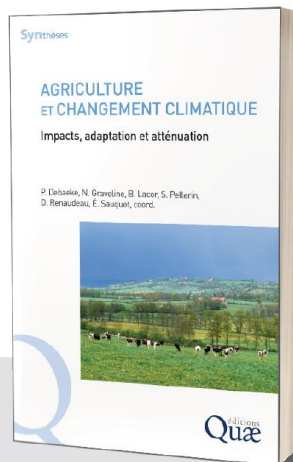


ERIC SAUQUET



- Directeur de recherche en hydrologie dans l'Unité de Recherche RiverLy, Centre Lyon-Grenoble Auvergne-Rhône-Alpes, d'INRAE
- Chargé de mission au département AQUA à INRAE depuis janvier 2020. Directeur du métaprogramme CLIMAE « Agriculture et forêt face au changement CLIMatique : Adaptation et Atténuation »
- Membre des conseils scientifiques des comités de bassin de l'Agence Adour Garonne et de l'Agence Rhône-Méditerranée, et du Comité Scientifique Consultatif auprès de Météo-France
- Coordinateur du volet scientifique du projet  **EXPLORE2**
Des futurs de l'eau

• Dernières publications **GRAND PUBLIC**



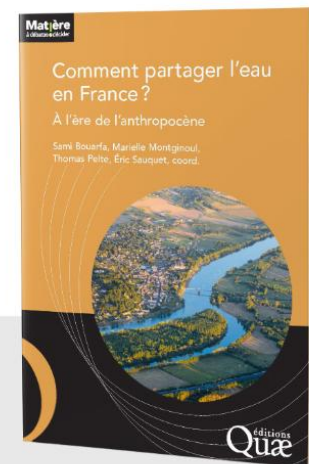
AGRICULTURE ET CHANGEMENT CLIMATIQUE Impacts, adaptation et atténuation

Édition Quæ, Coll. *Synthèses*, 398 pages
ISBN 978-2-7592-4011-1, réf. 02986
Parution : **mars 2025**

Livre papier : **49 €**
Ebook en accès libre sur quae-open.com

éditions
Quæ

À PARAÎTRE



COMMENT PARTAGER L'EAU EN FRANCE ?

À l'ère de l'anthropocène

Quæ, 196 pages, ISBN 978-2-7592-4098-2
Coll. *Matière à débattre et décider*

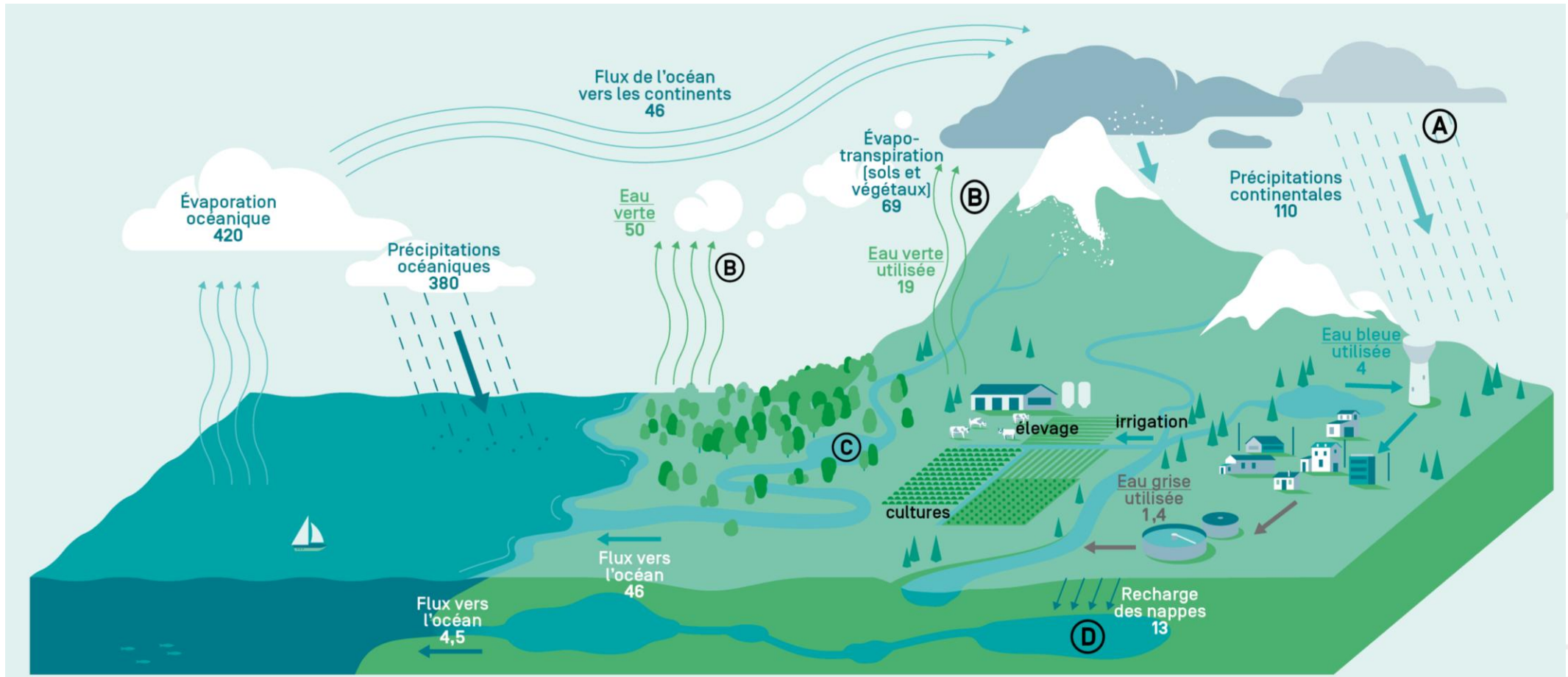
Parution : **Juin 2025**

éditions
Quæ

QUELLES ÉVOLUTIONS POUR LE CLIMAT ET L'HYDROLOGIE ? QUELQUES RÉSULTATS D'EXPLORE² SUR LE BASSIN DE LA GARONNE

Eric SAUQUET
INRAE, pour le consortium

CONTEXTE : LE CYCLE DE L'EAU



CONTEXTE : QUELLES DONNÉES ?

- Les données de débit : une mesure indirecte

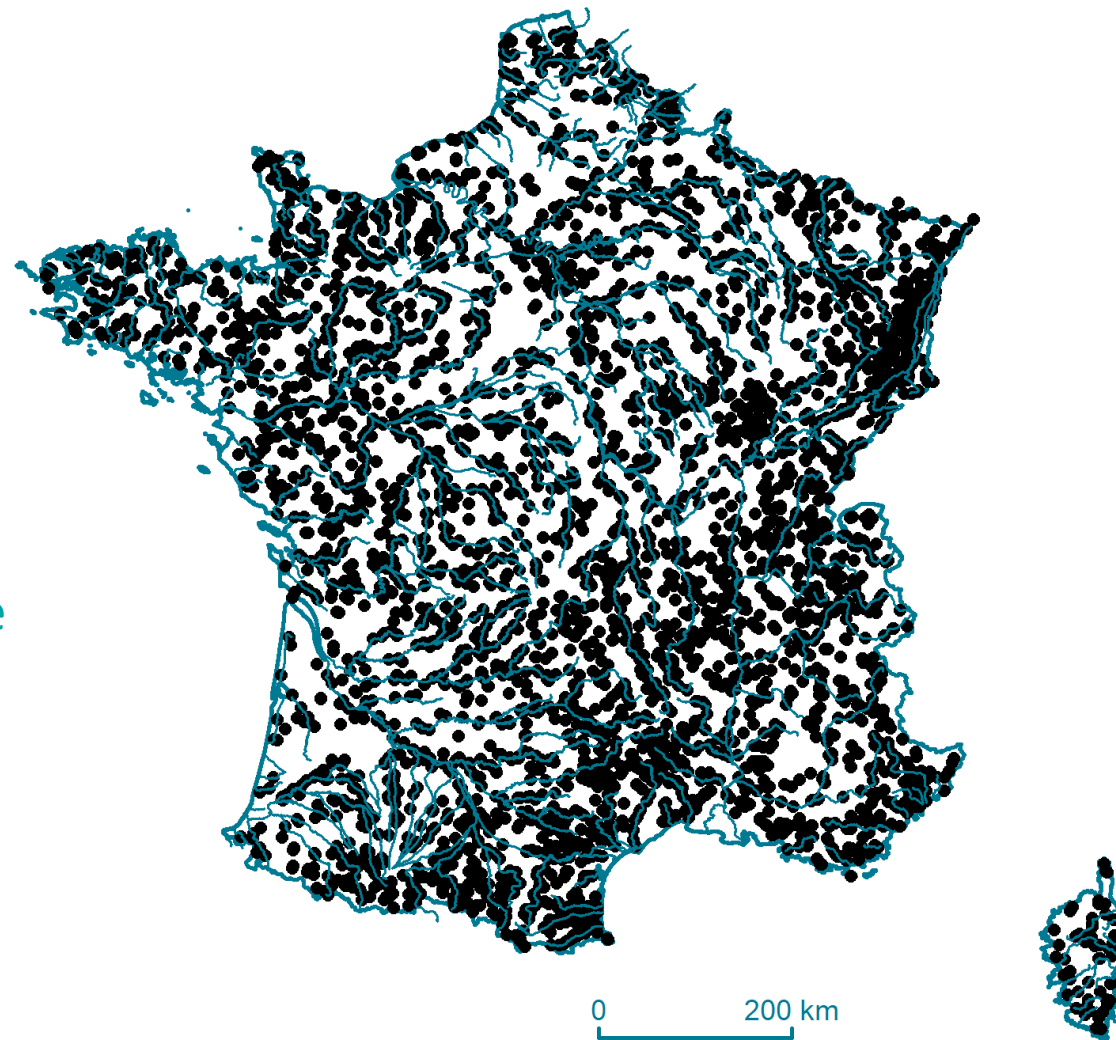
Le limnimètre est l'élément de base des dispositifs d'enregistrement du niveau de l'eau : il est constitué le plus souvent par une échelle limnimétrique verticale ou inclinée placée près de la prise d'eau du limnigraphe sur laquelle on lit le niveau de l'eau



Sonnant d'Uriage à Gières (38) : échelle et capteur 1999

CONTEXTE : QUELLES DONNÉES ?

- En France (y c. les Outre-Mer) : un réseau national de plus de 5000 stations hydrométriques de l'Hydroportail de longueurs différentes et de qualités différentes
- Malgré une densité non négligeable, il existe des tronçons de rivière dépourvus de point de mesure (principalement en secteur rural ou en tête de bassin, sans enjeux « économiques »)



CONTEXTE : QUELLES DONNÉES ?

- Exemple 1 : Les mesures en hautes eaux sont souvent perturbées par un amoncellement de branchages retenus par le passage à gué à l'aval immédiat de la station. En été, les hauteurs sont faussées par des barrages artificiels confectionnés par les baigneurs

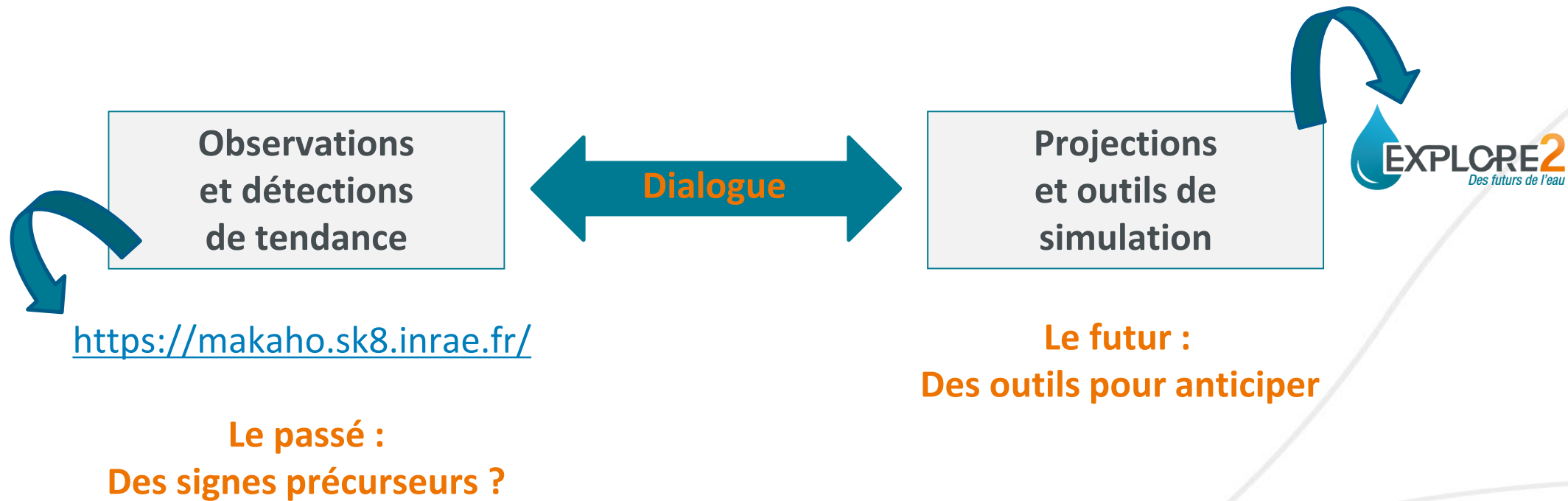


Exemple 2



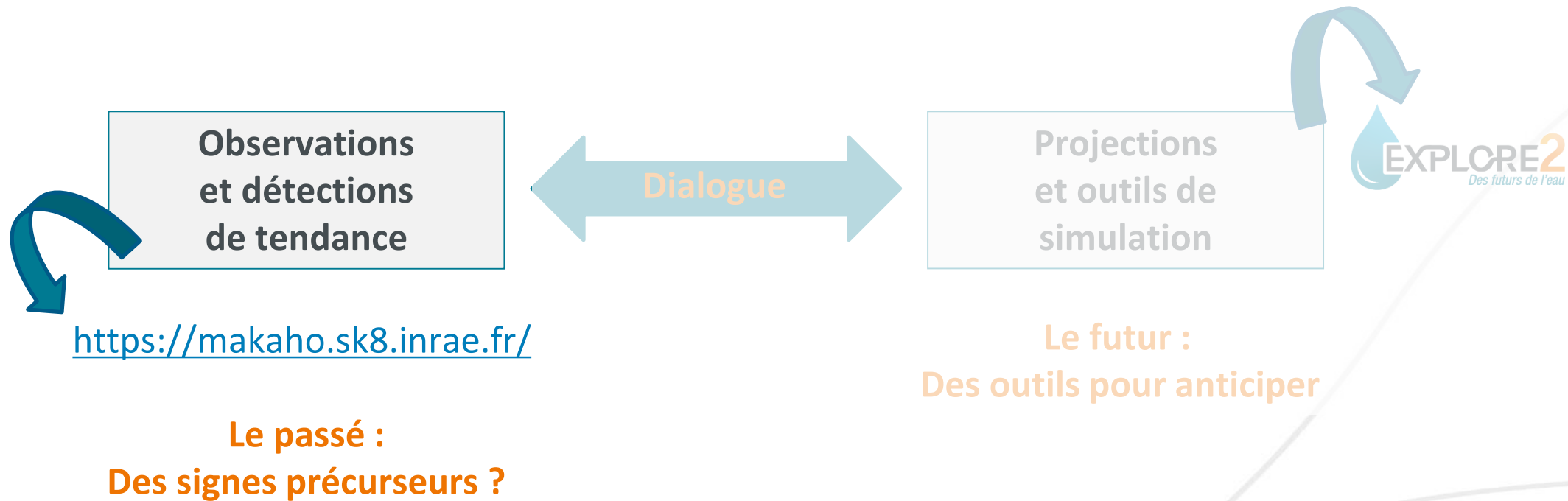
CONTEXTE : CHANGEMENT CLIMATIQUE ET IMPACT SUR L'HYDROLOGIE

→ Deux approches complémentaires pour appréhender la question du changement climatique



