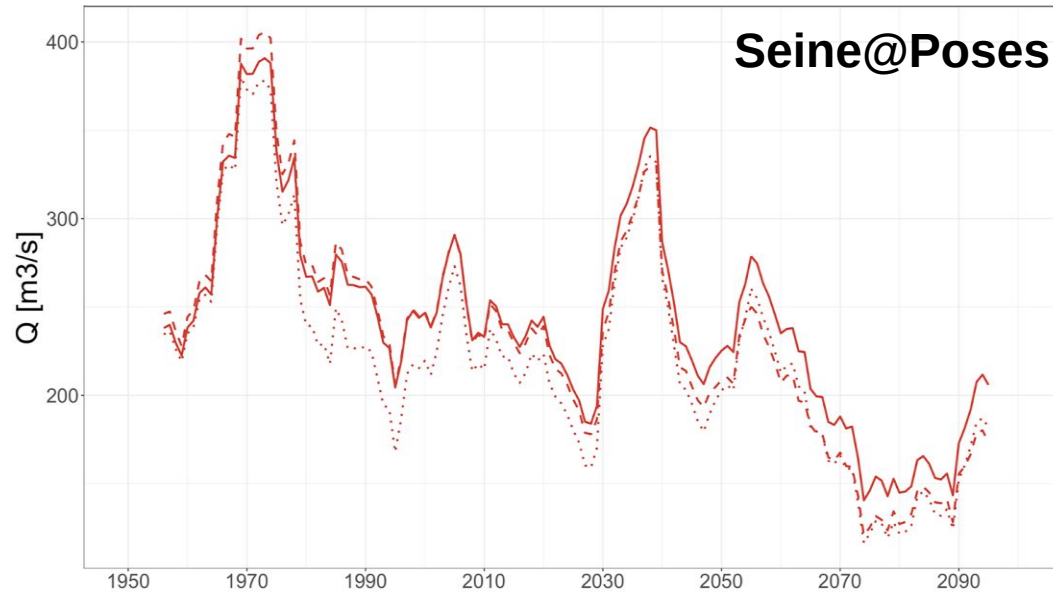
- Augmentation du LAI par effet fertilisant
- Evapotranspiration (ET) plus faible par effet anti-transpirant
- Augmentation de l'humidité du sol (SM) et des écoulements (R) car ET baisse

Ces résultats dépendent de l'importance relative des deux effets physiologiques du CO₂ dans ORCHIDEE

Très difficile à valider pour les fortes teneurs en CO₂ (800 ppm en moyenne sur la période 2070-2100 pour le RCP8.5)

Moyennes spatiales en France et des 4 narratifs

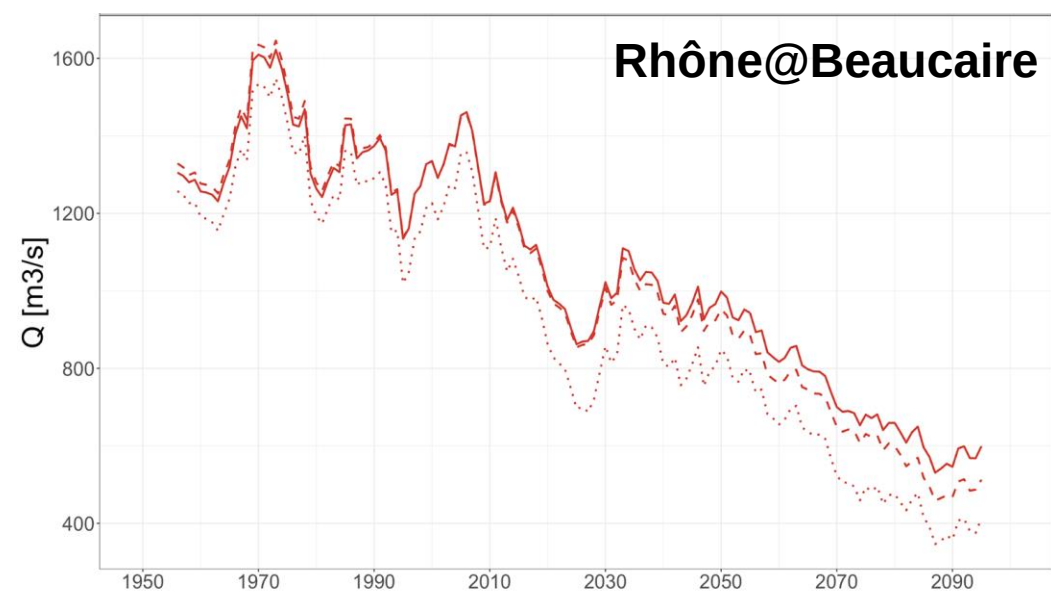
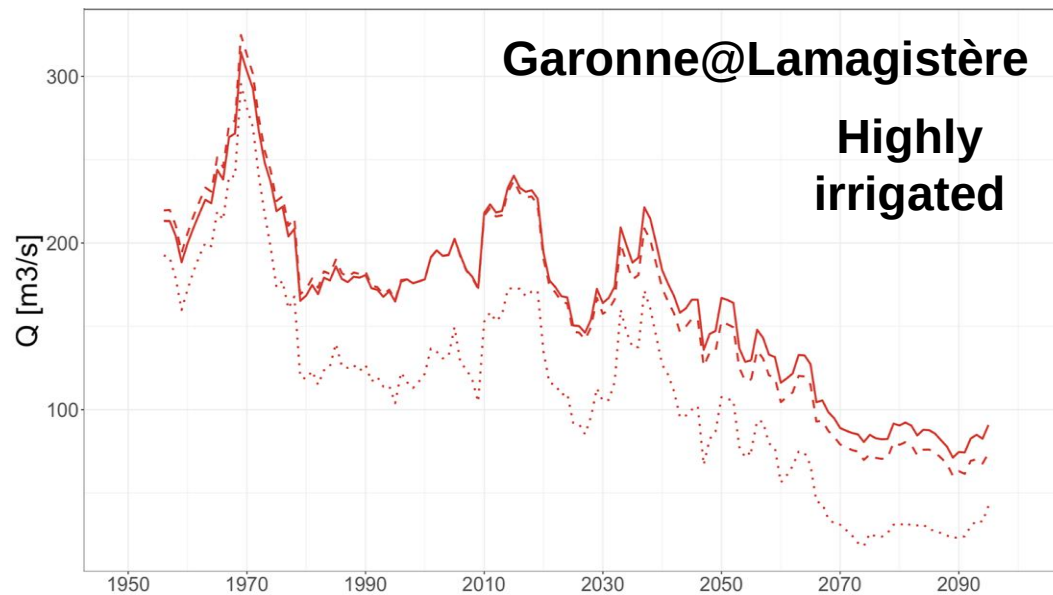
2. L'irrigation pourrait intensifier la baisse des débits