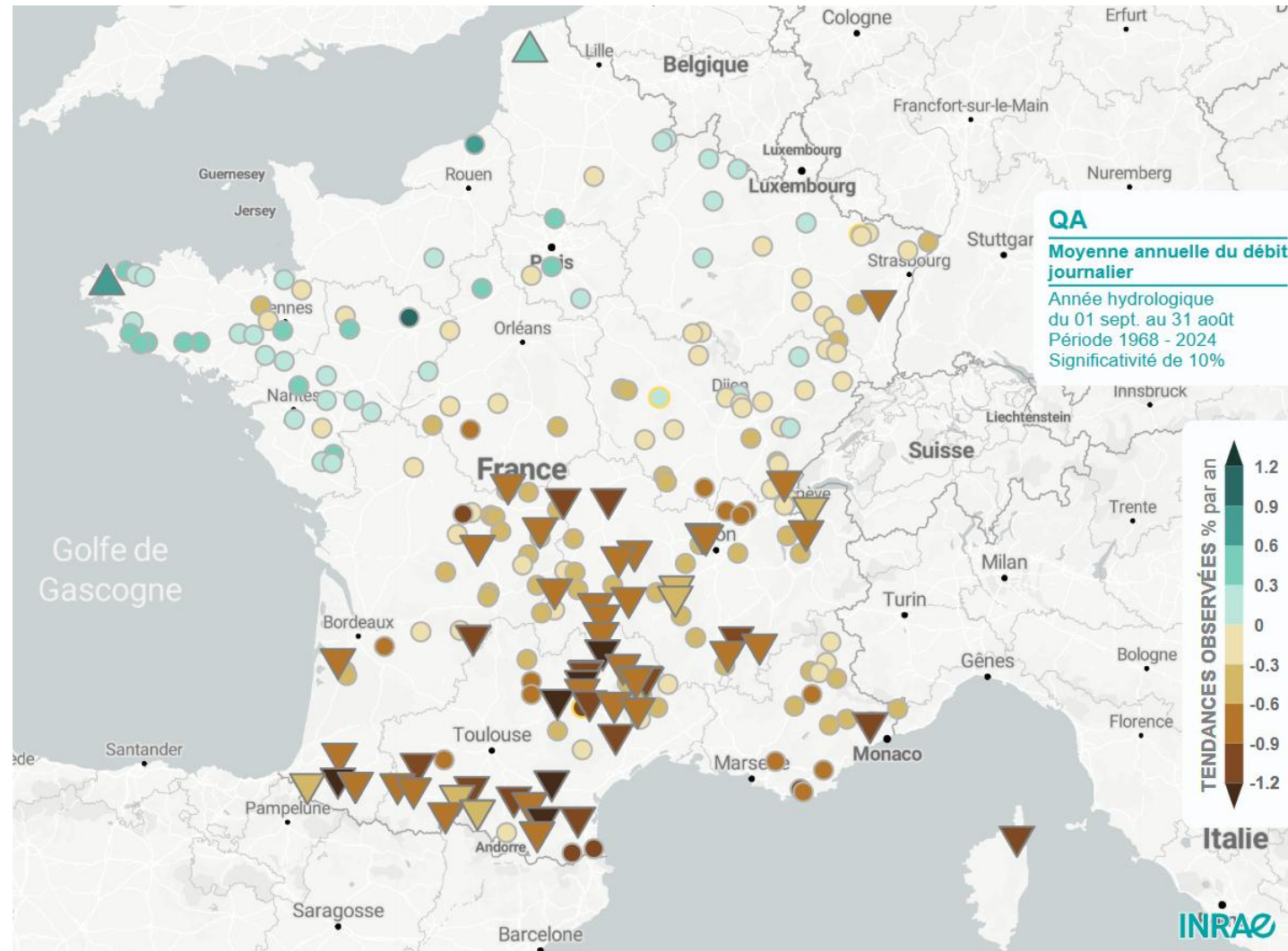
CONTEXTE : CHANGEMENT CLIMATIQUE ET IMPACT SUR L'HYDROLOGIE

→ Deux approches complémentaires pour appréhender la question du changement climatique



TENDANCES EN FRANCE

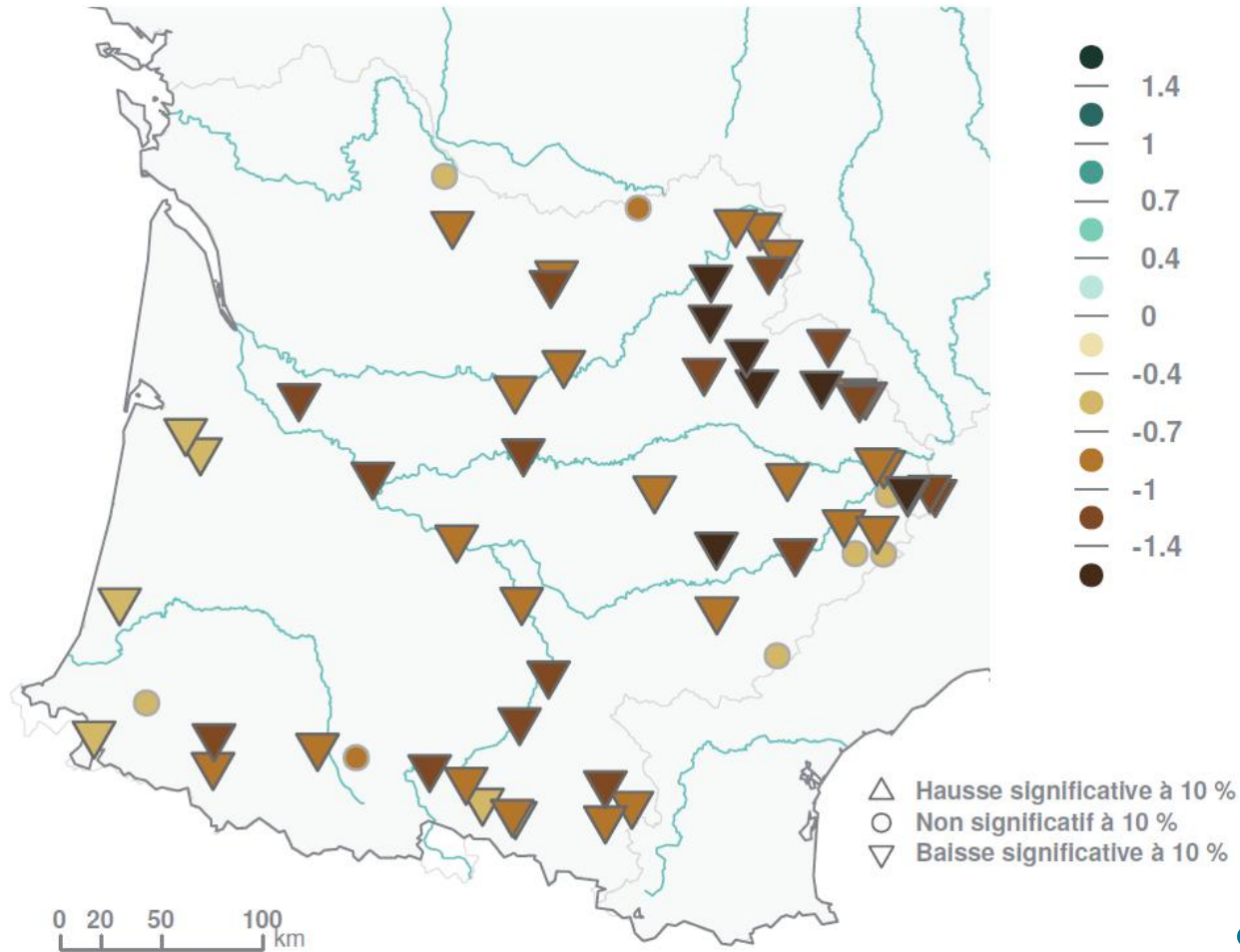
- Un diagnostic sur des stations hydrométriques **peu influencées** pour capter un signal « naturel »
- Evolution des débits annuels observée sur 1968-2024
 - Tendance à une nette baisse sur la moitié sud
 - Tendances non significatives sur le nord de la France



Graphiques (et autres indicateurs) disponibles sur <https://makaho.sk8.inrae.fr/> (INRAE Lyon)

TENDANCES SUR LE BASSIN DE LA GARONNE

Tendances en $\%.an^{-1}$
Période du 01/01/1968 au 31/12/2022

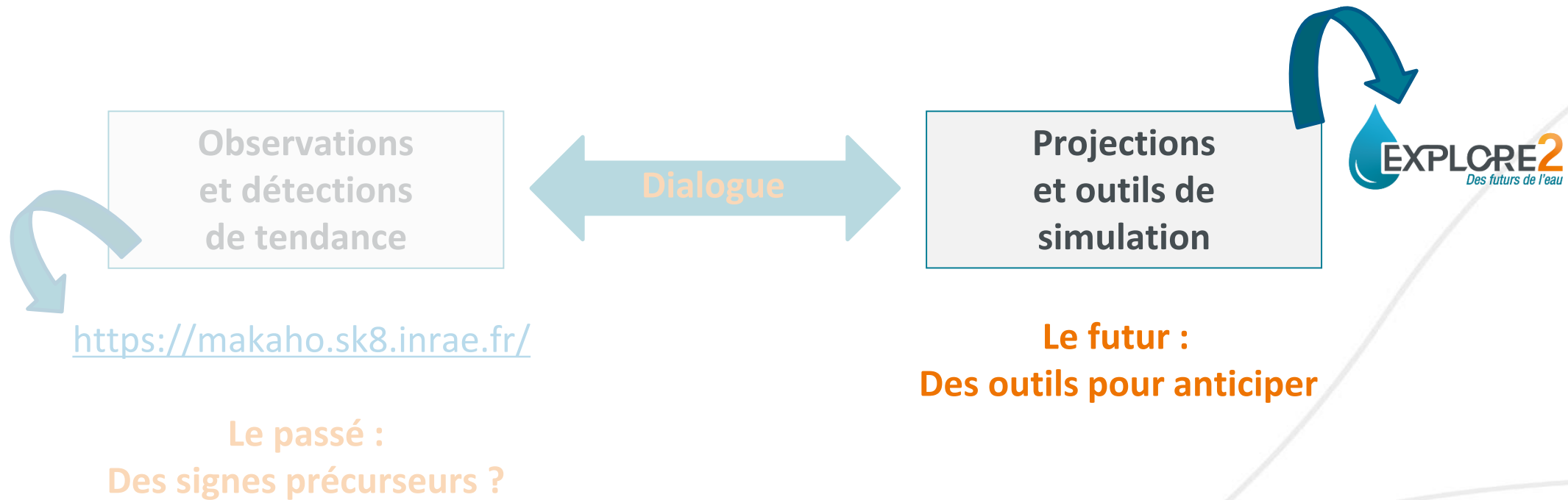


Source : Ebullition(s), dossier « l'eau », n° 3

Débit moyen de juin à octobre

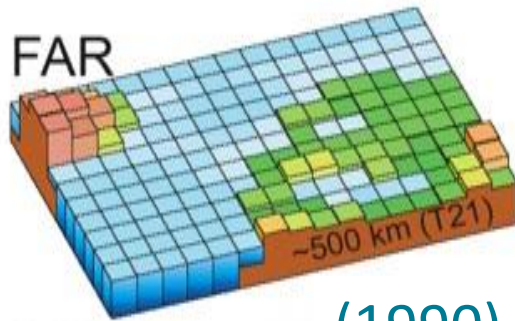
CONTEXTE : CHANGEMENT CLIMATIQUE ET IMPACT SUR L'HYDROLOGIE

→ Deux approches complémentaires pour appréhender la question du changement climatique

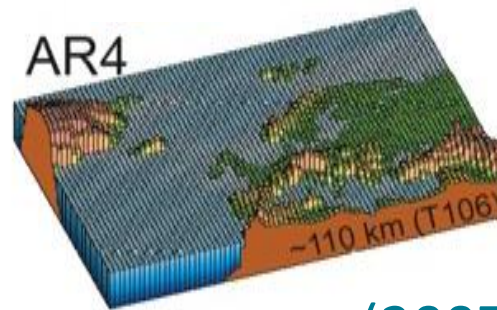


LA NÉCESSAIRE PRISE EN COMPTE DES INCERTITUDES

- Des incertitudes multiples :
 - sur les futures émissions de gaz à effet de serre
 - dans la modélisation (imperfection)



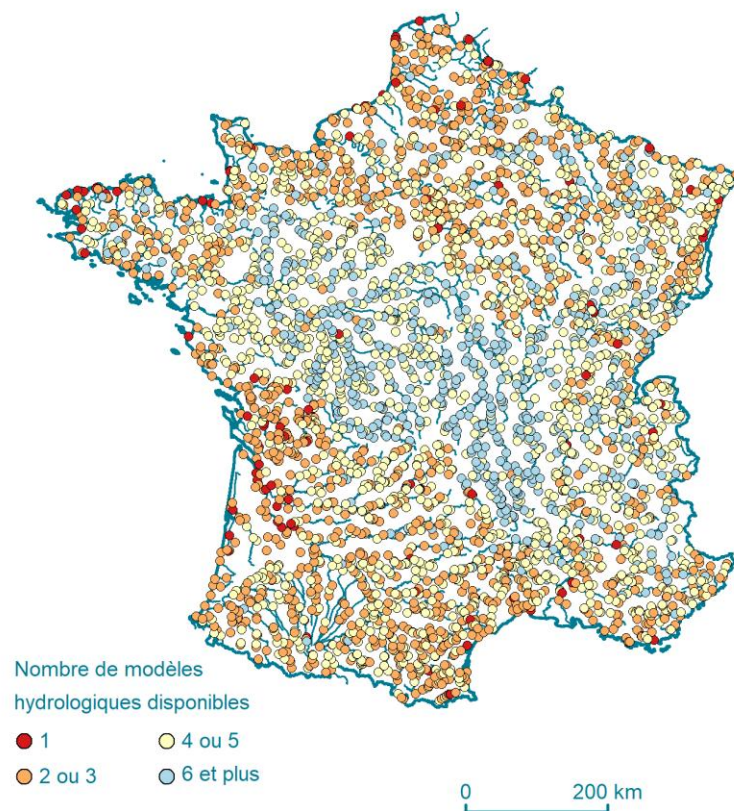
(1990)



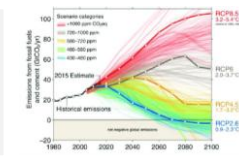
(2007) mais on progresse !

- liées à la variabilité climatique
- **Des incertitudes qui complexifient l'élaboration et la compréhension des messages et les décisions : il n'y a pas un futur possible mais des futurs possibles**

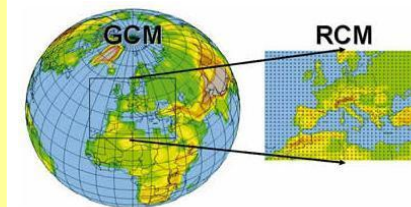
ETUDE D'IMPACT : APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE



Scénarios d'émission



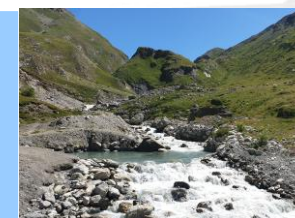
Climat présent et futur
(modèles climatiques,
désagrégation dynamique
ou statistique)



Actions humaines
(irrigation,
réglementation, etc.)
(modèles
de gestion)

Ressource
naturelle
(modèles
hydrologiques)

Débit en rivière ou hauteur
piézométrique ou recharge des
aquifères (**variable diagnostic**)



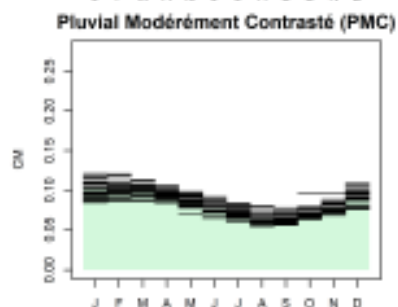
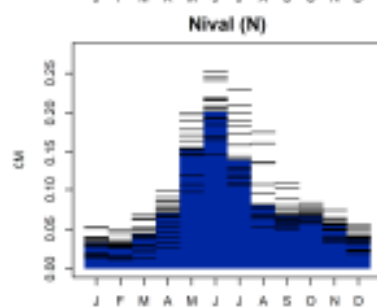
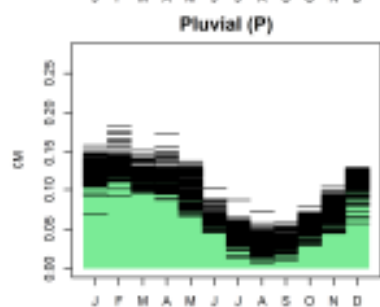
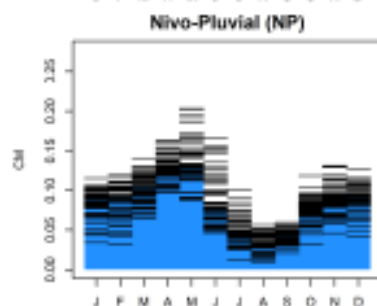
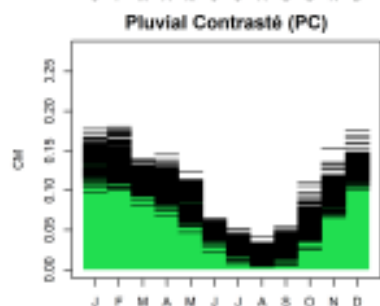
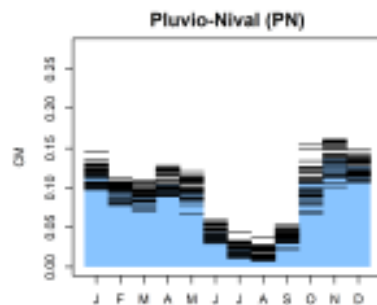
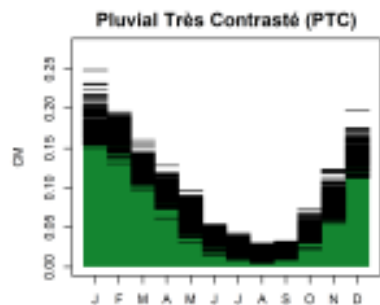
LE CONTEXTE DE LA TRACC

La Trajectoire de réchauffement de référence pour l'adaptation au changement climatique (TRACC) :

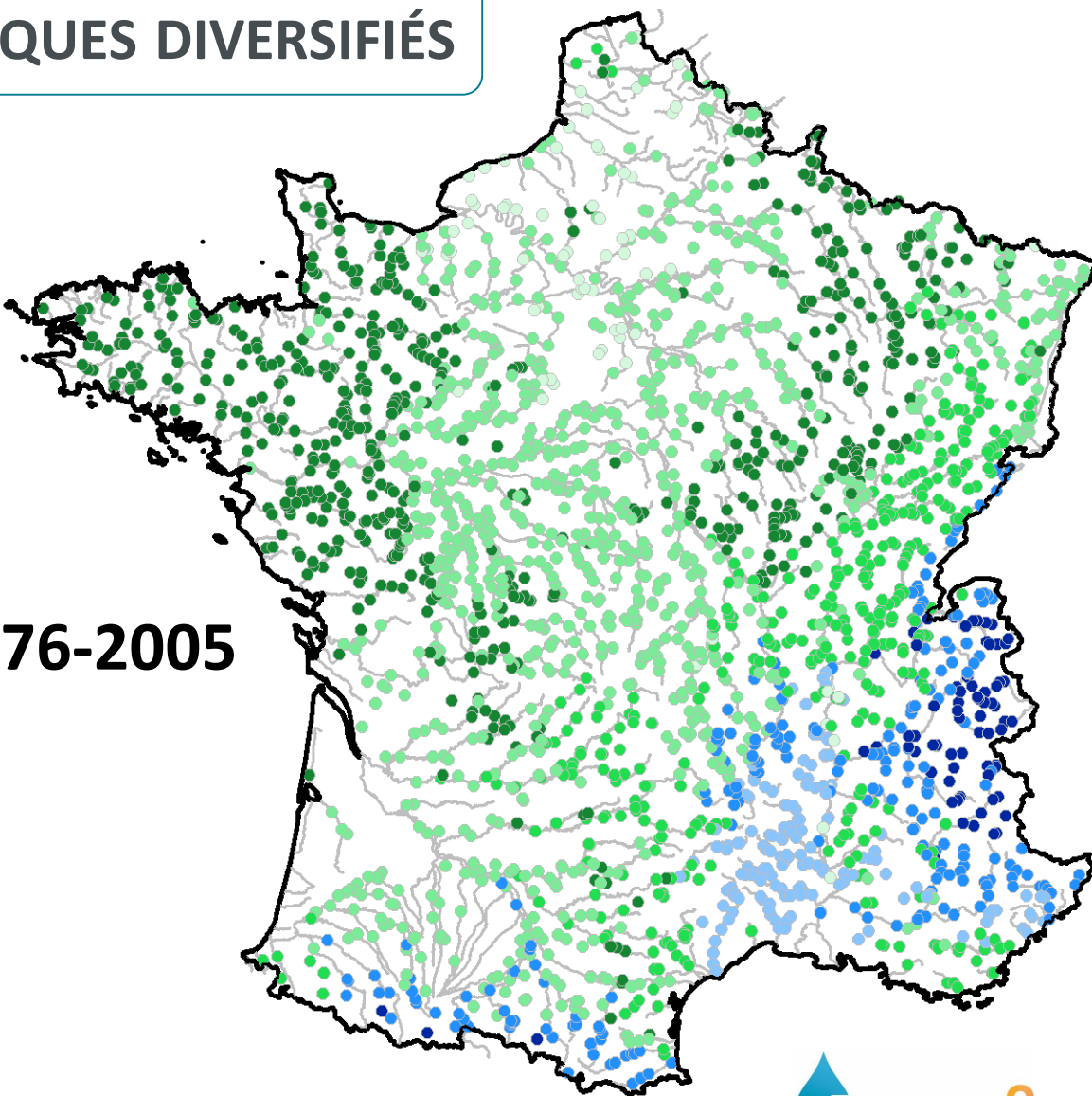
- Constitue le cadre de référence pour l'ensemble des politiques nationales et locales d'adaptation au changement climatique et pour le PNACC-3
- Se fonde sur les travaux du GIEC et de chercheurs français. Prenant en compte les politiques et engagements des Etats en matière de lutte contre le changement climatique, la TRACC correspond à un réchauffement de +2 ° C, +2.7 ° C et +4 ° C en France hexagonale et Corse par rapport aux niveaux préindustriels
- Techniquement, s'appuie sur les projections hydro-climatiques d'  (extraction d'une fenêtre temporelle de 20 ans centrée sur l'année d'atteinte du niveau de réchauffement visé)

Décret n° 2026-23 du 23 janvier 2026 relatif à la trajectoire de réchauffement de référence pour l'adaptation au changement climatique

DES FONCTIONNEMENTS HYDROLOGIQUES DIVERSIFIÉS



1976-2005



Régimes pluviaux

● PTC ● PC ● P ● PMC

Régimes nivaux et de transition

● PN ● NP ● N

EXPLORE2
Des futurs de l'eau

0 200 km

Variables d'intérêt :

- Débits saisonniers
- Régime hydrologique
- Extrême en crue : la moyenne inter-annuelle des QJXA (débit journalier maximal annuel sur l'année hydrologique), et en étiage : la moyenne inter-annuelle des VCN10 (minimum de la moyenne sur 10 jours du débit journalier sur la période 01/05 au 30/11)

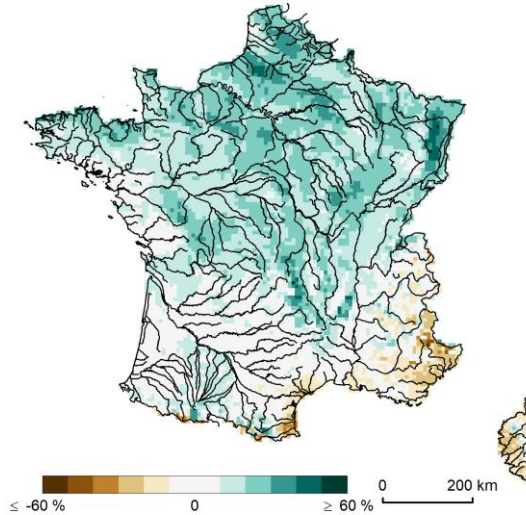
Analyse des changements avec pour référence la période 1976-2005 : examen du consensus sur le signe (convergence sur le signe du changement si le signe domine pour + de 80 % des projections) et intensité des changements (médiane d'ensemble sur les supports cartographiques)

DES FUTURS CLIMATIQUES CONTRASTÉS POUR UNE FRANCE À +4°C

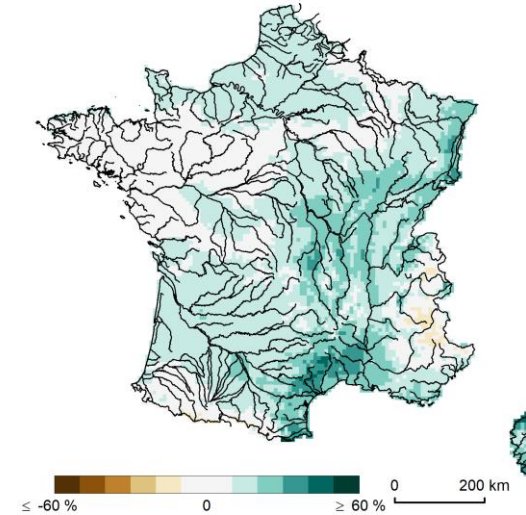
Des exemples
de futurs par
types d'évolution

« évolution limitée » « évolution sèche » « évolution contrastée »

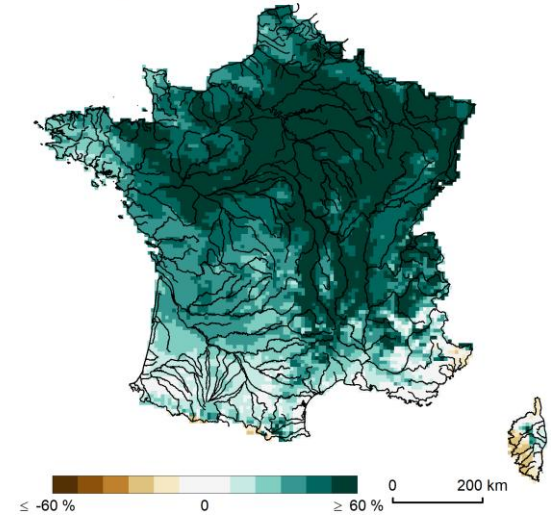
NorESM1_M_REMO2015 en hiver



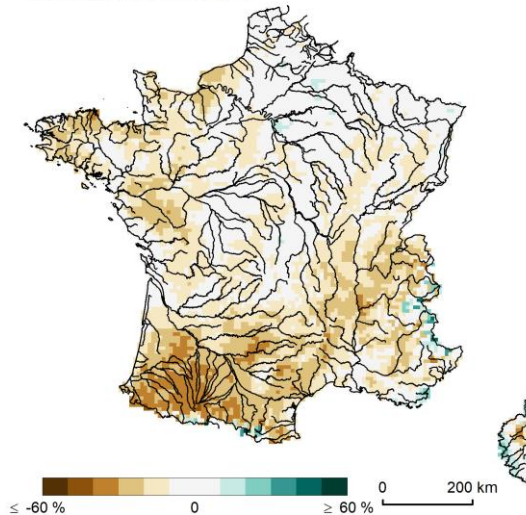
EC_EARTH_SMHI_RCA4 en hiver



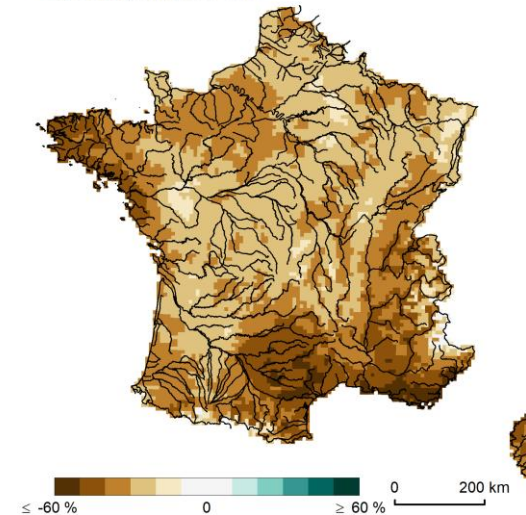
IPSL_CM5A_MR_HIRHAM5 en hiver



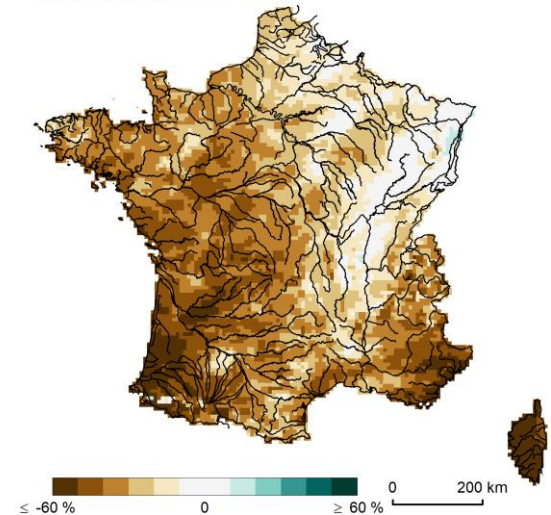
NorESM1_M_REMO2015 en été



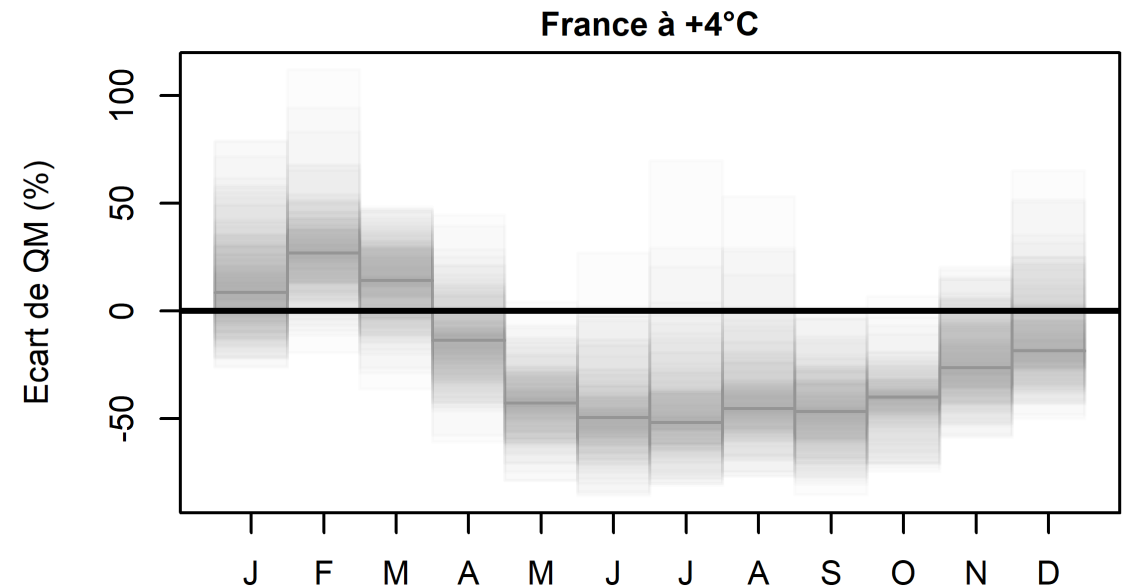
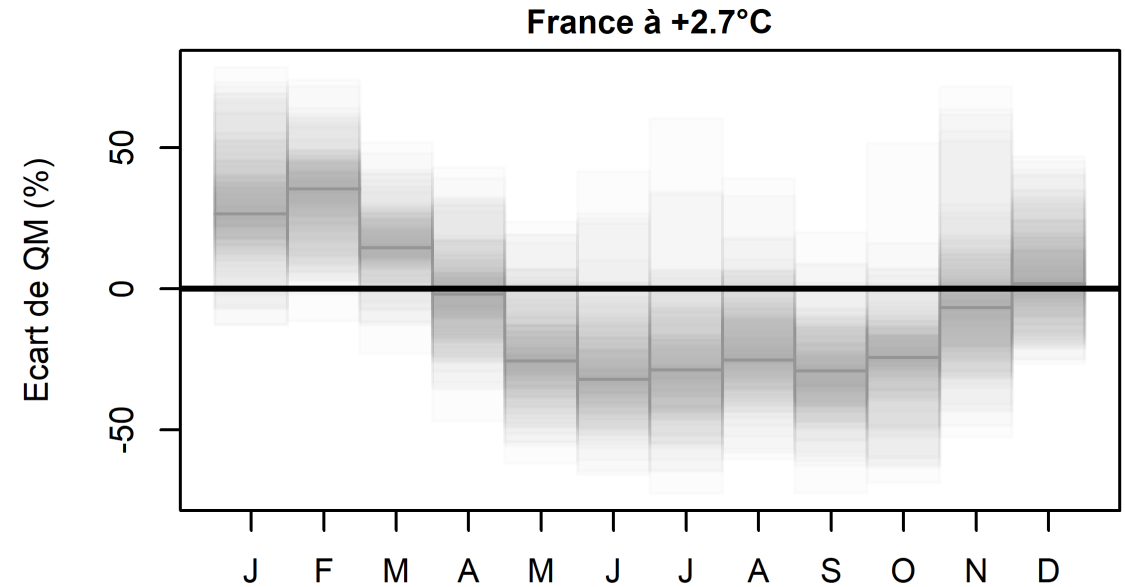
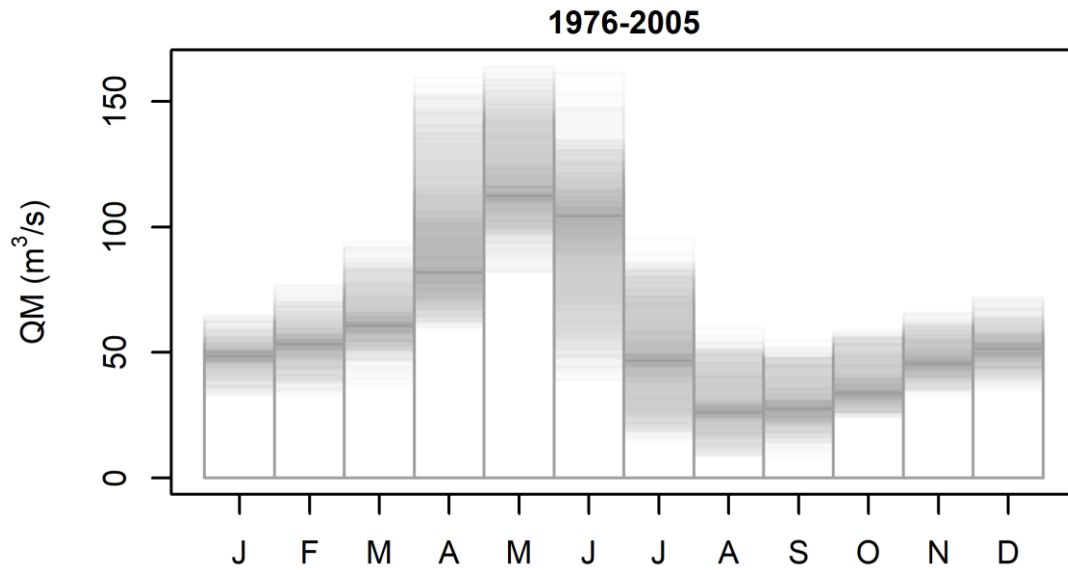
EC_EARTH_SMHI_RCA4 en été