Explore2 : no IRR
& rising CO₂

No IRR &
constant CO₂

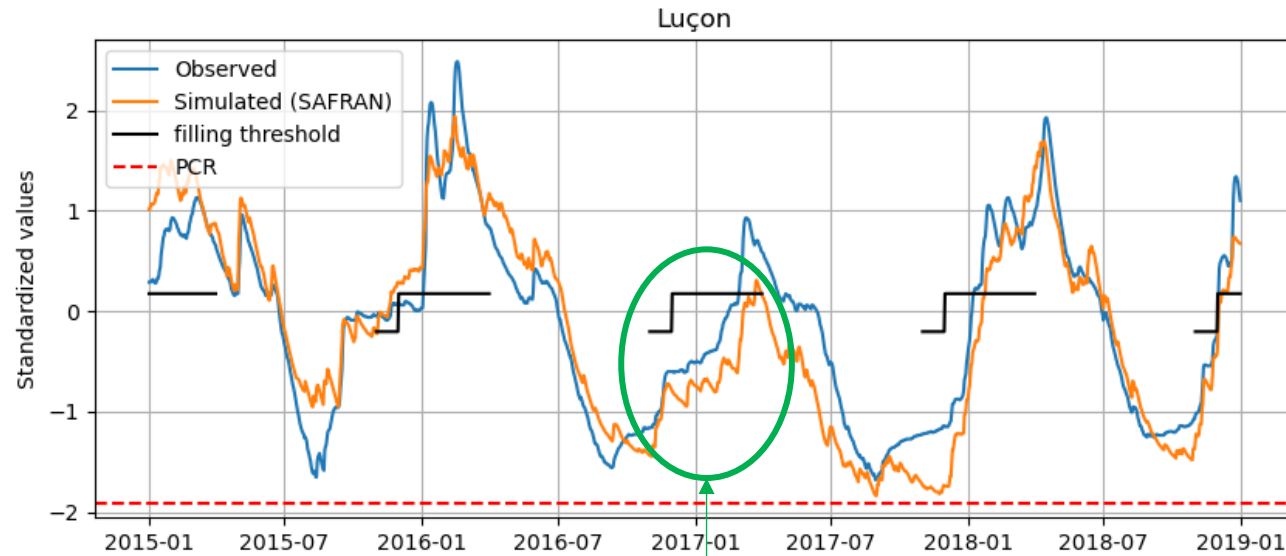
IRR & rising CO₂



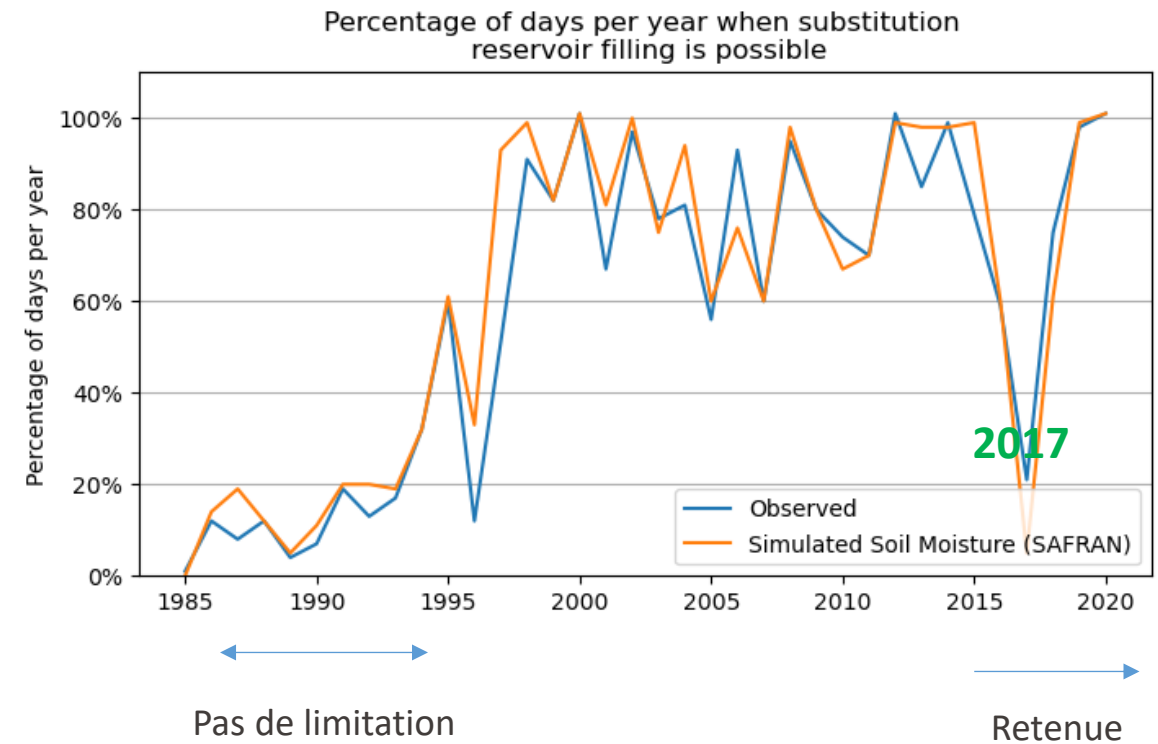
Débits d'été
sous le narratif
chaud et sec
(violet)

3. Le changement climatique fragilise les stratégies de stockage

Possibilité de remplissage des retenues de substitution (ici en Vendée, bassin du Lay) - Historique



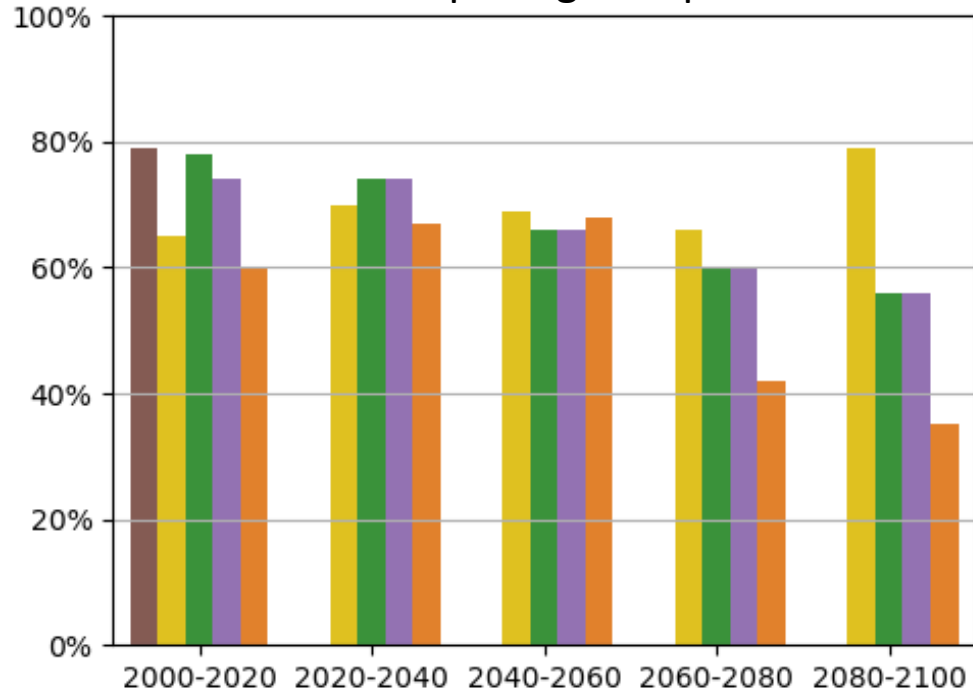
Remplissage des bassins impossible pendant la majeure partie de l'année 2017 (forte sécheresse)



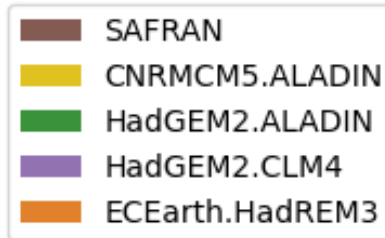
3. Le changement climatique fragilise les stratégies de stockage

Possibilité de remplissage des retenues de substitution (ici en Vendée, bassin du Lay) – Futur sans irrigation

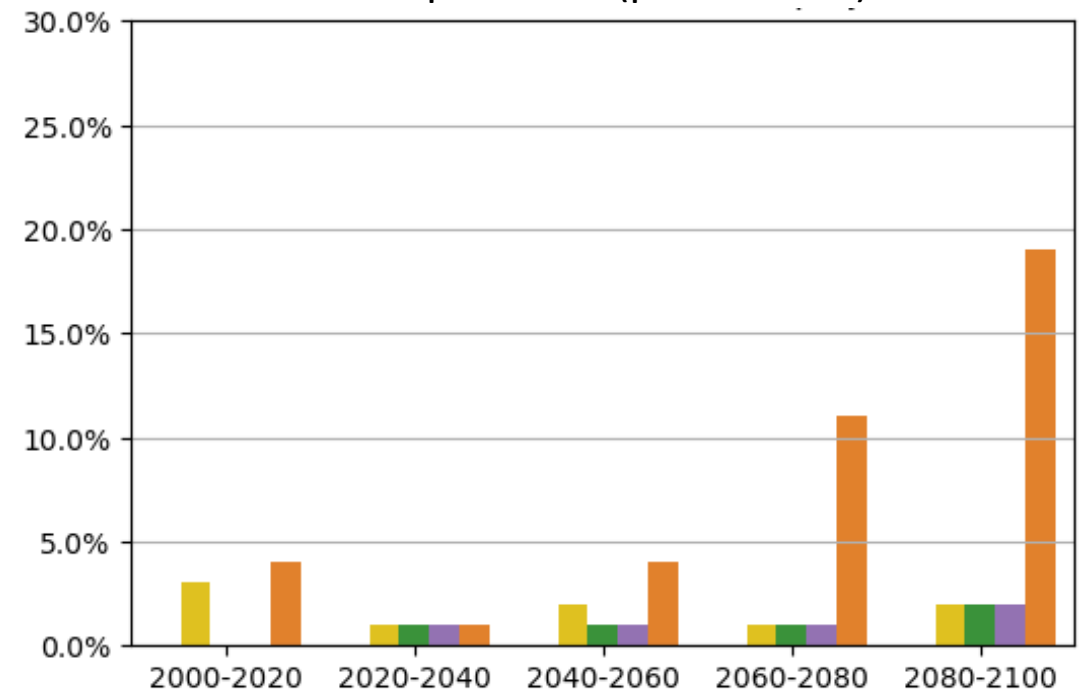
% de la période de remplissage
où le remplissage est possible



Susceptible de réduire
de 30% après 2060



% de l'année où les pompages
sont impossibles (piézo < PCR)



Susceptible d'augmenter fortement

Stage de M2 de Clémence Mayaux (2025)