IPSL_CM5A_MR_HIRHAM5 en été

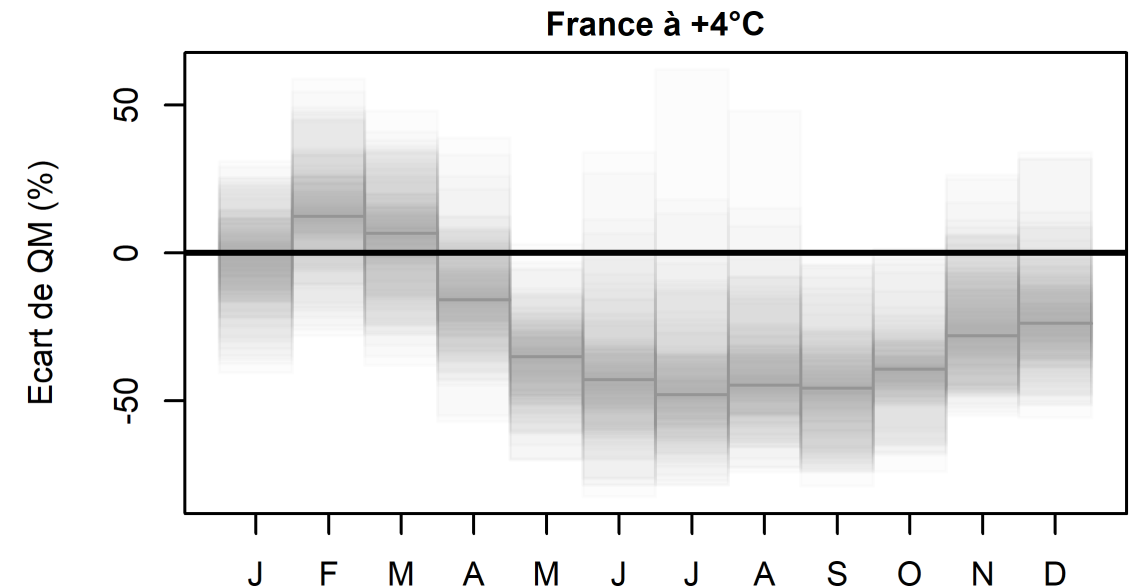
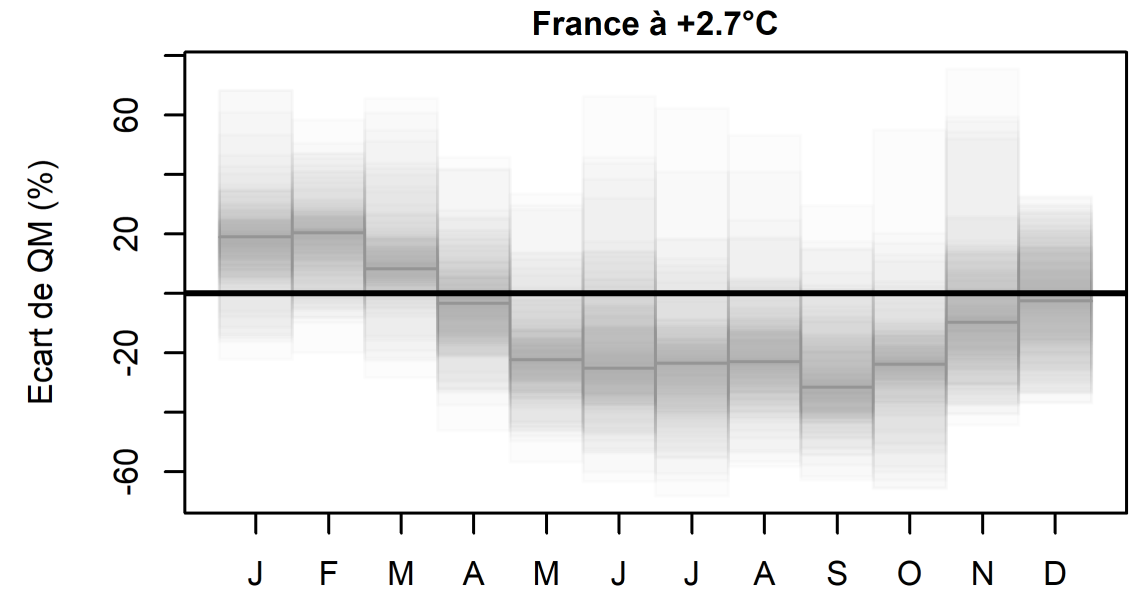
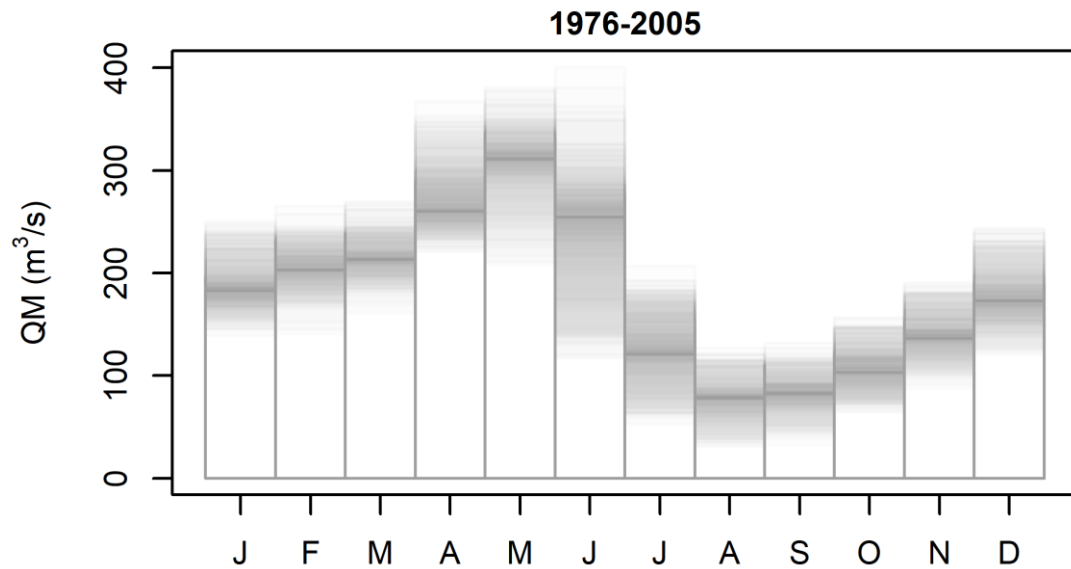


DES FUTURS POUR UNE FRANCE À +2.7°C ET +4°C – RÉGIME HYDROLOGIQUE



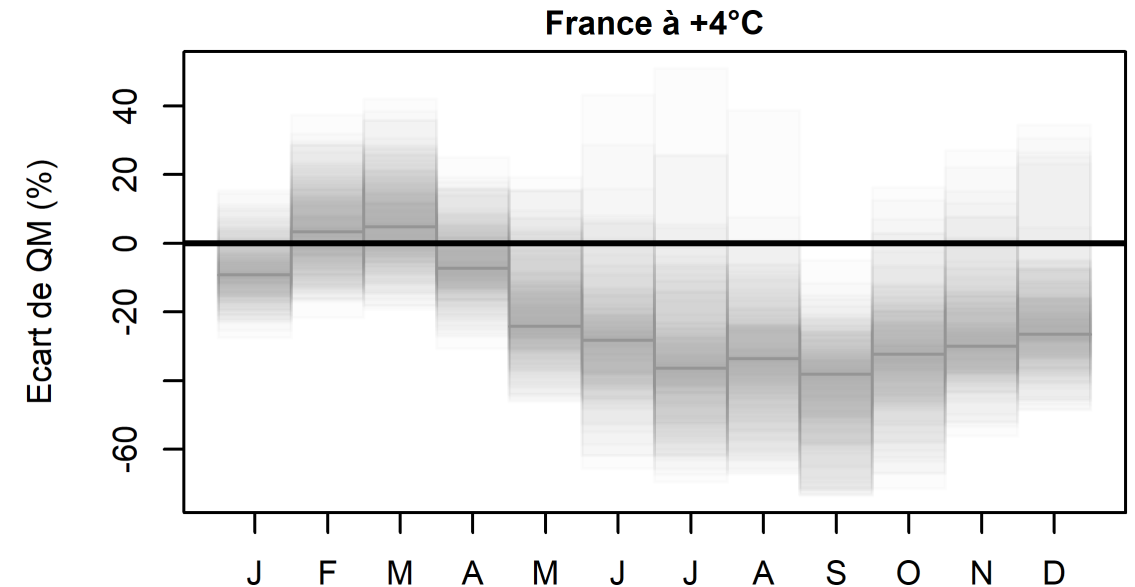
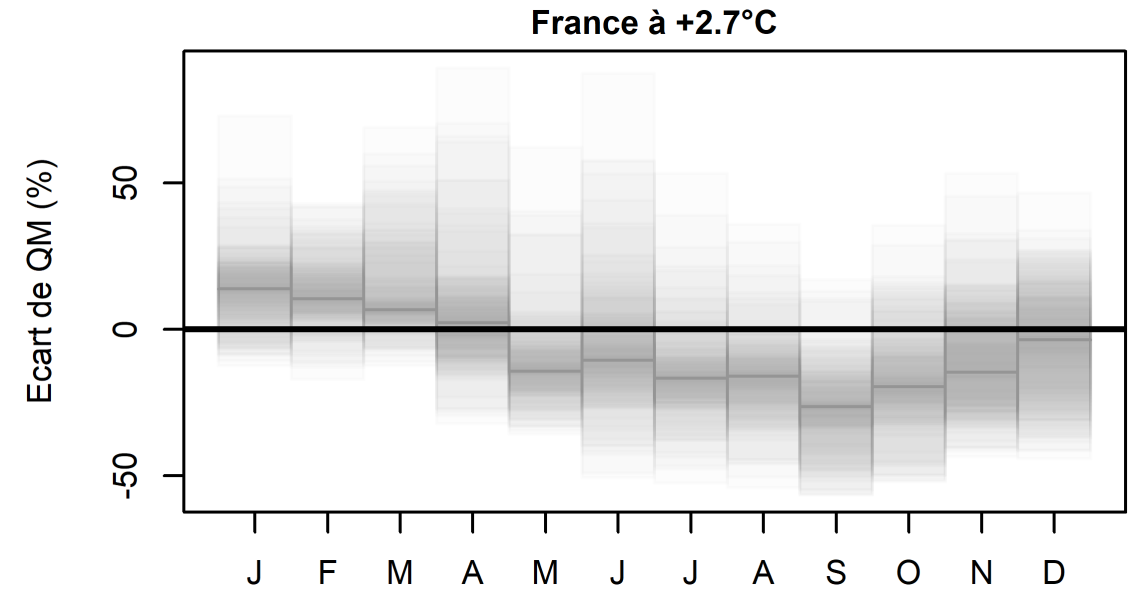
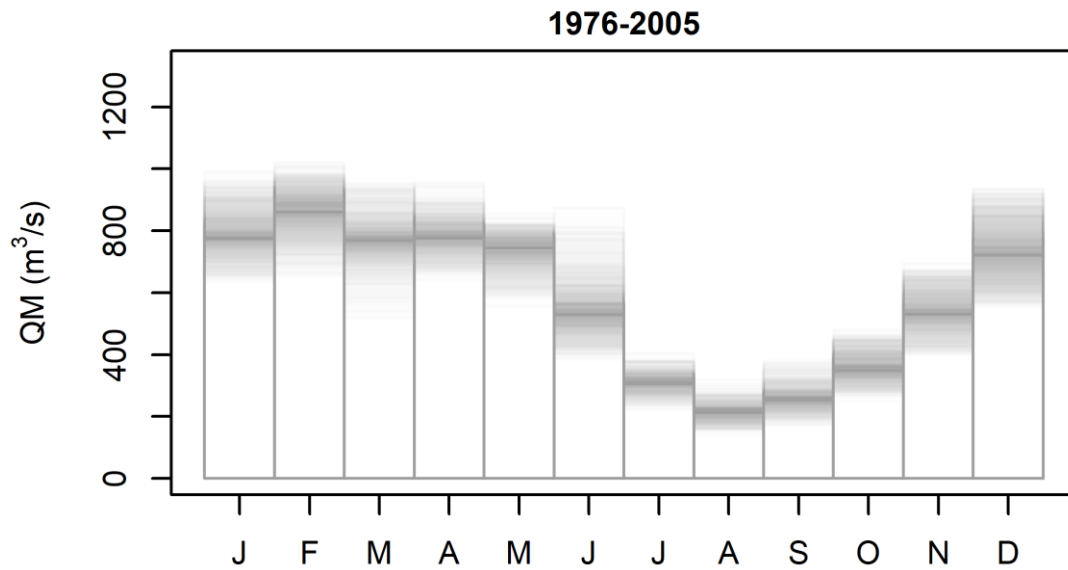
Régime hydrologique de la Garonne à Saint-Gaudens et ses évolutions pour les niveaux de réchauffement modéré et fort

DES FUTURS POUR UNE FRANCE À +2.7°C ET +4°C – RÉGIME HYDROLOGIQUE



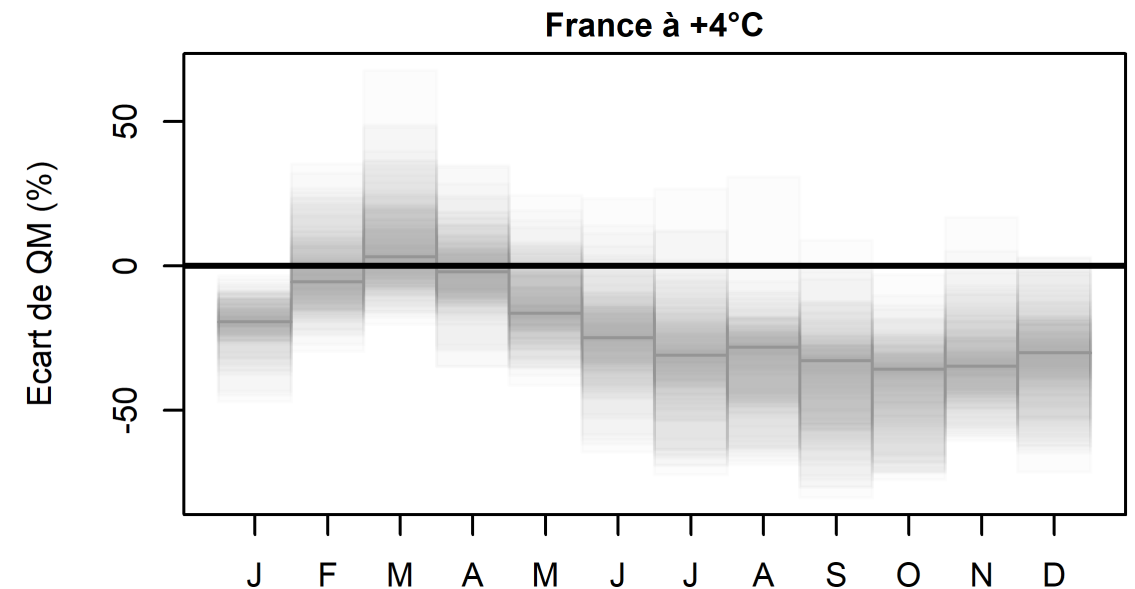
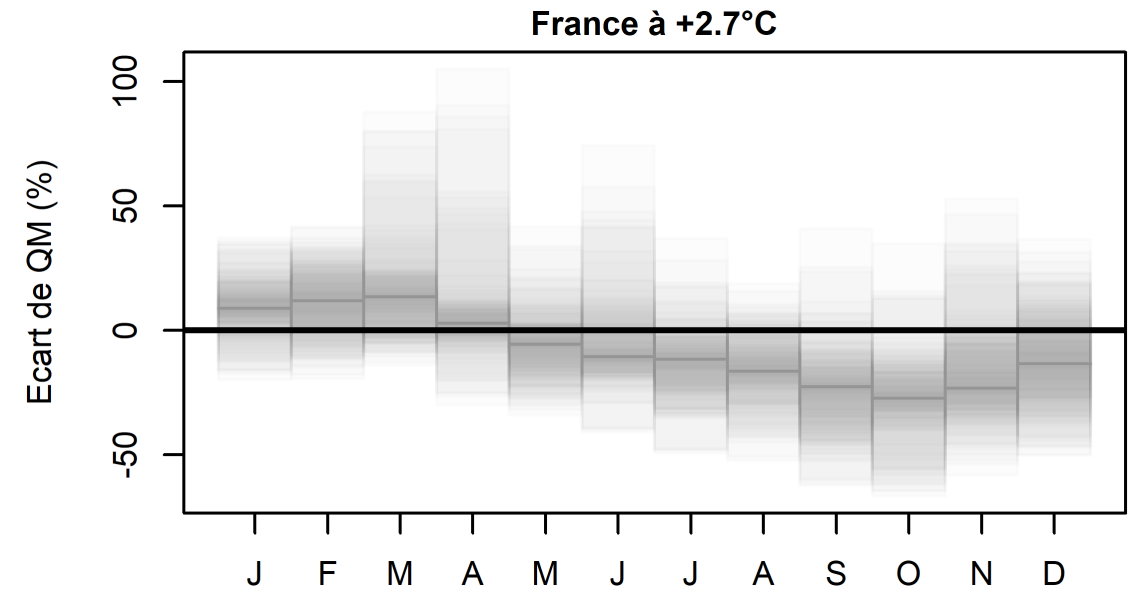
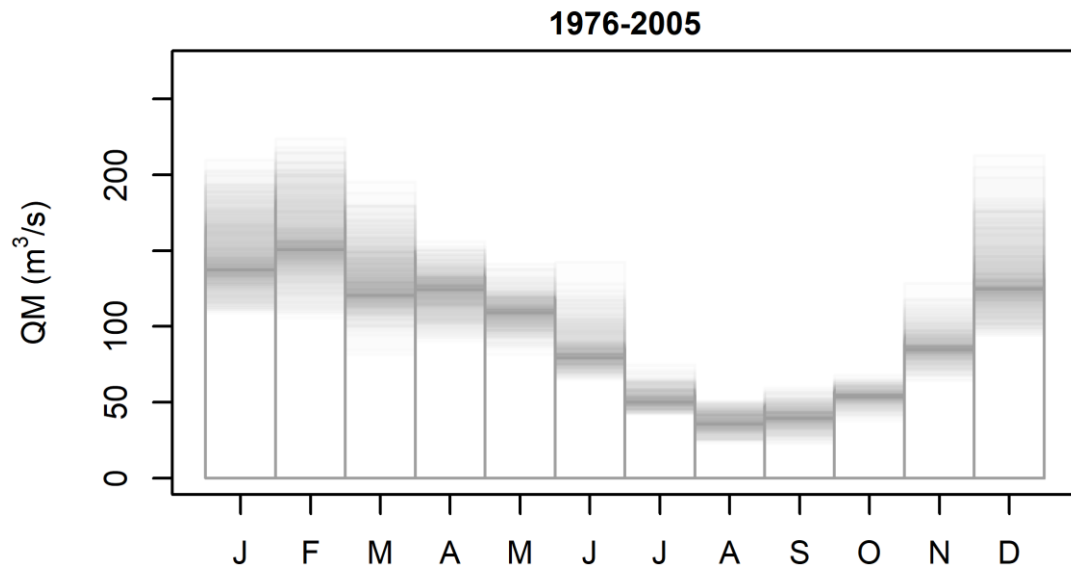
Régime hydrologique de la Garonne à Toulouse et ses évolutions pour les niveaux de réchauffement modéré et fort

DES FUTURS POUR UNE FRANCE À +2.7°C ET +4°C – RÉGIME HYDROLOGIQUE



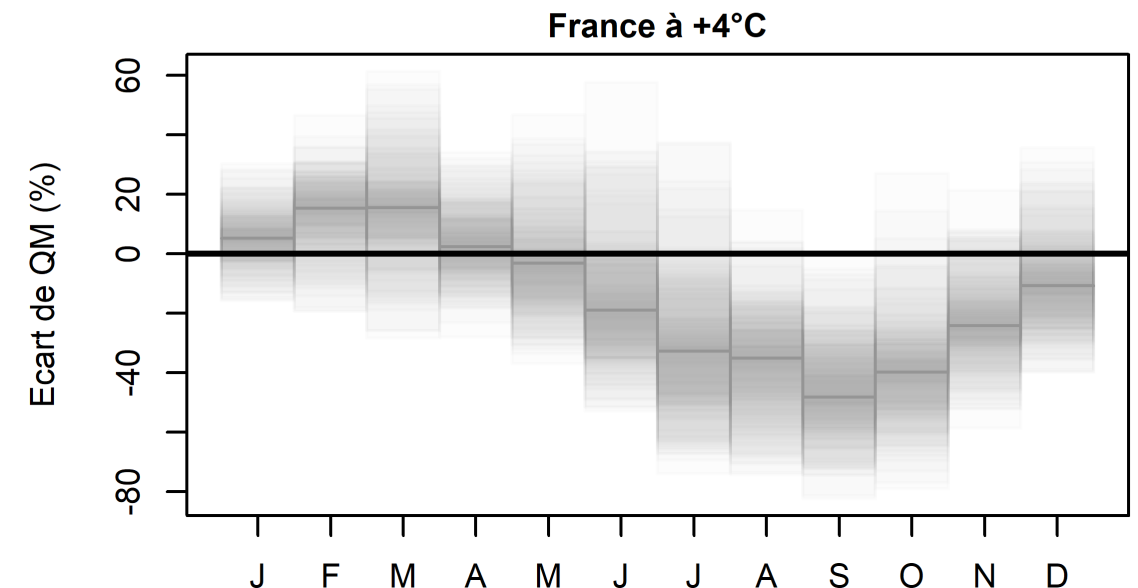
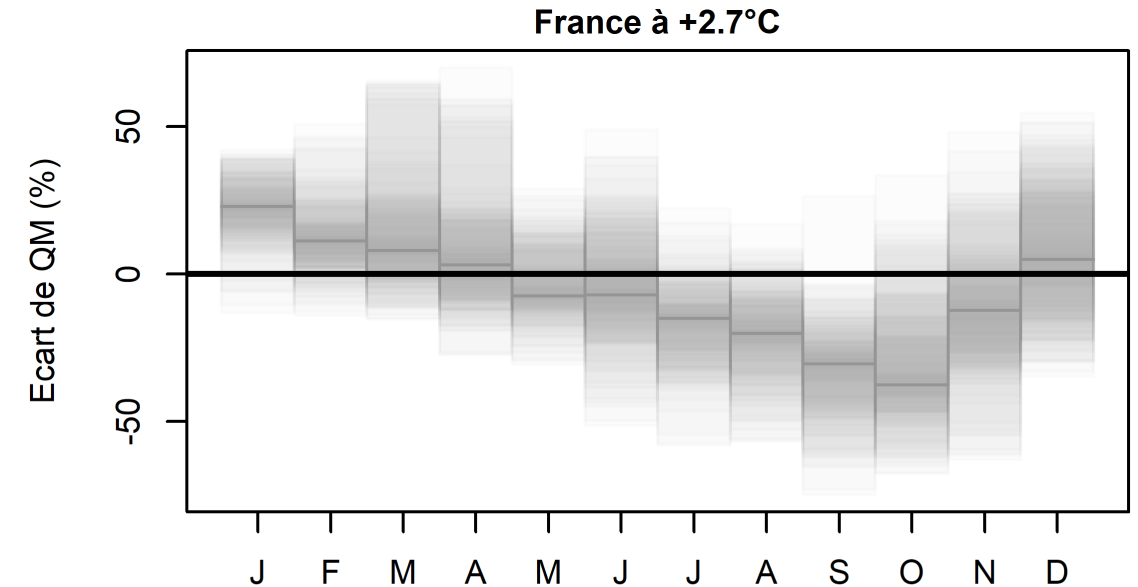
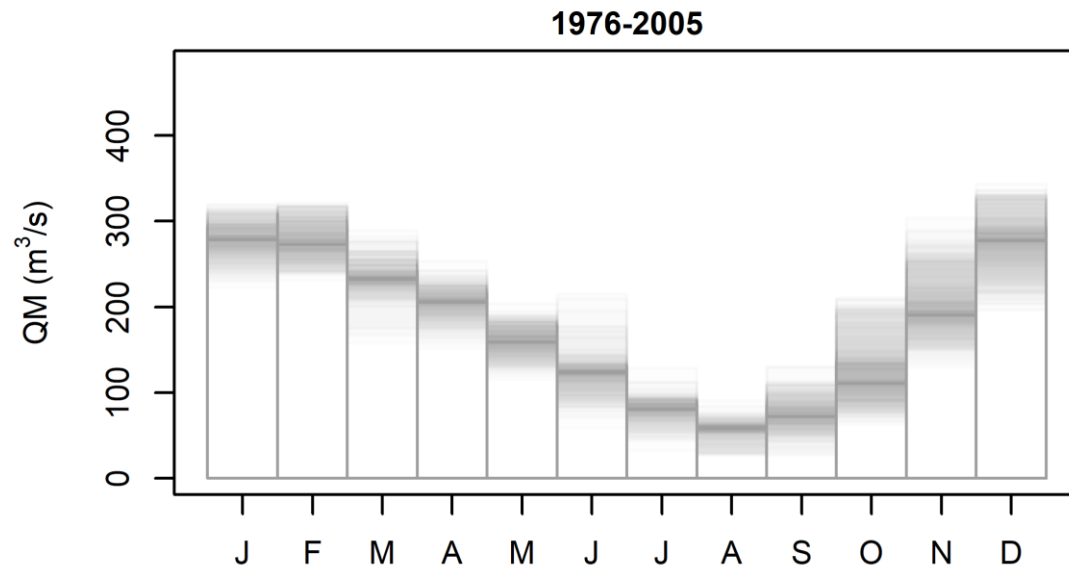
Régime hydrologique de la Garonne à Tonneins et ses évolutions pour les niveaux de réchauffement modéré et fort

DES FUTURS POUR UNE FRANCE À +2.7°C ET +4°C – RÉGIME HYDROLOGIQUE



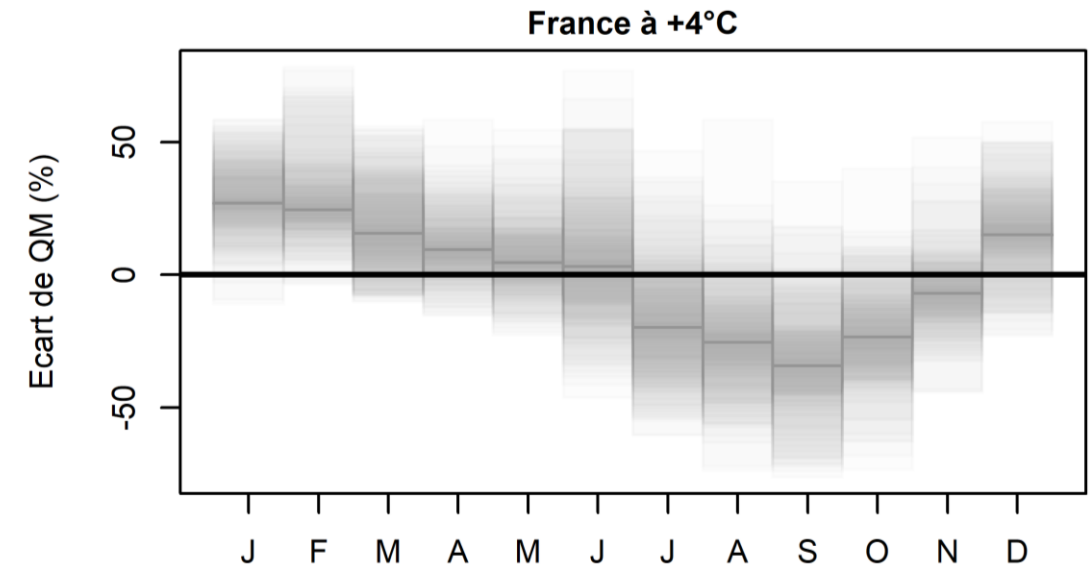
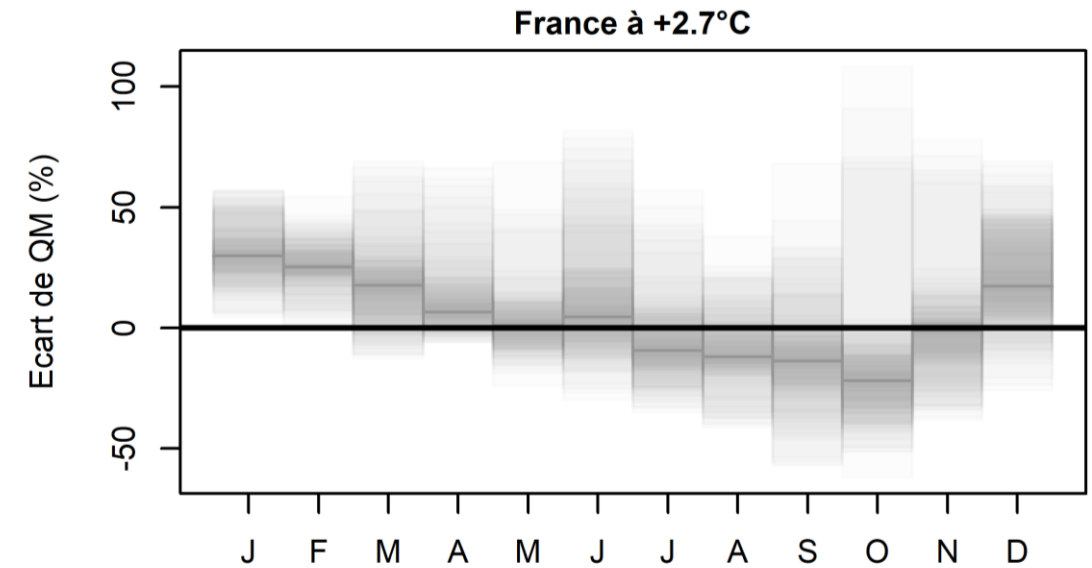
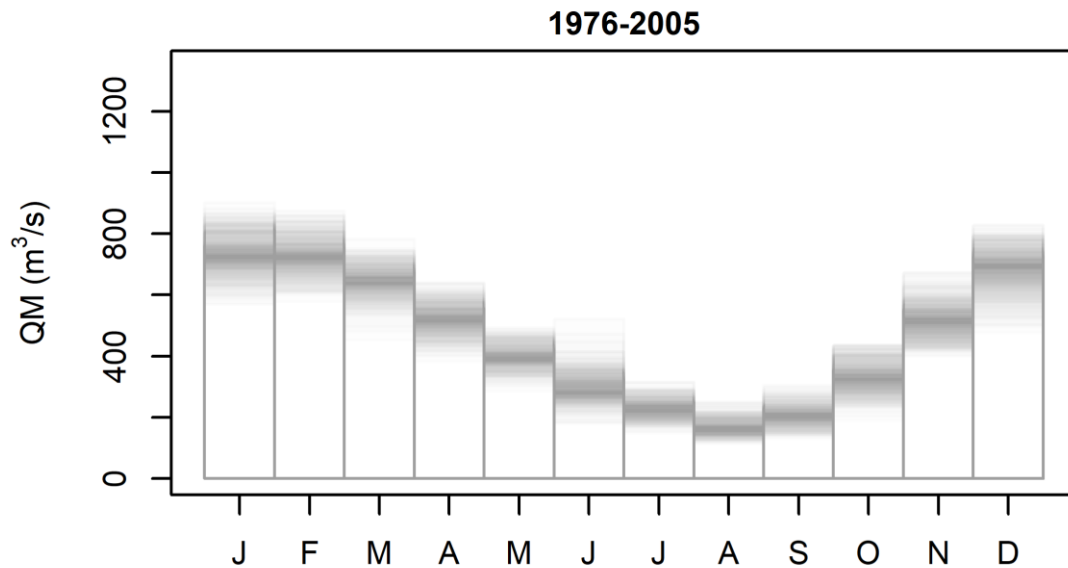
Régime hydrologique de l'Adour à Saint Vincent de Paul (amont confluence avec les Gaves) et ses évolutions pour les niveaux de réchauffement modéré et fort