Conclusions

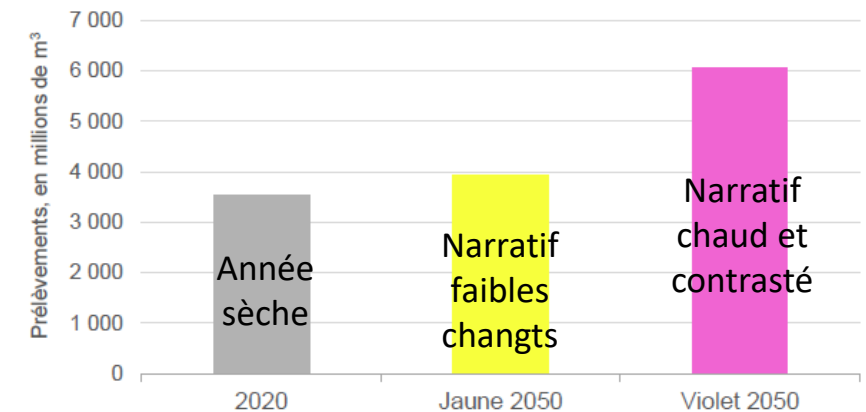
- **Le changement climatique modifie la dynamique de l'eau dans les bassins versants**
 - Fonte de la cryosphère
 - Intensification des contrastes sec/humide, des événements extrêmes et des risques associés
 - Diminution robuste des ressources en été et tout l'année dans la « moitié Sud »
 - Quantification incertaine tout comme la position de la limite Nord/Sud
- **Les projections hydrologiques Explore2 ont des limites**
 - Car on ne connaît pas les émissions en GES du futur ni l'évolution de l'occupation des sols
 - Modèles climatiques imparfaits, en amélioration constante (aérosols, irrigation, convection, échelle...)
 - Modèles hydrologiques imparfaits, en amélioration constante
 - les effets physiologiques du CO₂ sont mal connus mais ne devraient pas être négligés
 - l'irrigation pourrait faire baisser fortement les débits (et le fait déjà !)
 - fortes incertitudes sur la modélisation de l'irrigation et sur l'évolution des fractions irriguées
- **La diversité des projections Explore2 est délibérée**
 - Le but est de décrire un ensemble de futurs possibles sachant les incertitudes
 - Les médianes et moyennes ne sont pas plus crédibles qu'une projection particulière, et parfois moins !!
 - **Bonne pratique pour l'adaptation : choisir des projections contraignantes** (humides pour les maladies ou le drainage, sèches pour l'irrigation, les deux pour les rendements)

Conclusions

- **Les décisions humaines liées à la gestion de l'eau et des territoires sont très difficiles à intégrer**
 - Interactions complexes entre climat, ressources en eau, écosystèmes, agrosystèmes et le reste de la société
 - Ce qui marche aujourd'hui ne marchera peut-être plus demain (cf retenues de substitution)
 - penser en termes de retour sur investissement, y compris pour l'argent public
 - Dans le domaine de l'eau, on a beaucoup plus de leviers sur les usages que sur le climat
 - le code de l'environnement protège la ressource en eau au service de tous
 - **la sobriété et les MAE sont de bonnes options**

Attention : il s'agit bien de la demande en irrigation qui ne devient prélèvement que si l'eau est disponible

Graphique 12 – Évolution des prélèvements pour l'irrigation entre 2020 et 2050 à pratiques agricoles identiques pour un printemps-été sec sous deux projections climatiques, en millions de m³

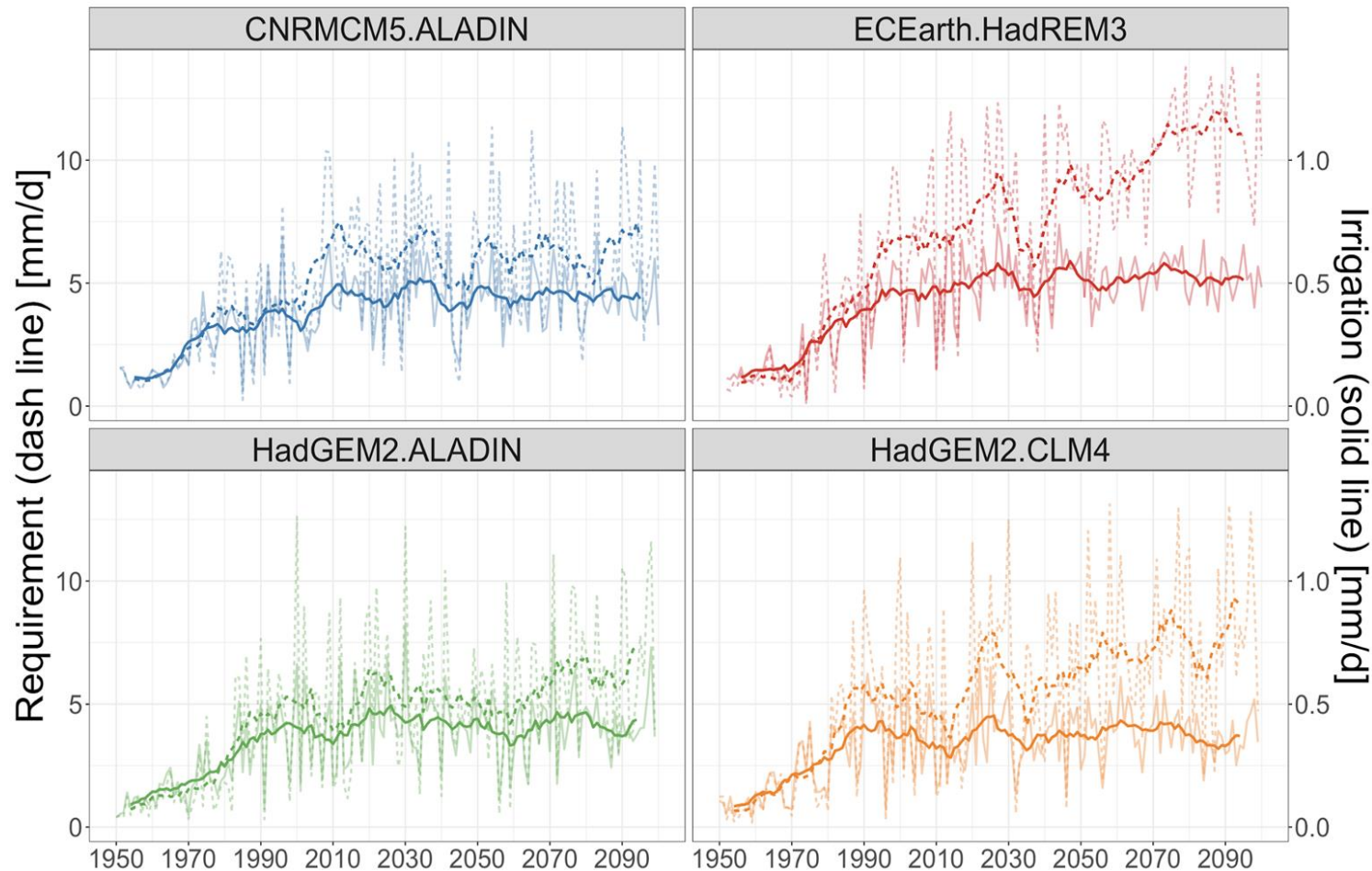


Note : pour l'année 2020, les prélèvements ont été déterminés avec la météo de 2020.

Lecture : en 2050, pour un printemps-été sec et avec la projection climatique « violet », les prélèvements en considérant que les surfaces et pratiques agricoles ne changent pas entre 2020 et 2050, atteindraient 6 000 millions de m³, soit une croissance d'environ 71 % par rapport à l'année 2020.

Source : France Stratégie

2. L'irrigation pourrait intensifier la baisse des débits



Demande d'irrigation et irrigation effective simulée en été sous RCP8.5 en moyenne dans les zones fortement irriguées (> 5% de la surface totale)

- La demande moyenne augmente avec le changement climatique pour les 4 narratifs
- L'irrigation effective stagne à partir de 2000 (comme les surfaces irriguées)