DES FUTURS POUR UNE FRANCE À +2.7°C ET +4°C – RÉGIME HYDROLOGIQUE



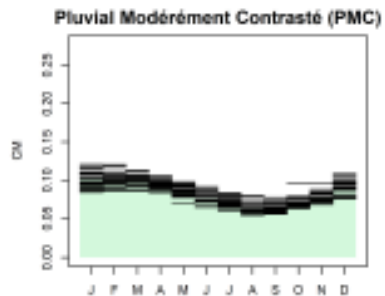
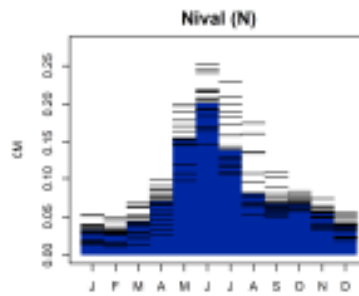
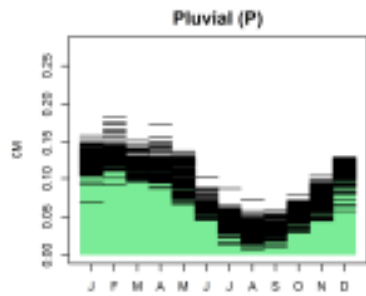
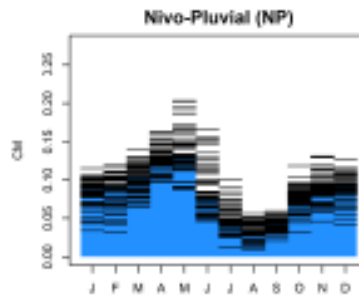
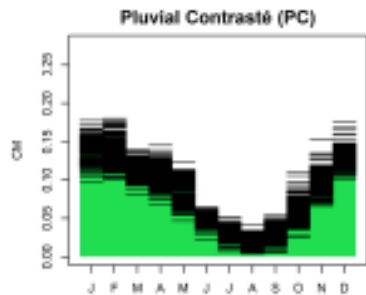
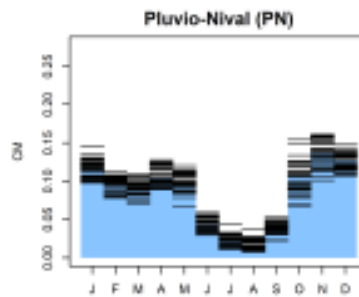
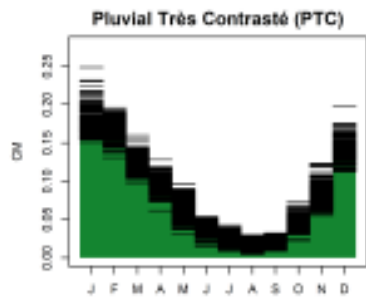
Régime hydrologique de la Dordogne à Cénac et ses évolutions pour les niveaux de réchauffement modéré et fort

DES FUTURS POUR UNE FRANCE À +2.7°C ET +4°C – RÉGIME HYDROLOGIQUE

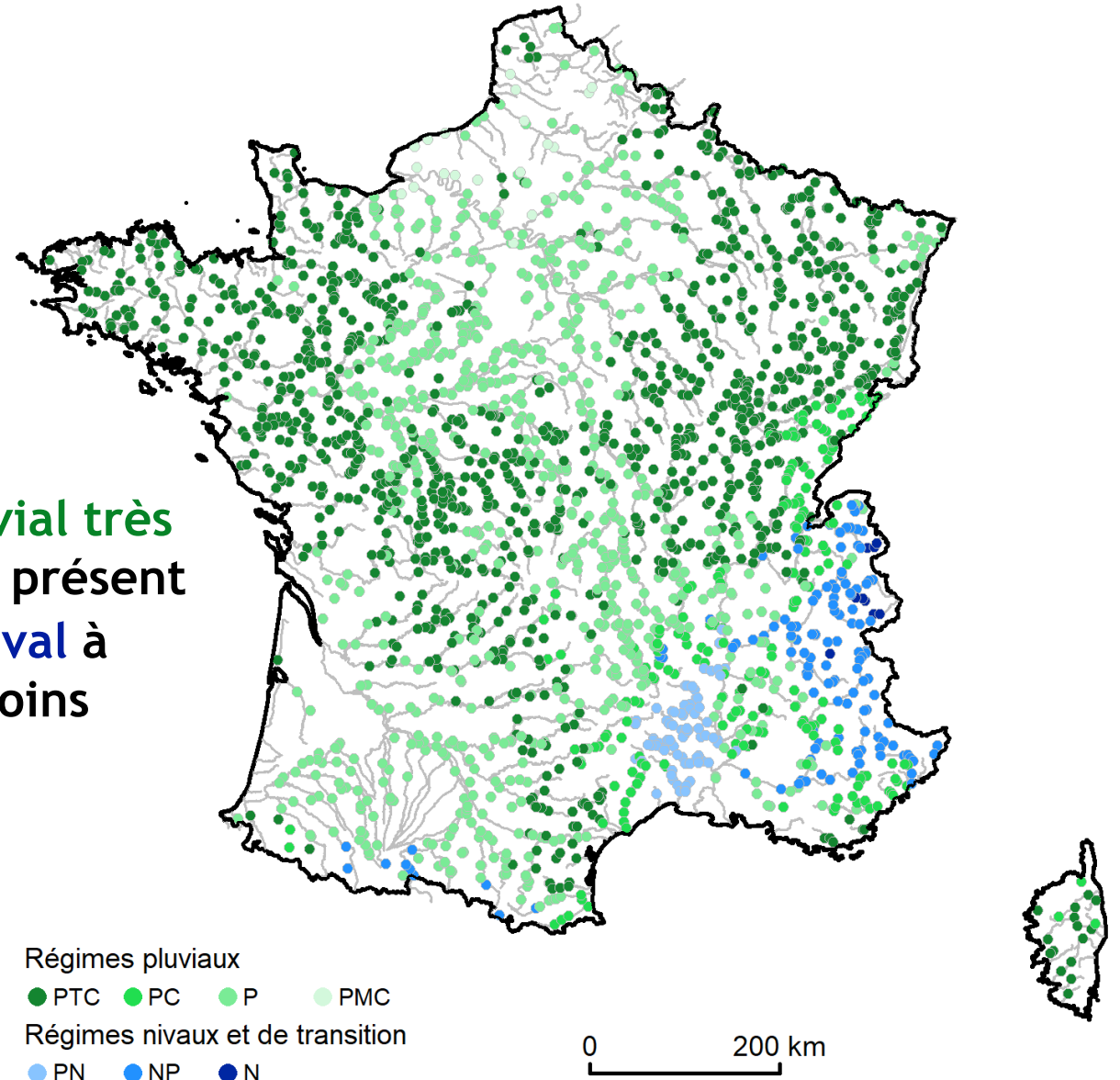


Régime hydrologique de la Saône à Lyon et ses évolutions pour les niveaux de réchauffement modéré et fort

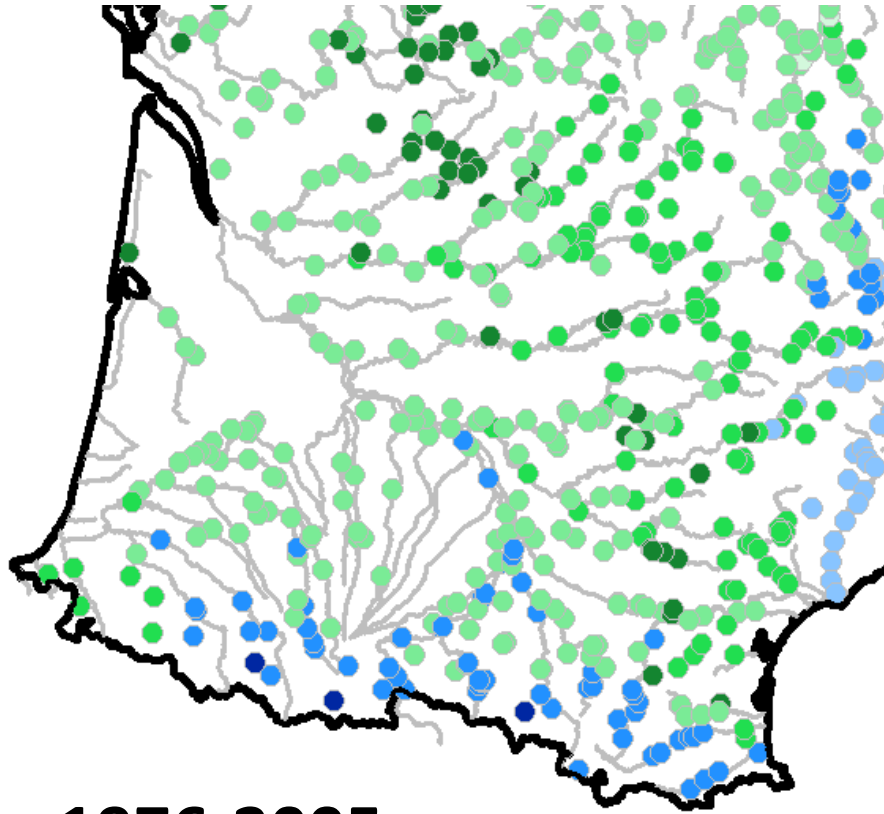
DES FUTURS POUR UNE FRANCE À +4°C – RÉGIMES HYDROLOGIQUES



Le régime **pluvial très contrasté** plus présent
Les régimes **nival** à **pluvio-nival** moins présents

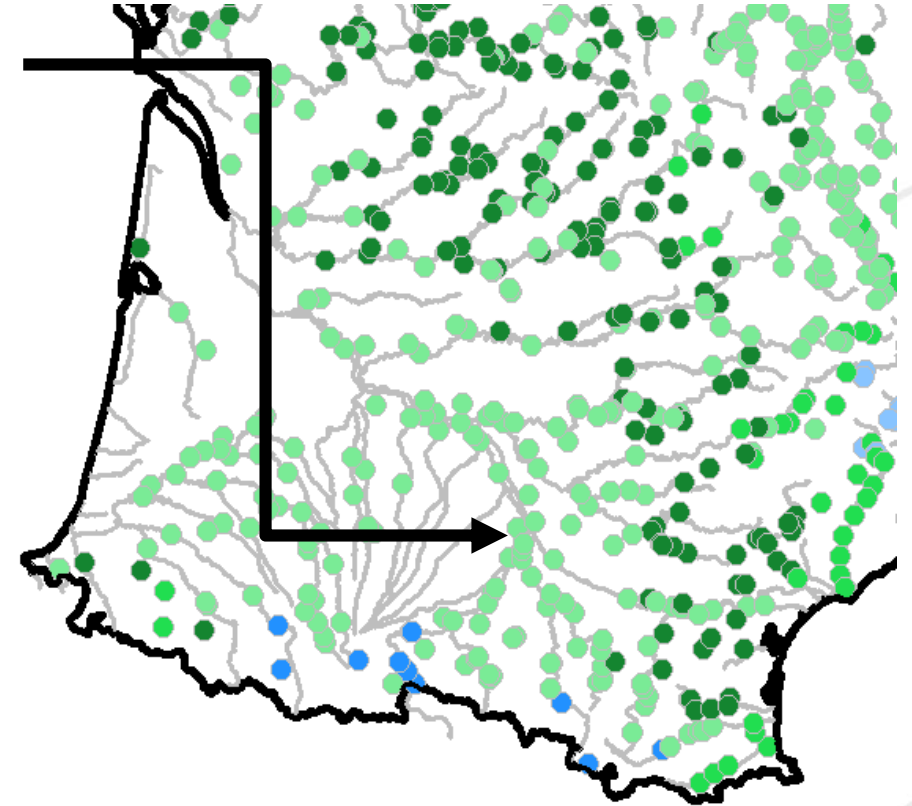
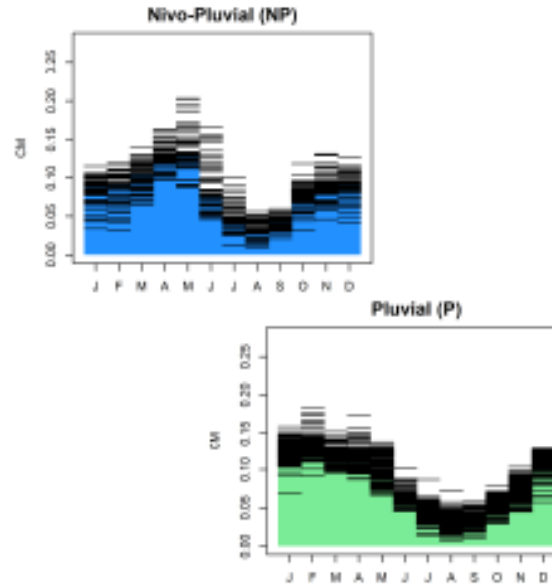


DES FUTURS POUR UNE FRANCE À +4°C – RÉGIMES HYDROLOGIQUES



1976-2005

La Garonne à Toulouse



Régimes pluviaux

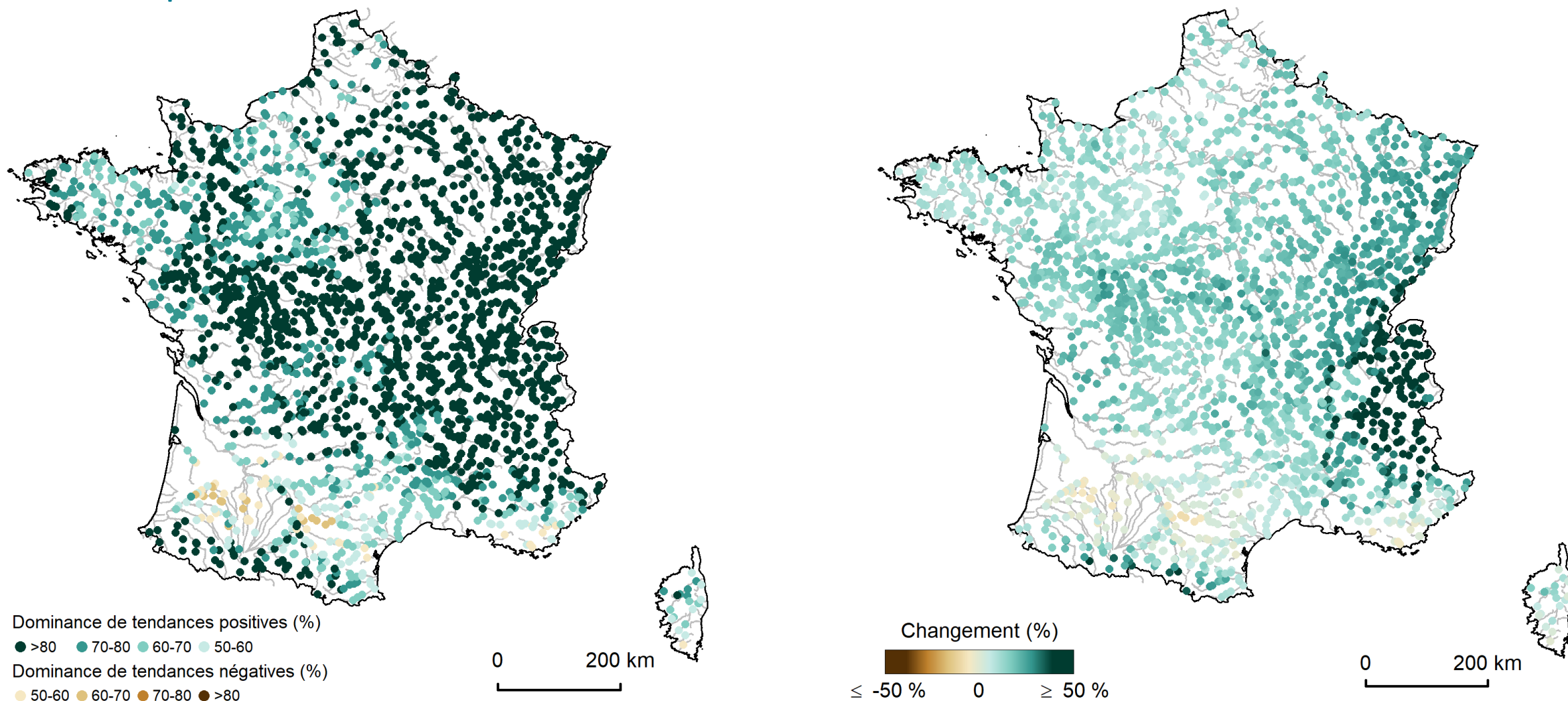
● PTC ● PC ● P ● PMC

Régimes niveaux et de transition

● PN ● NP ● N

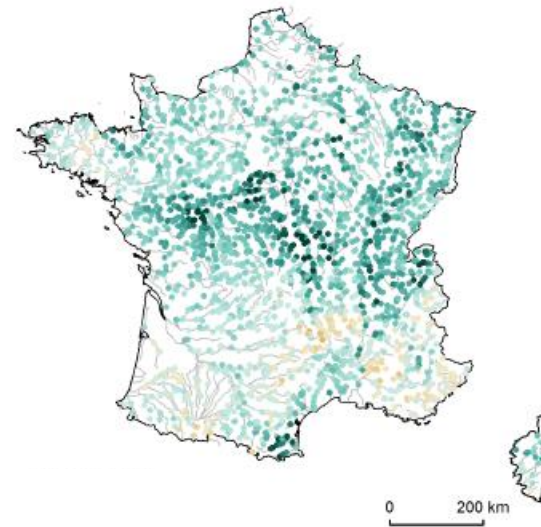
DES FUTURS POUR UNE FRANCE À +4°C – DÉBITS EN HIVER

Accord de signe (à gauche) et changement relatif médian (%) (à droite) pour le débit d'hiver pour une France à +2.7 °C

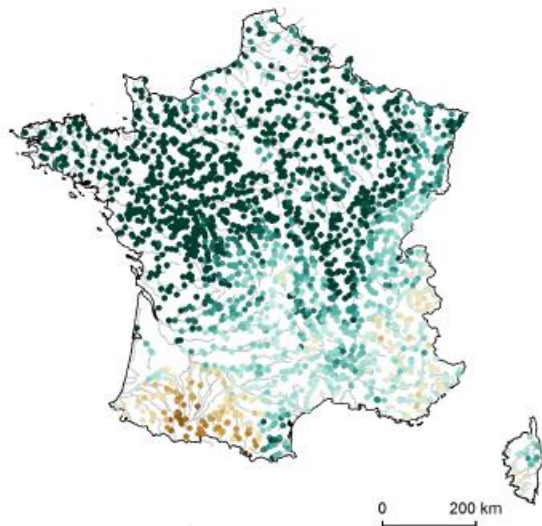


DES FUTURS POUR UNE FRANCE À +4°C – EXTRÊMES EN HAUTES EAUX

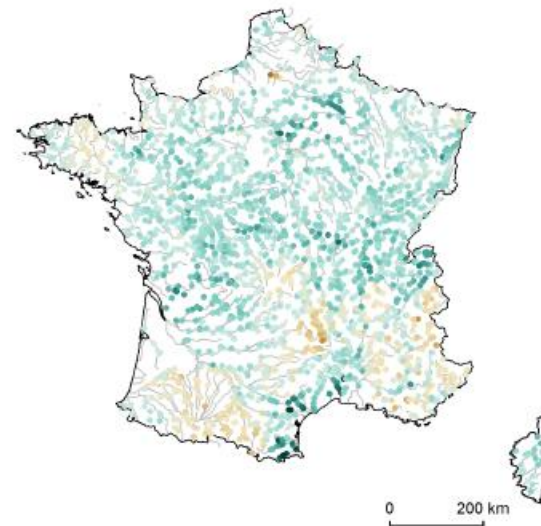
Changement relatif
médian (%) d'une
caractéristique de crue
par type de climat
pour une France à
+4 °C



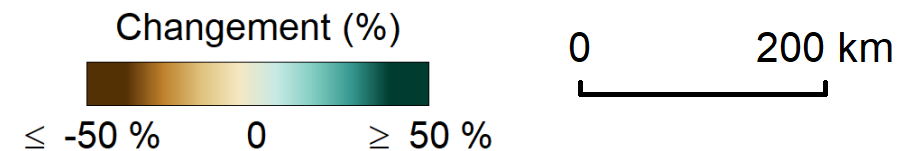
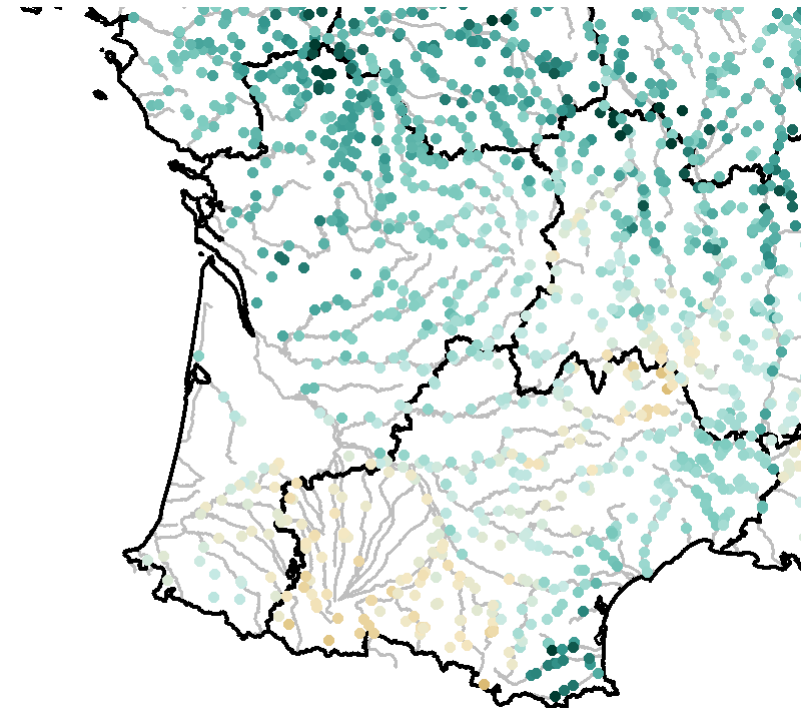
Evolution limitée



Evolution contrastée

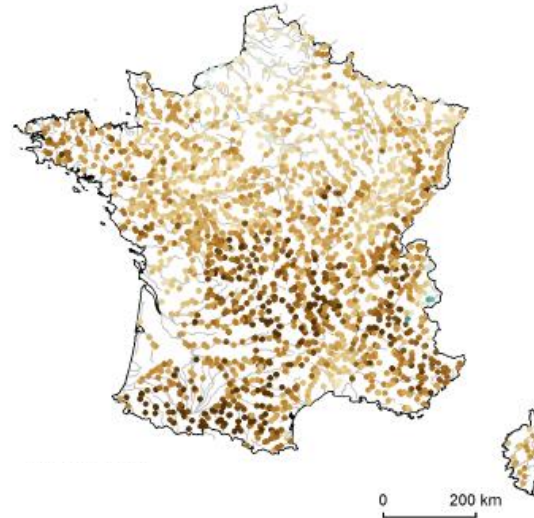


Evolution sèche

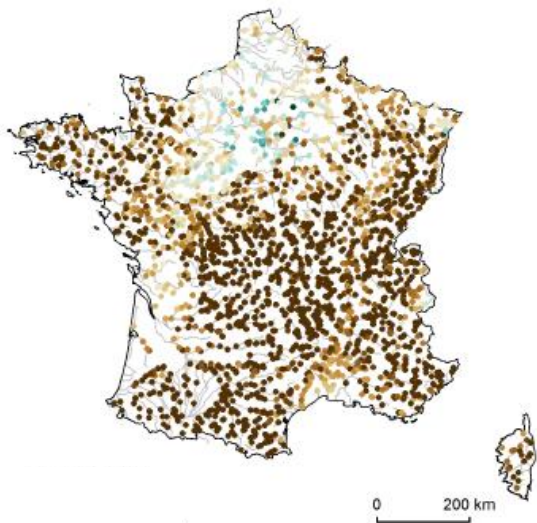


DES FUTURS POUR UNE FRANCE À +4°C – EXTRÊME EN BASSES EAUX

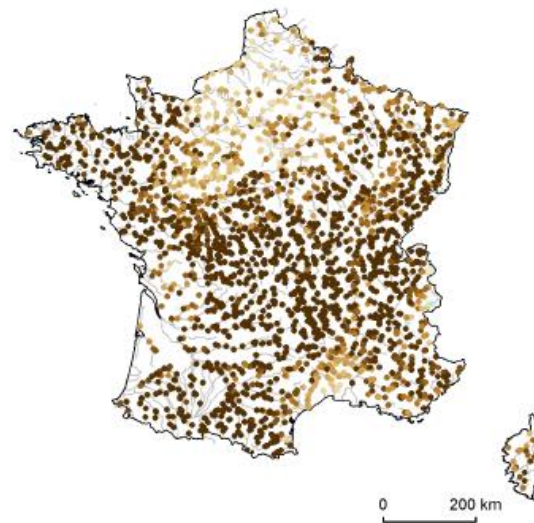
Changement relatif médian (%) d'une caractéristique de basses eaux par type de climat pour une France à +4 °C



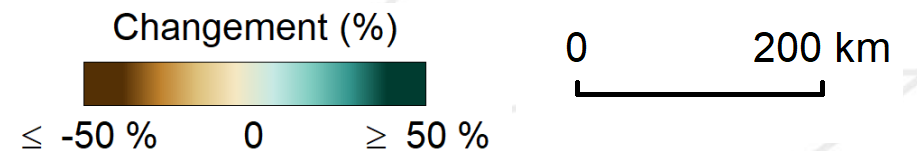
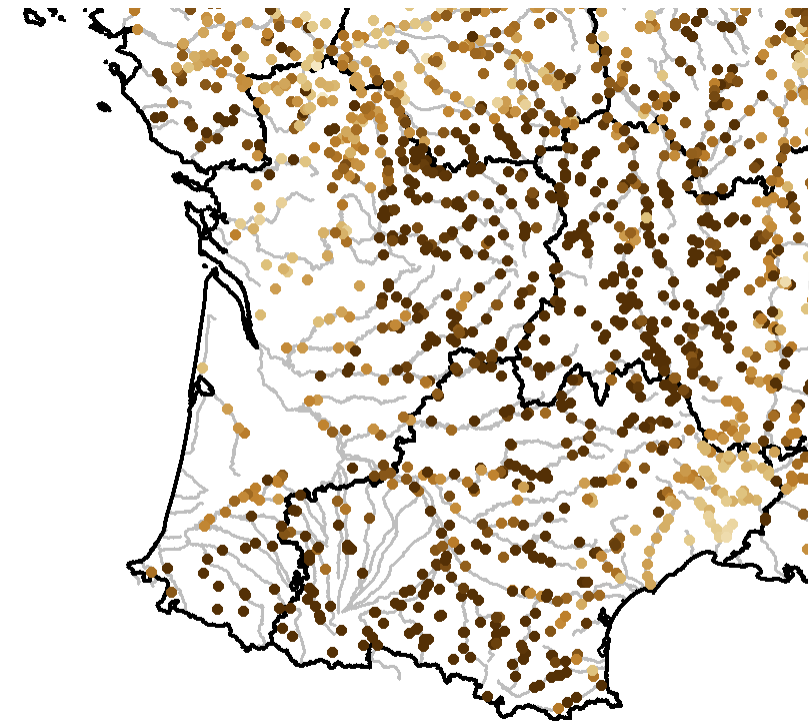
Evolution limitée



Evolution contrastée



Evolution sèche



MESSAGES D'EXPLORE2 POUR UNE FRANCE À +4°C



- **Débits : forte incertitude sur l'intensité des changements projetés**
- Débits annuels : **pas de consensus sur le signe**, sauf au sud de la Loire & Corse (baisse)
- Débits saisonniers :
 - **Hiver : consensus sur une hausse pour un tiers du territoire** (notamment en montagne), pas de consensus ailleurs (consensus sur une baisse marginaux).
 - **Été : consensus sur une baisse**. Selon les régions, la baisse résulte de la hausse de l'évapotranspiration, de la diminution des précipitations estivales et/ou du manteau neigeux



- **Augmentation de la recharge annuelle** mais avec une incertitude forte



Une variabilité d'une année à l'autre héritée de la variabilité naturelle du climat

MESSAGES D'EXPLORE2 POUR UNE FRANCE À +4°C



- **Augmentation généralisée des pluies intenses journalières** avec un bon consensus entre projections sur le territoire en particulier dans la moitié nord mais **estimations peu fiables aux échelles locales**
- **Evolution des crues peu robuste et soumise à de fortes incertitudes**



- **Intensification des sécheresses des sols**, et plus marquée dans le sud
- **Des sécheresses hydrologiques plus sévères, avec un fort accord sur le signe à l'exception du nord de la France et des secteurs de haute montagne.**

Dans les deux cas, une incertitude importante sur l'intensité des changements

CONCLUSIONS

- Le projet Explore2 a produit un ensemble de projections inédit en termes de richesse de modèles appliqués, de résolution spatiale et temporelle, qui n'a pas d'équivalent en Europe
- Ces projections sont une des briques de la prospective « Eau 2050 » de France Stratégie et d'analyse de vulnérabilité (Agences de l'eau dans le cadre de leur PBACC, cf. présentation suivante)
- La gestion de l'eau d'hier et celle de demain seront nécessairement différentes pour s'adapter au changement des régimes hydrologiques
- Chaque territoire est spécifique (trajectoires climatiques différentes sur le territoire)
→ des stratégies d'adaptation à différencier, revoir des choix...