4 narratifs

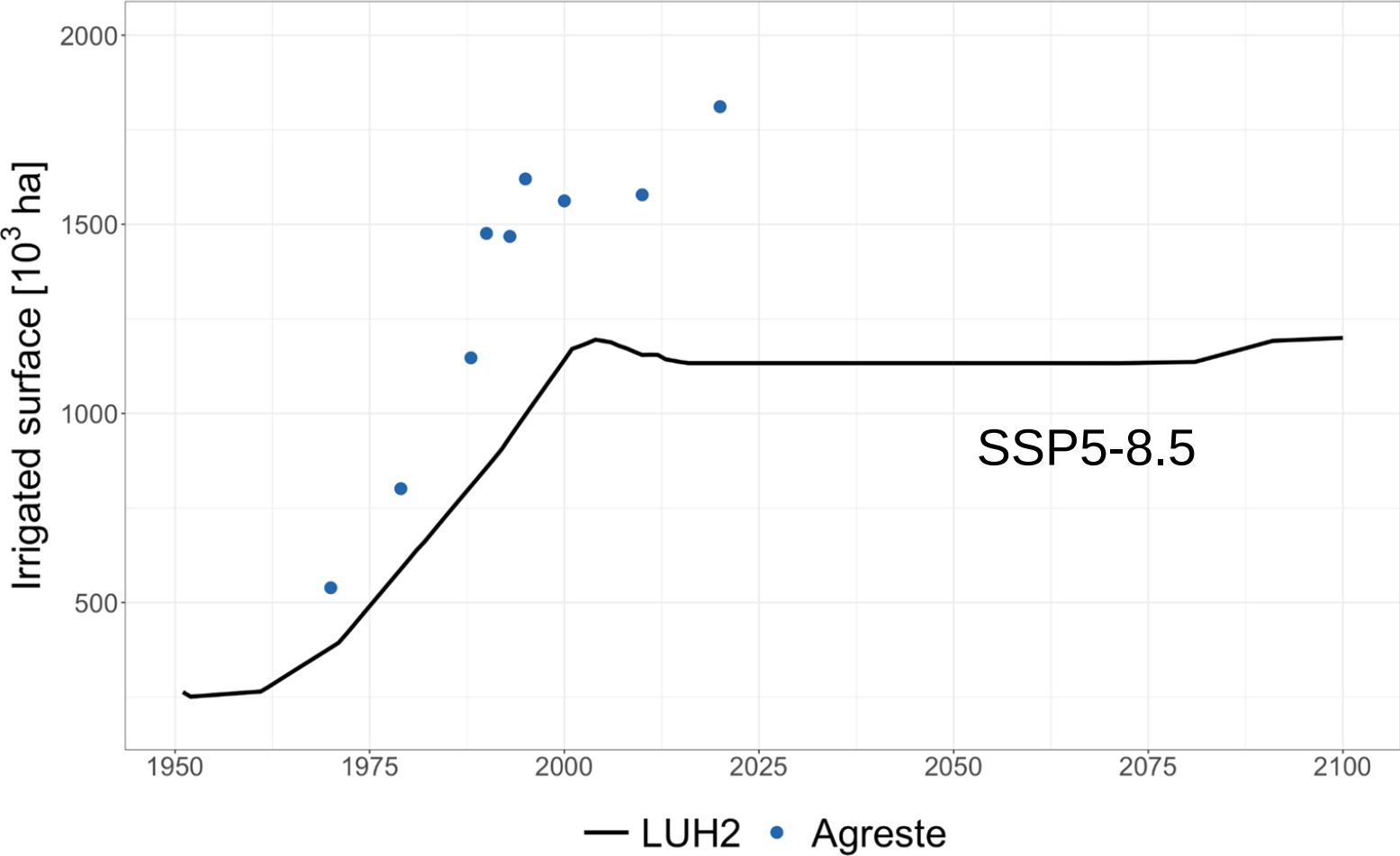
- **Faibles changements de P&T (jaune)**
- **Chaud et humide (vert)**
- **Chaud et sec (orange)**
- **Chaud et contrasté (violet)**

Irrigated area in France

Year	Agreste (10 ³ ha)	LUH2 (10 ³ ha)
1970	539	380
1979	801	588
1988	1147	808
1990	1476	856
1993	1468	937
1995	1620	996
2000	1562	1141
2010	1578	1155
2020	1811	1133

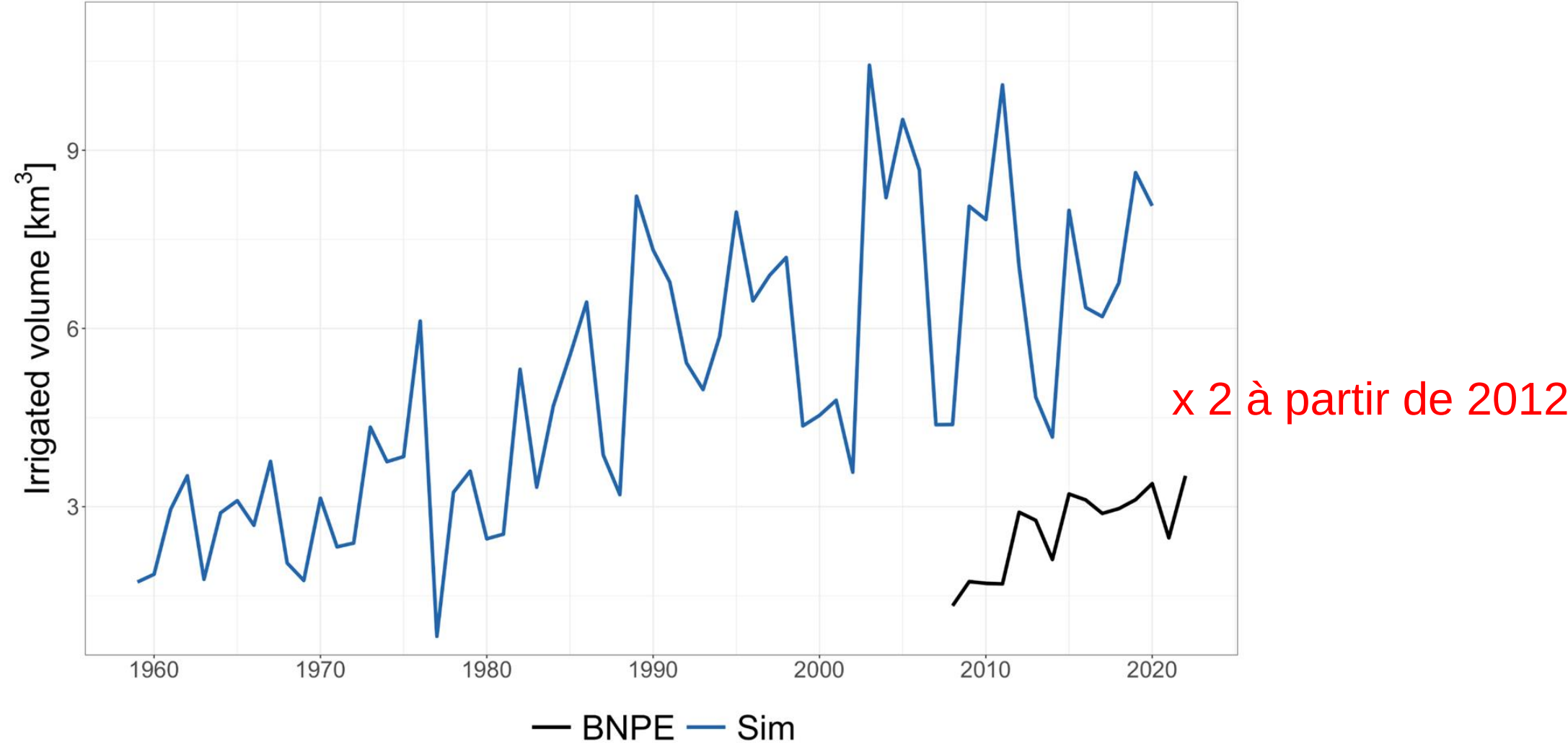
-37%

Source: reports of RA

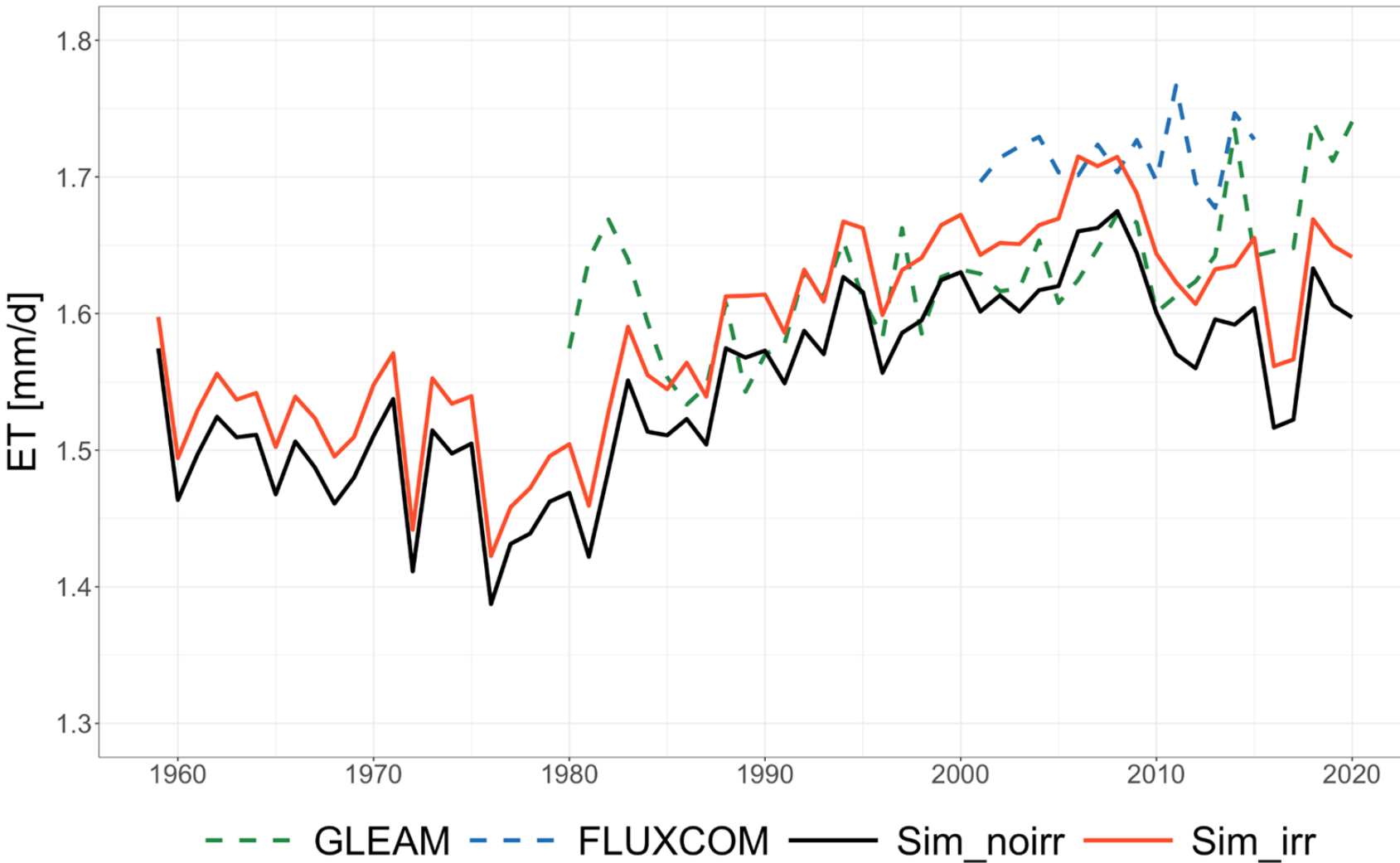


Both datasets give Areas actually irrigated

Irrigated volume in France



ET in France

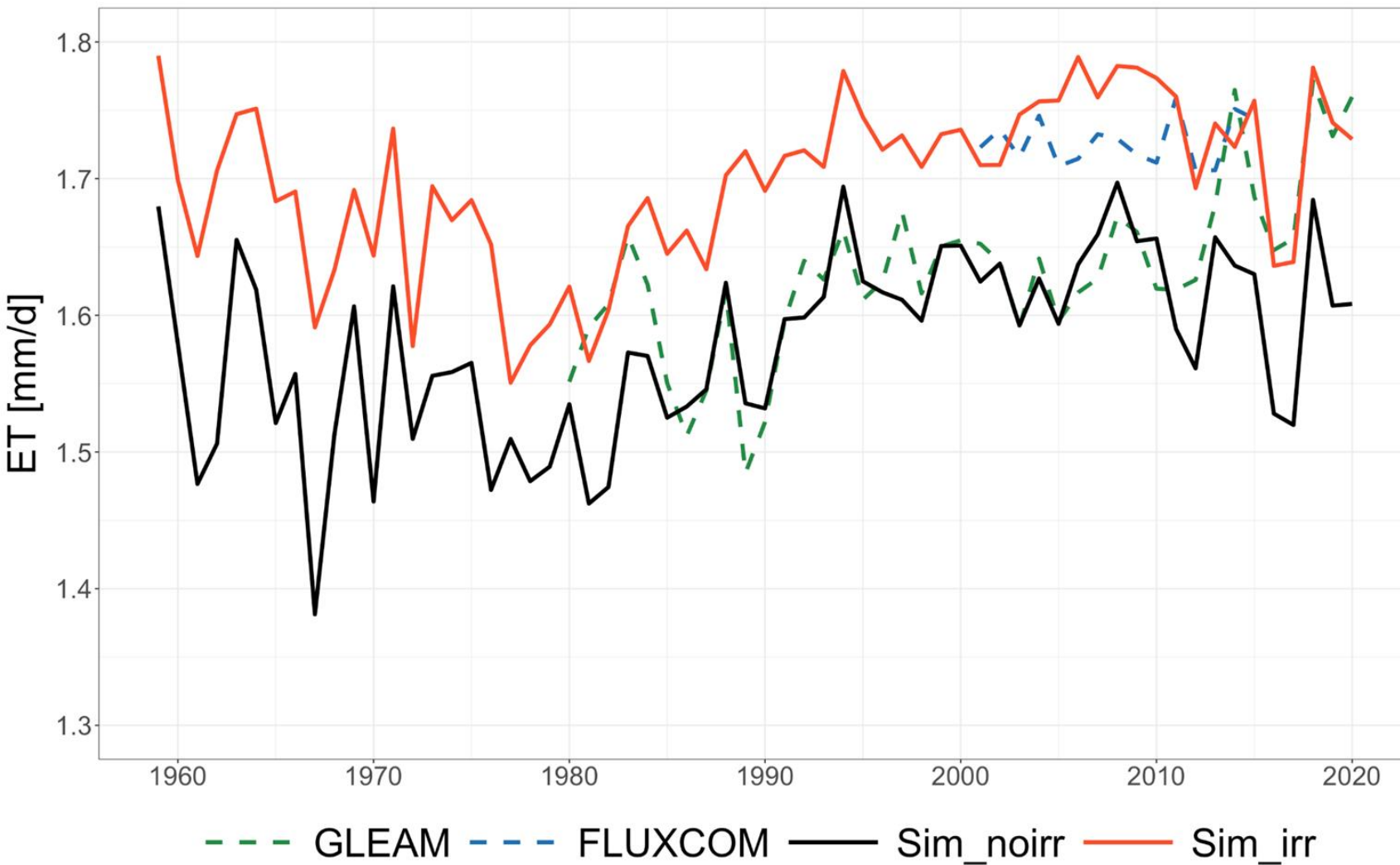


ET gleam: 1.627 mm/d
ET fluxcom: 1.715 mm/d

bias ET sim_noirr to gleam:
-3.0%
bias ET sim_noirr to fluxcom:
-5.9%

bias ET sim_irr to gleam:
-0.4%
bias ET sim_irr to fluxcom:
-3.2%

ET in France area with irrigation fraction > 0



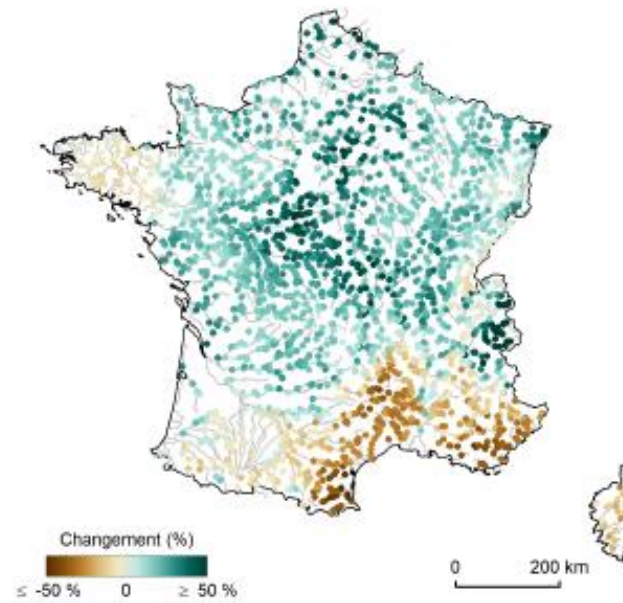
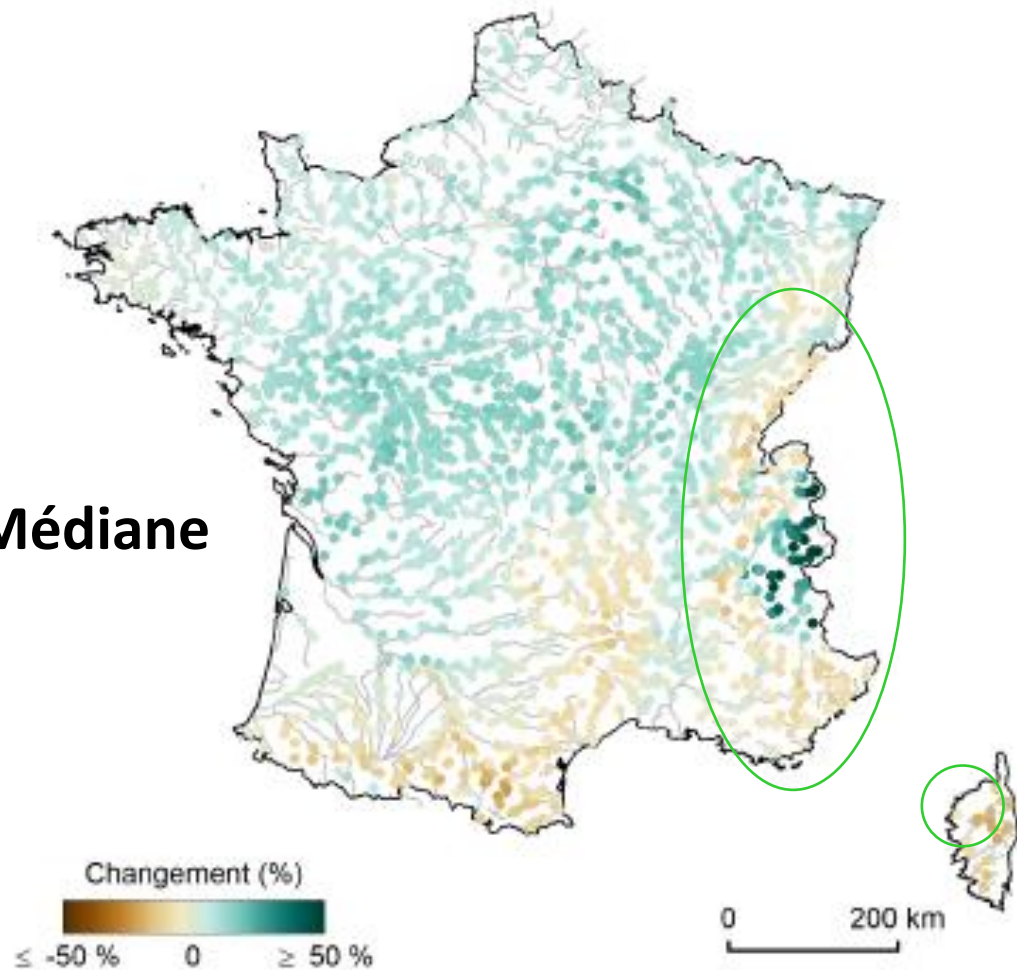
ET gleam: 1.631 mm/d
ET fluxcom: 1.727 mm/d

bias ET sim_noirr to gleam:
-2.0%
bias ET sim_noirr to fluxcom:
-5.6%

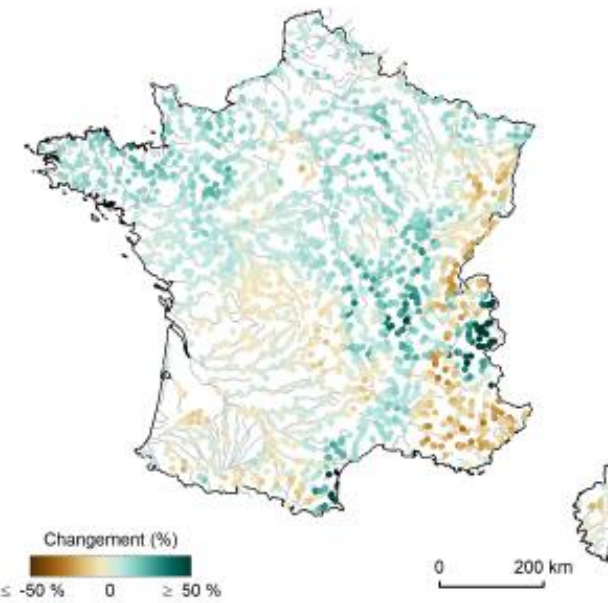
bias ET sim_irr to gleam:
5.1%
bias ET sim_irr to fluxcom:
1.3%

Débit de Printemps

Médiane

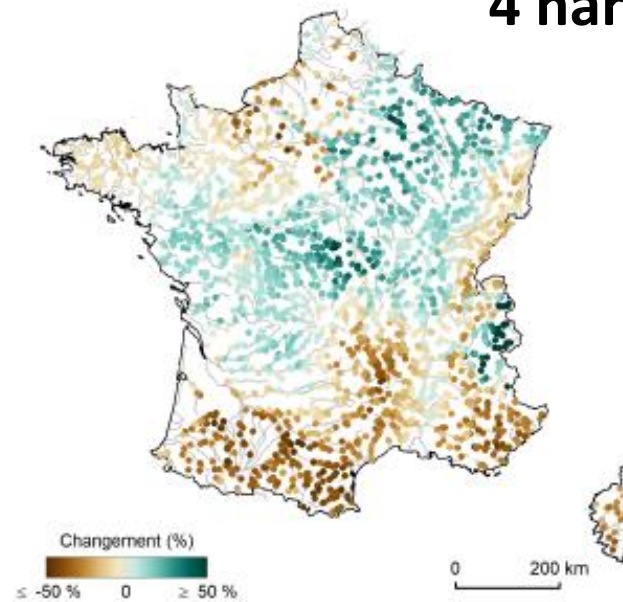


(a) vert

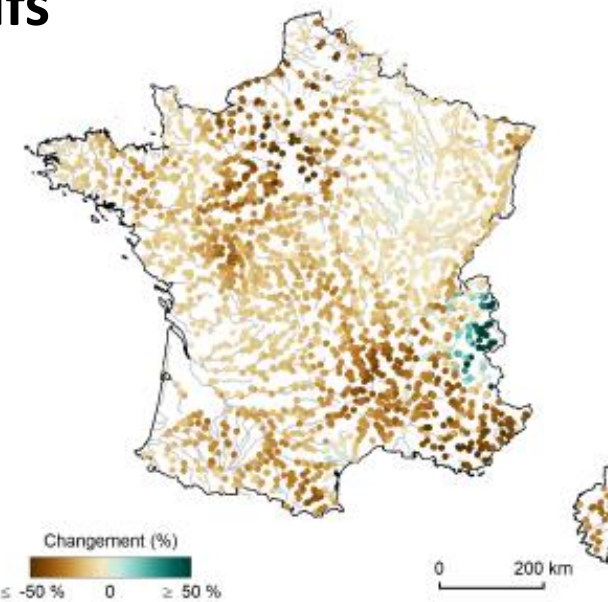


(b) jaune

4 narratifs



(c) violet



(d) orange

La demande en eau

Prospective territorialisée
à l'horizon 2050

RAPPORT

JANVIER
2025

Rapport France stratégie 2025

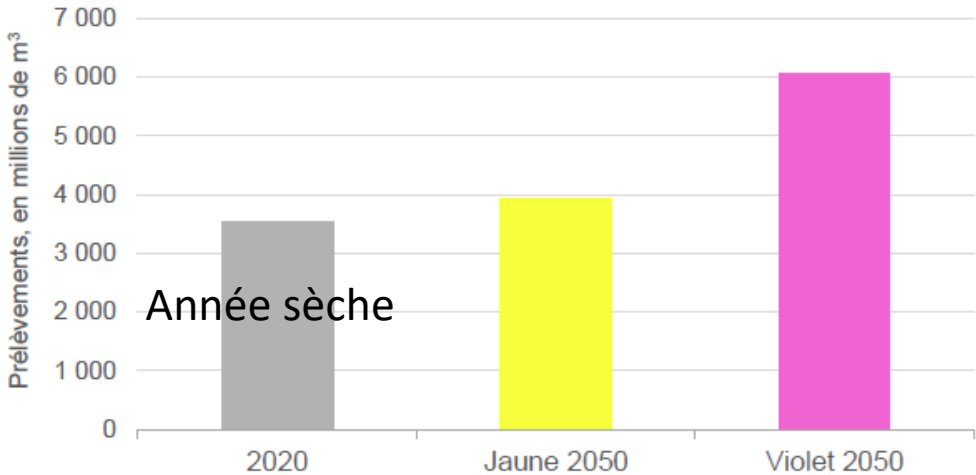
Tableau 14 – Volumes de substitution dans les trois scénarios d’usage en 2050, en millions de m³

2020	Scénario tendanciel	Scénario politiques publiques	Scénario de rupture
15,6	16,3	222,2	

Source : France Stratégie, d’après les données de l’établissement public transmises par les agences de l’eau et nos hypothèses d’évolution

Il s’agit en fait de la demande en irrigation qui ne devient prélèvement que si l’eau est disponible

Graphique 12 – Évolution des prélèvements pour l’irrigation entre 2020 et 2050 à pratiques agricoles identiques pour un printemps-été sec sous deux projections climatiques, en millions de m³



Note : pour l’année 2020, les prélèvements ont été déterminés avec la météo de 2020.

Lecture : en 2050, pour un printemps-été sec et avec la projection climatique « violet », les prélèvements en considérant que les surfaces et pratiques agricoles ne changent pas entre 2020 et 2050, atteindraient 6 000 millions de m³, soit une croissance d’environ 71 % par rapport à l’année 2020.

Source : France Stratégie

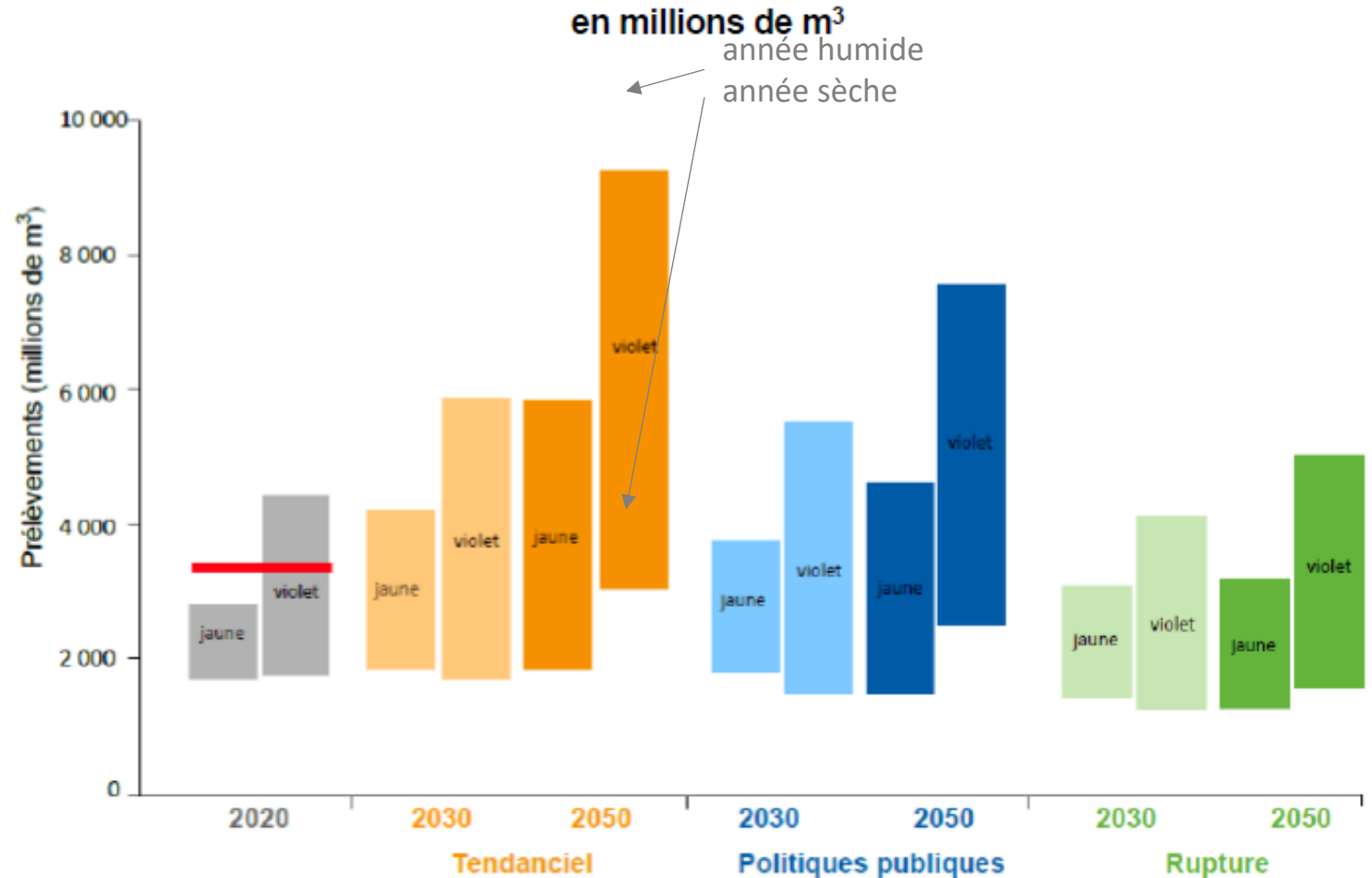
Rapport France stratégie 2025

Avertissements

Il s'agit en fait de la **demande** en irrigation qui ne devient prélèvement que si l'eau est disponible

Ces valeurs sont **modélisées** (modèle Strateau) pour 4 scénarios d'usages (2020, Tendanciel, Politiques publiques, Rupture) x 2 scénarios climatiques (jaune et violet)

Graphique 13 – Prélèvements pour l'irrigation des cultures dans les trois scénarios d'usage en fonction de la projection climatique et de la pluviométrie au printemps-été, en millions de m³



Lecture : en 2050, avec un printemps-été sec et avec la projection climatique violet (cas le plus défavorable), les prélèvements atteindraient 9 200 millions de m³ dans le scénario tendanciel et 5 000 millions de m³ dans le scénario de rupture.

Source : France Stratégie

Rapport France stratégie 2025

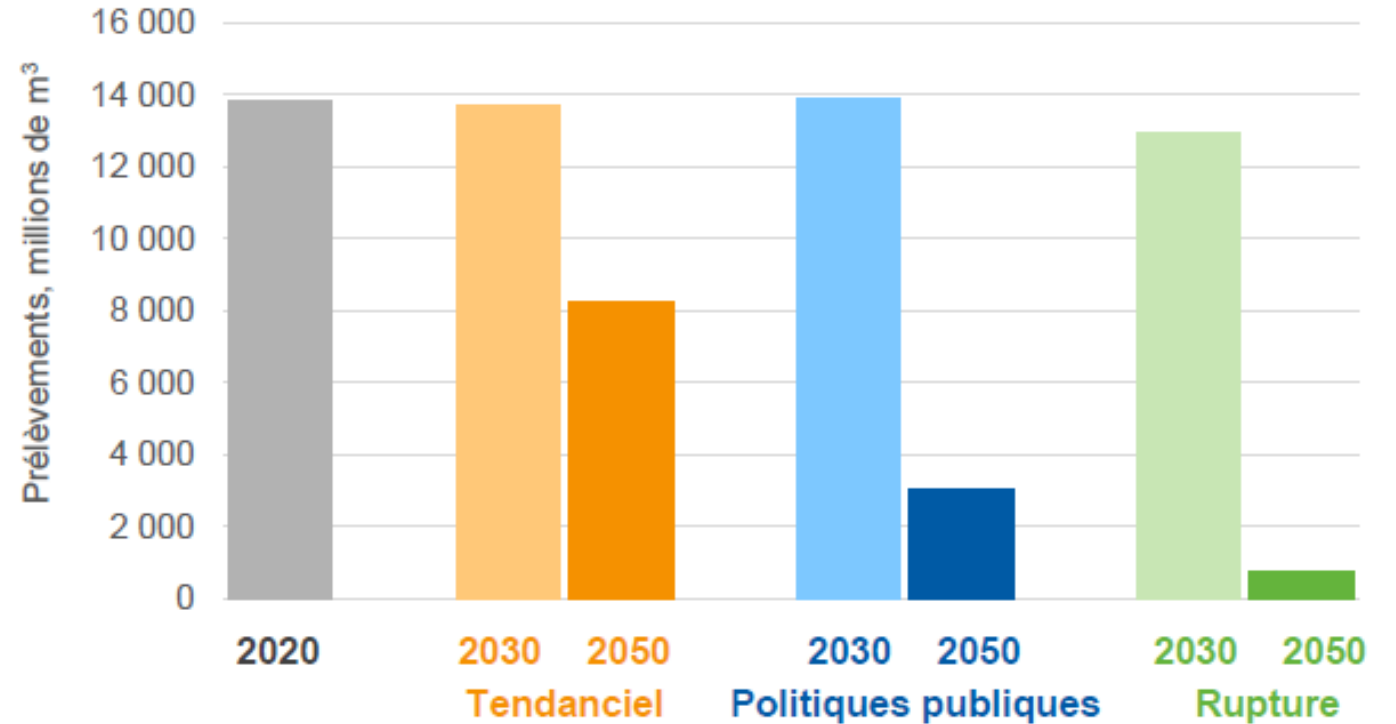
Les installations en circuit ouvert y pompent une cinquantaine de mètres cubes d'eau par seconde qu'elles rendent intégralement dans le milieu, réchauffés de plusieurs degrés. Il n'y a pas de consommation nette d'eau.

Celles en circuit fermé captent moins d'eau, 2 m3 par seconde, et la rejettent quasiment à la même température.

Mais dans ces dernières, 60 à 65 % de l'eau utilisée part dans l'atmosphère sous forme de vapeur à la sortie de tours aéro-réfrigérantes.

<https://reporterre.net/Economiser-l-eau-des-centrales-nucleaires-le-projet-discutable-de-Macron>

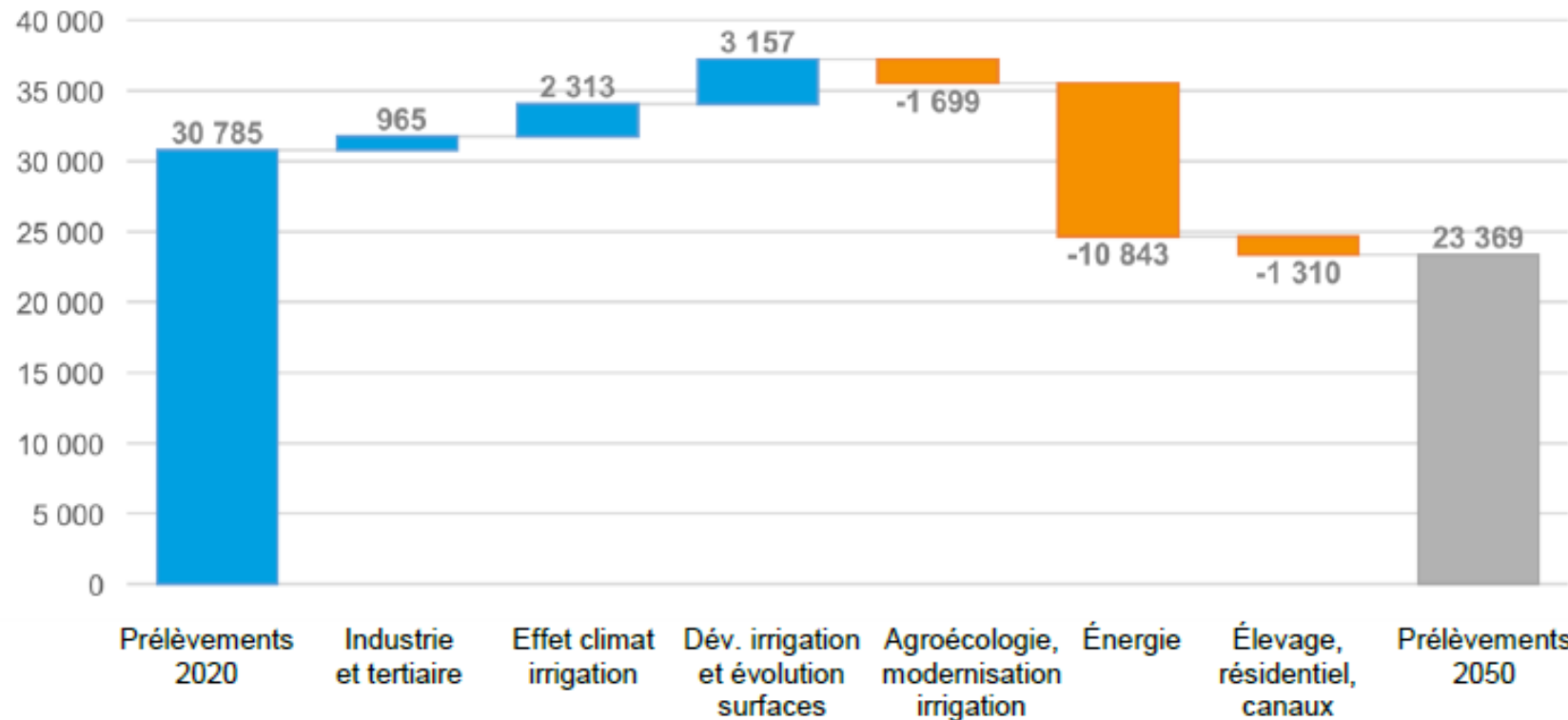
Graphique 16 – Prélèvements pour l'énergie dans les trois scénarios d'usage, en millions de m³



Moteur des baisses :
refroidissement en circuit fermé
+/- diminution du nombre de réacteurs

Rapport France stratégie 2025

Graphique 21 – Prélèvements totaux en 2020 et dans le scénario politiques publiques en 2050 et décomposition de leur évolution pour un printemps-été sec, en millions de m³

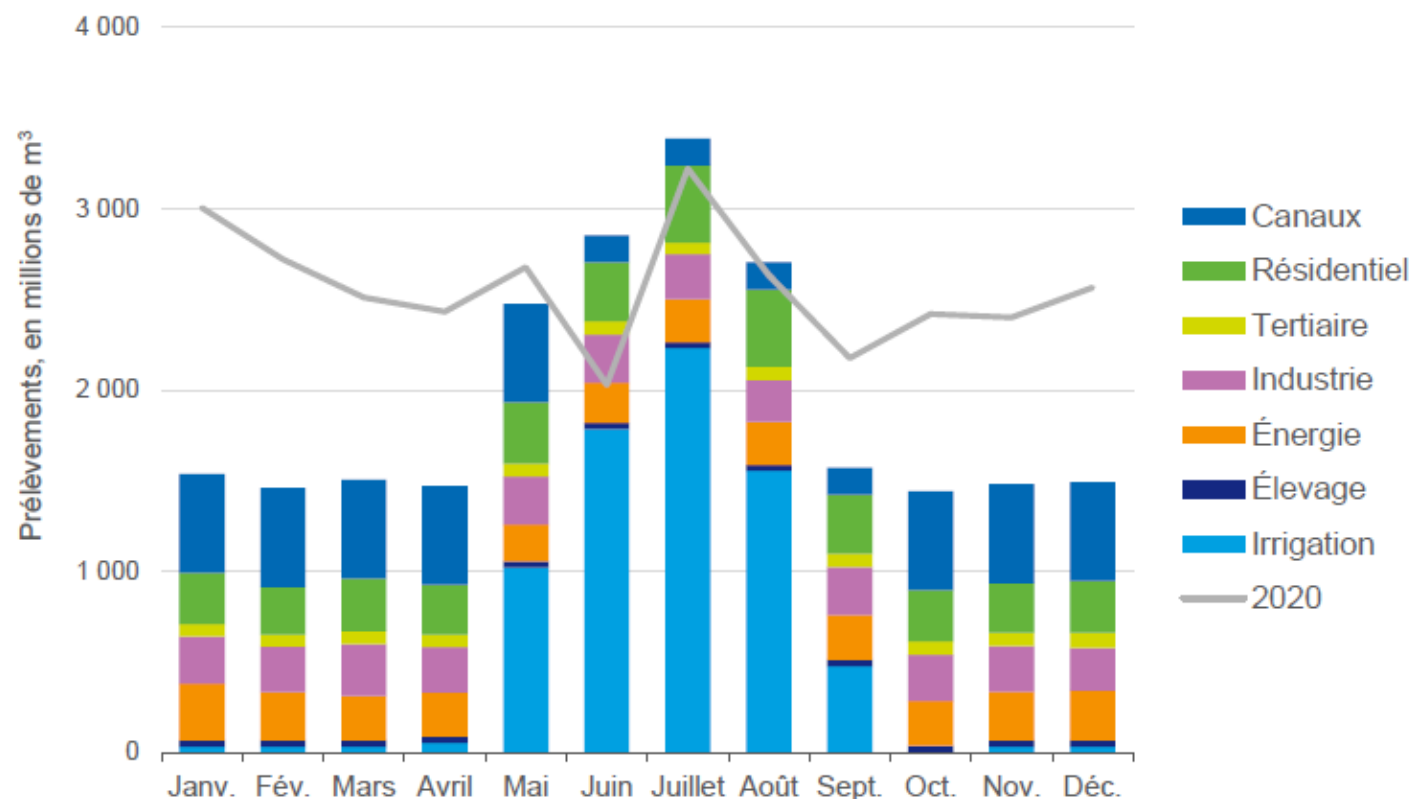


Note : l'année 2020 présentée est obtenue sous météo réelle 2020. Les résultats en 2050 sont obtenus sous la projection climatique « violet »

ATTENTION Il s'agit pas vraiment des prélèvement mais de la demande qui ne devient prélèvement que si l'eau est disponible

Rapport France stratégie 2025

Graphique 23 – Prélèvements mensuels en 2050 avec la projection climatique « violet » et pour un printemps-été sec dans le scénario politiques publiques et comparaison avec les prélèvements en 2020, en millions de m³



Note : l'année 2020 présentée est obtenue avec la météo réelle 2020.

Lecture : en 2050, avec le scénario politiques publiques, les prélèvements totaux pourraient atteindre 3 400 millions de m³ en juillet, l'irrigation y contribuant pour près de 66 %. En 2020, les prélèvements au mois de juillet s'élevaient à environ 3 200 millions de m³.

Source : France Stratégie

Rapport France stratégie 2025

Cas du BV de la Charente avec 10 Mm³ de retenues de substitution

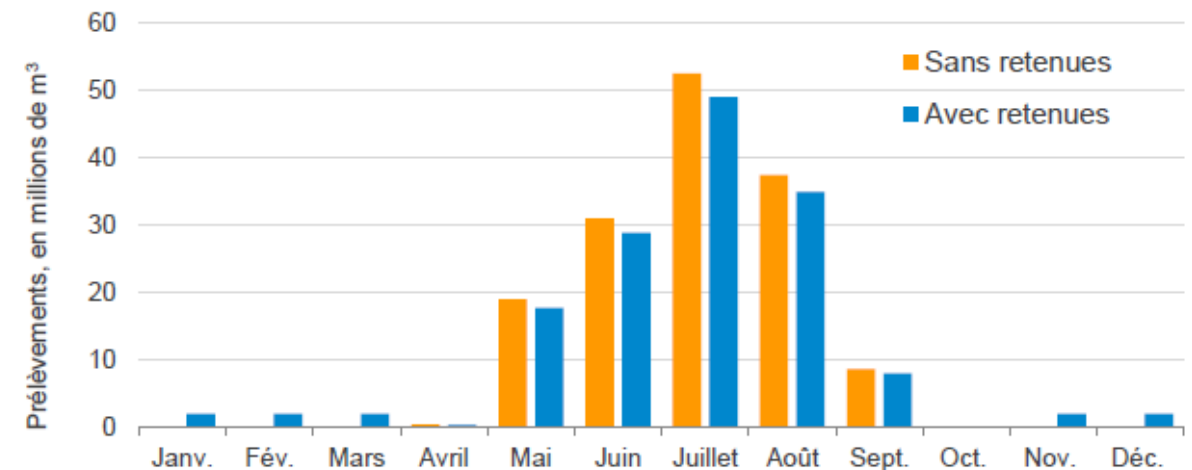
- Effet faible donc est-il utile de construire ces ouvrages ?
- D'autant qu'il y a un vrai risque ne pas pouvoir les remplir

Et le rapport de FS suppose la création de 200 Mm³ de retenues (dans les zones irriguées ≈ 7% de la SAU)

Encadré 8 – Effets modérés des retenues agricoles de substitution sur la répartition des prélèvements au cours de l'année Focus sur le bassin versant de la Charente

En 2050, dans le scénario politiques publiques, dans le bassin versant de la Charente, où plus de trente retenues de substitution pour un volume de plus de 7,5 millions de m³ sont construites, portant le volume de substitution globale à 10,1 millions de m³, 6,8 % des prélèvements estivaux seraient décalés en période hivernale. Autrement dit, même en considérant un remplissage complet des ouvrages de substitution, leur effet demeure limité, eu égard à la demande future.

Graphique 22 – Comparaison de la temporalité des prélèvements en 2050 dans le bassin versant de la Charente en fonction de l'équipement en retenues de substitution, en millions de m³



Note : résultats obtenus en 2050 pour le scénario politiques publiques. Dans la simulation sans retenues, il n'y a aucune retenue de substitution dans le bassin versant de la Charente. Dans la simulation avec retenues, le volume total des retenues de substitution s'élève à 10,1 millions de m³. Les résultats sont obtenus pour un printemps-été sec et avec la projection climatique « violet ».

Lecture : la création de retenues de substitution permettrait de réduire les prélèvements en juillet de 6 %.

Source : France Stratégie d'après la méthode décrite précédemment