MESSAGES POUR LE SUD-OUEST DE LA FRANCE

- Des changements profonds du fait des modifications concernant le manteau neigeux dans les secteurs de montagne

France
à
+2.7°C

Chgt débit (%)	Hiver	Eté	Année
Garonne	6 [-9 ; 46]	-12 [-35 ; 2]	-1 [-11 ; 9]
Adour	3 [-7 ; 43]	-16 [-32 ; -5]	-6 [-10 ; 1]
Dordogne	15 [0 ; 24]	-12 [-23 ; 0]	2 [-2 ; 18]

- Des incertitudes fortes sur les précipitations mais des certitudes sur la diminution des précipitations solides et des ressources estivales

France
à
+4°C

Chgt débit (%)	Hiver	Eté	Année
Garonne	-9 [-30 ; 40]	-32 [-54 ; -17]	-13 [-25 ; -2]
Adour	-17 [-32 ; 31]	-36 [-54 ; -18]	-20 [-26 ; -10]
Dordogne	2 [-16 ; 20]	-29 [-46 ; -13]	-4 [-13 ; 4]

- Une zone « hot spot » avec des débits diminués quasi sur tous les mois

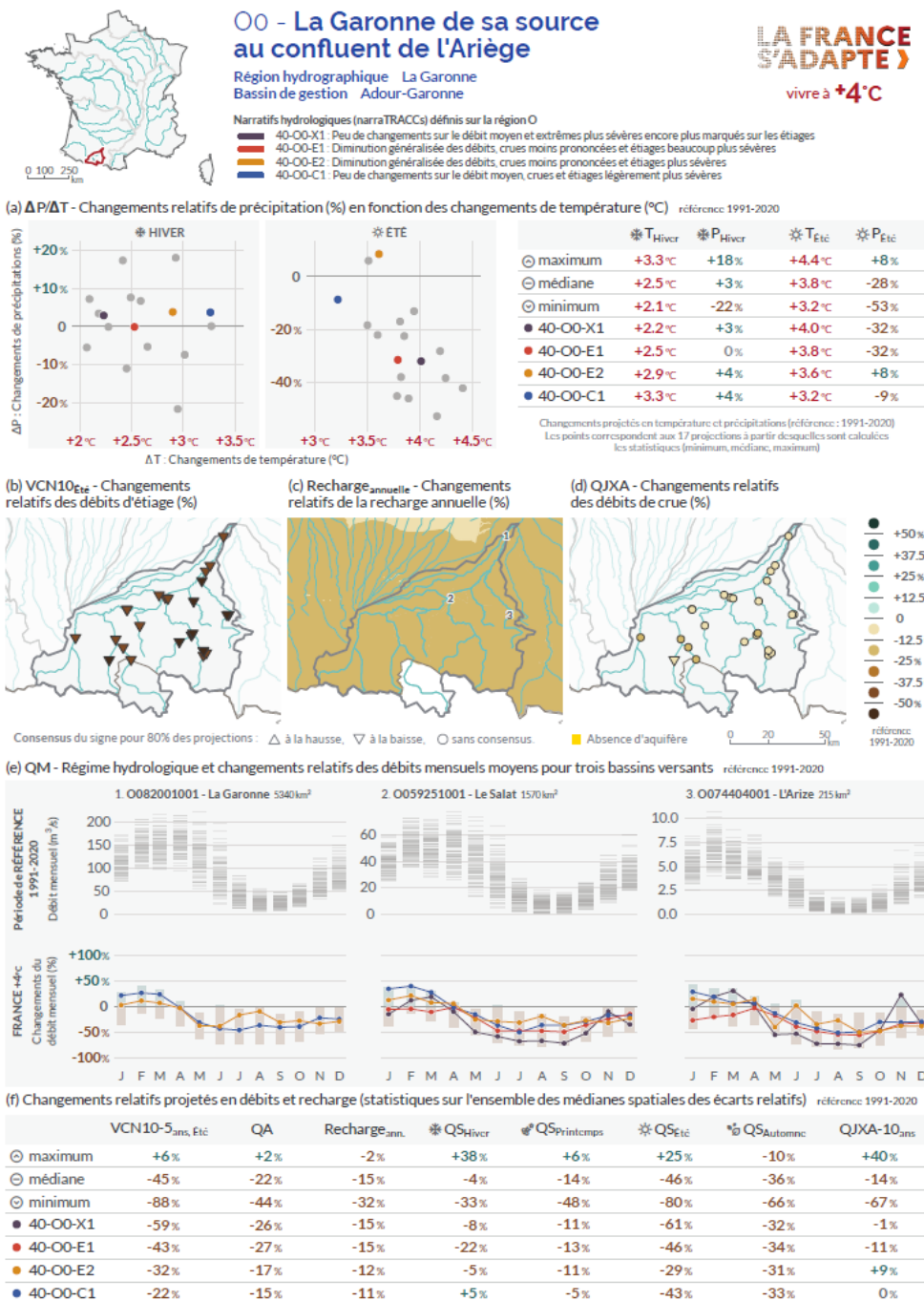
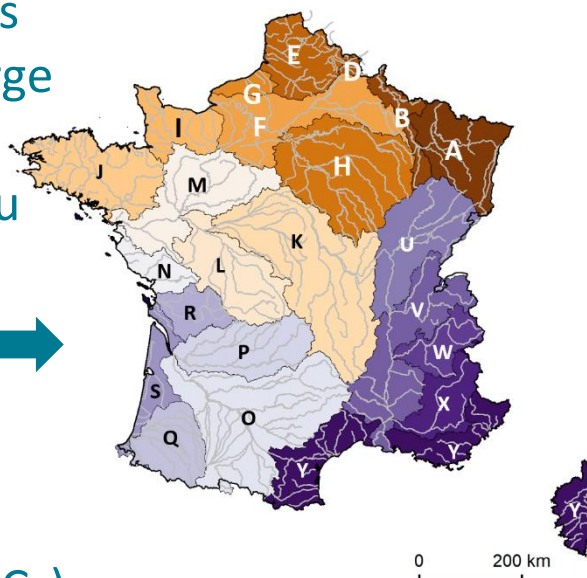
Changement relatif médian (%) des débits saisonniers et annuel moyens pour le niveau de réchauffement +2.7°C (haut) et +4°C (bas) (médiane, minimum, maximum).

LES FICHES RÉGIONALES

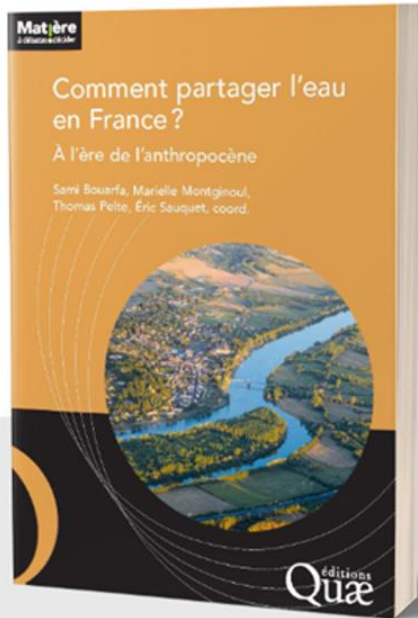
Des fiches de synthèse élaborées et construites sur un schéma identique, associant représentations graphiques et tableaux pour contextualiser le climat et l'hydrologie d'une France à +2.7° C et +4° C

Objectifs :

- porter à connaissance les grandes tendances sur le climat, la recharge potentielle des aquifères et l'hydrologie de surface par niveau de réchauffement à l'échelle régionale (découpage en 187 secteurs hydrographiques du SANDRE)
- sensibiliser aux incertitudes associées (intervalles, narraTRACCs)



POUR EN SAVOIR PLUS...



COMMENT PARTAGER L'EAU EN FRANCE?

À l'ère de l'anthropocène

Quæ, 196 pages, ISBN 978-2-7592-4098-2
Coll. Matière à débattre et décider

Parution : **Août 2025**

éditions
Quæ

TÉLÉCHARGEMENT LIBRE

- **Un ouvrage :**

- Pour éclairer le débat public sur l'eau
- Organisé en dix chapitres, posés sous la forme de questions sur des sujets de controverse

avec pour fil conducteur :

« l'eau bien commun »

- Un travail collectif pour dresser un état des connaissances en France sur des controverses liées à la gestion de l'eau

POUR EN SAVOIR PLUS...

- **Connaissance générique sur le projet :**

- Rapports techniques sur le dataverse d'Explore2 :
<https://entrepot.recherche.data.gouv.fr/dataverse/explore2>
dont **un rapport de synthèse sur les principaux messages et des fiches de synthèse**
- Un MOOC <https://e-learning.oieau.fr/enrol/index.php?id=3799>



- **Visualisation des données :**

- MEANDRE et MEANDRE-TRACC qui permettent de visualiser les résultats des projections de débits en hautes, moyennes et basses eaux
<https://meandre.explore2.inrae.fr/> et <https://meandre-tracc.explore2.inrae.fr/>

- **Ecouter le changement climatique :**

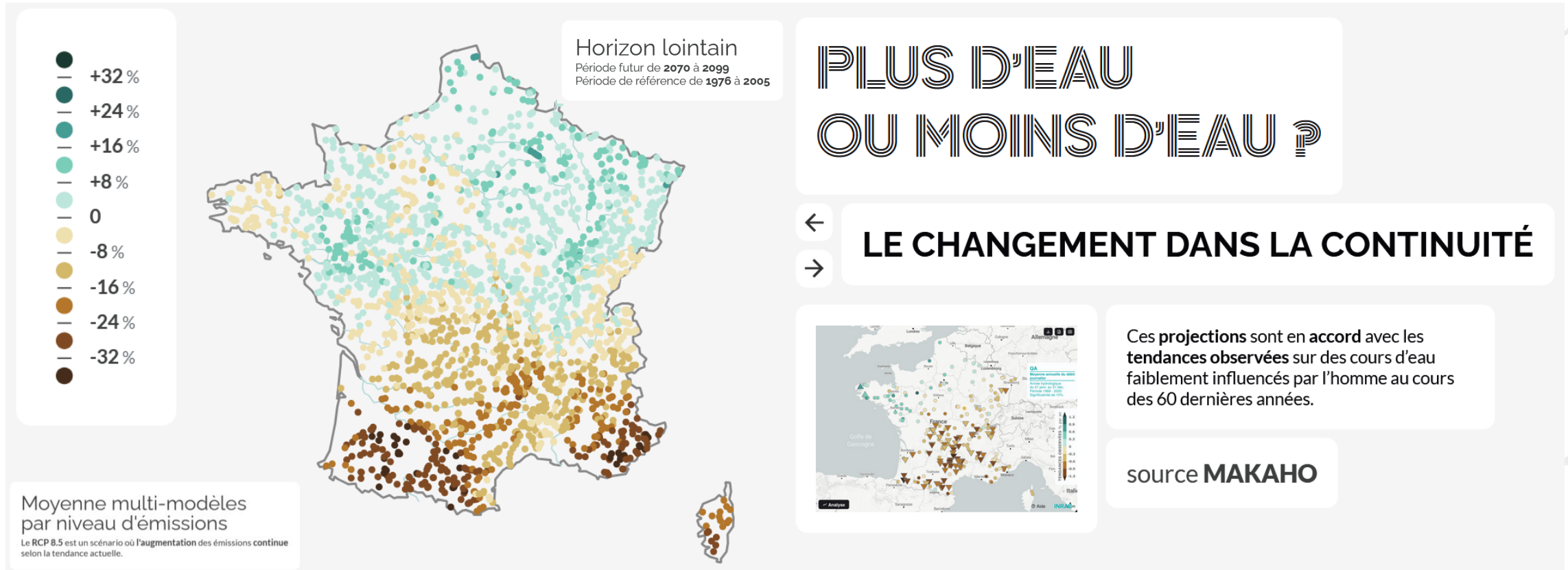
- <https://explore2enmusique.github.io/>



MEANDRE

LA PLATEFORME DE PRÉSENTATION DES RÉSULTATS POUR L'HYDROLOGIE

- Des réponses à des questions fréquentes





Sélectionnez un territoire



X-Y4-Y5-Y6 - La Durance et bassins côtiers du Sud-Est

Sélectionnez un niveau de réchauffement

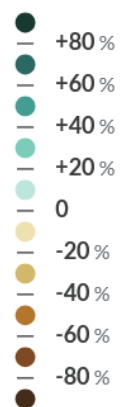
Vivre à...

+4°C

+2.7°C

+2°C

Fiche de synthèse



Visualiser un narraTRACC

Sélectionnez un narratif hydrologique (narraTRACC)

E1 - Étiages

GCM NorESM1-M | RCM REMO | HM GRSD

Diminution généralisée des débits, crues moins prononcées et étiages beaucoup plus sévères

E2 - Étiages

GCM MPI-ESM-LR | RCM CCLM4-8-17 | HM GRSD

Débits annuels en baisse et étiages beaucoup plus sévères

E3 - Étiages

GCM NorESM1-M | RCM WRF381P | HM SMASH

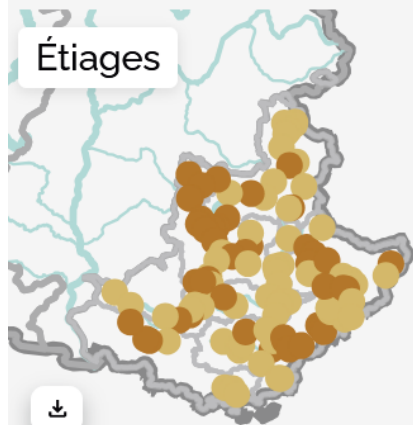
Diminution généralisée des débits, crues moins prononcées et étiages plus sévères

C1 - Crues

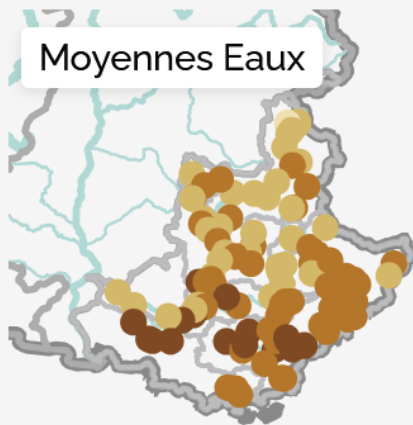
GCM MPI-ESM-LR | RCM RegCM4-6 | HM SMASH

Peu de changements sur le débit moyen, crues plus sévères et étiages légèrement plus sévères

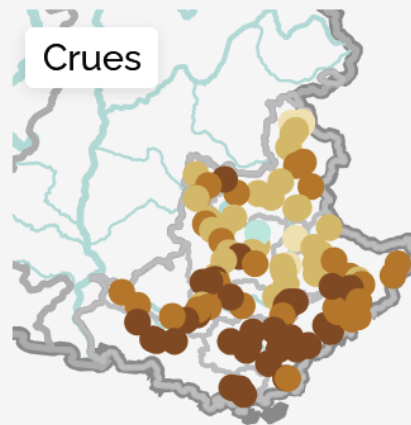
Étiages



Moyennes Eaux

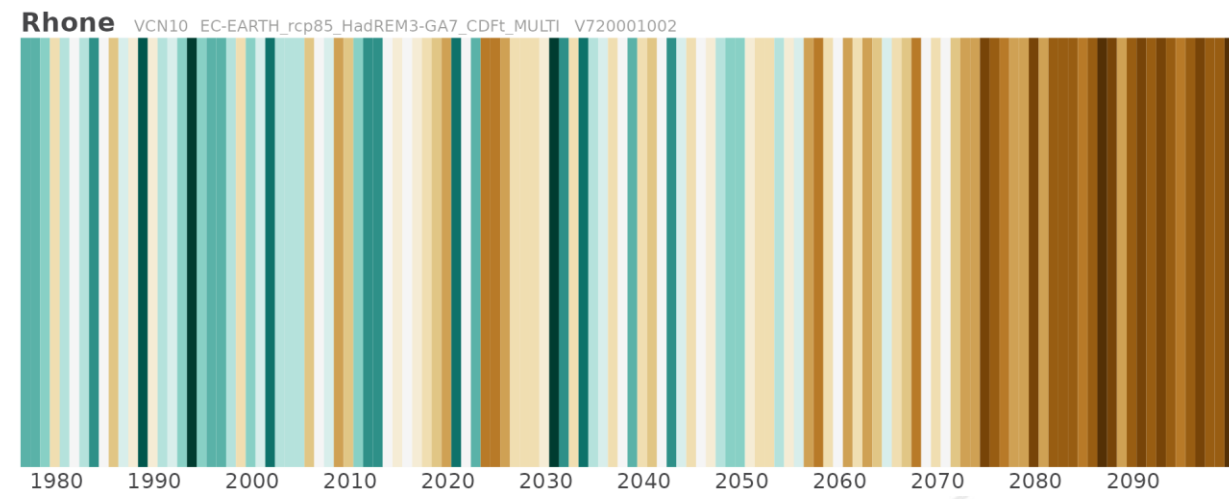
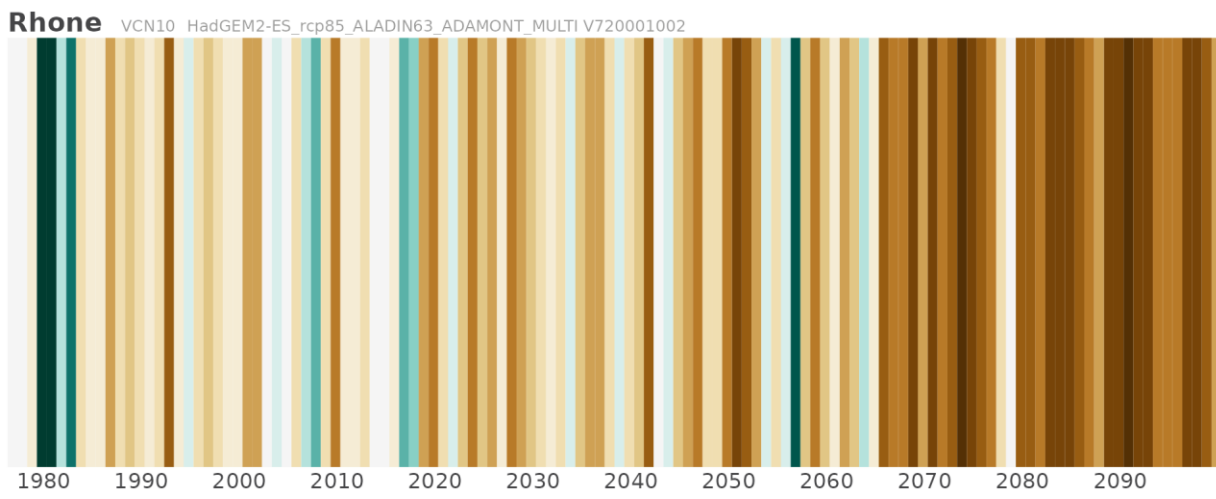


Crues



Télécharger les informations

<https://meandre-tracc.explore2.inrae.fr>



Merci de votre attention

