

➤ **Impacts du changement climatique sur le cycle de l'eau,
modélisation hydrologique et le projet Talanoa-Water**

David Dorchies, UMR G-EAU

Quillan, mercredi 11 décembre 2024



**Cycle de conférences sur l'eau :
démêlons le vrai du faux ensemble !**

Parc
naturel
régional
Corbières
Fenouillèdes

➤ Qu'est-ce que le changement climatique ?

Définition du GIEC : « variation statistiquement significative de l'état moyen du climat ou de sa variabilité, persistant pendant une période prolongée » .

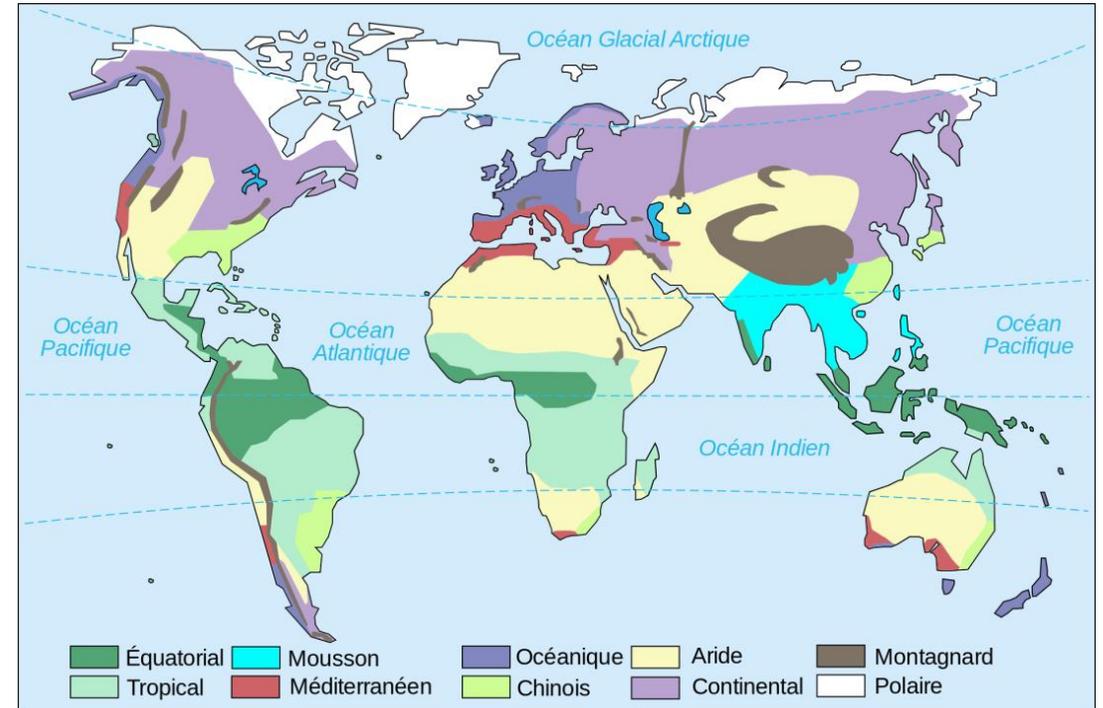
➤ Le Groupement Intergouvernemental d'Experts sur l'Évolution du Climat (GIEC)

- Créé en 1988 par le Programme des Nations unies pour l'environnement (PNUE) et l'Organisation météorologique mondiale (OMM), il rassemble 195 États membres.
- Le GIEC est un lieu d'expertise synthétisant l'état des connaissances sur le changement climatique et le rôle de l'activité humaine.
- Il publie des rapports scientifiques sur lesquels s'appuient les États pour trouver des accords dans la lutte contre le réchauffement climatique.
- Son bureau rassemble les scientifiques des différentes régions du monde et diverses disciplines.



➤ Du coup, qu'est-ce que le climat ?

Wikipedia: « Le climat est la configuration à long terme des conditions météorologiques dans une région, dont la moyenne est généralement calculée sur une période de 30 ans. »



Carte simplifiée des climats

Source: © Historicaïr, Wikipédia, GNU 1.2

➤ En quoi le climat est différent de la météo ?

MÉTÉO : C'EST L'ÉTUDE DES PHÉNOMÈNES ATMOSPHÉRIQUES POUR PRÉVOIR LE TEMPS.



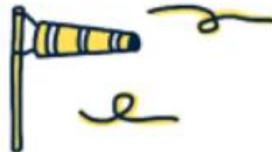
Température



Pression atmosphérique



Pluviométrie



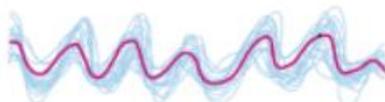
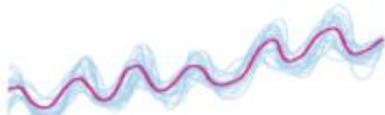
Vitesse du vent



C'EST LE TEMPS QU'IL FAIT À UN MOMENT ET UN ENDROIT DONNÉS, SUSCEPTIBLE DE CHANGER D'UNE HEURE OU D'UN JOUR À L'AUTRE.



CLIMAT : C'EST L'ÉTUDE DES STATISTIQUES DE VARIABLES ATMOSPHÉRIQUES SUR UNE LONGUE PÉRIODE DE TEMPS (30 ANS PAR CONVENTION).



C'EST LE TEMPS AUQUEL ON PEUT S'ATTENDRE, POUR UNE RÉGION DONNÉE.

COMMENT DISTINGUER CLIMAT ET MÉTÉO ?

L'ÉCHELLE DE TEMPS

CLIMAT : décennie voire siècle **VS** **MÉTÉO :** semaine

Pour comparer : vous pouvez très bien être une personne très calme pendant 30 ans...
...et vous énerver pendant 72h

DONC SI VOUS CONSTATEZ UNE BAISSSE DE 5°C DANS LA JOURNÉE, RIEN DE GRAVE.

MAIS UNE BAISSSE DE 5°C DU CLIMAT MÈNE À UN TOUT AUTRE MONDE..

...LA DERNIÈRE FOIS QUE LA TEMPÉRATURE MOYENNE DU GLOBE ÉTAIT 5°C PLUS BASSE QU'AUJOURD'HUI, C'ÉTAIT IL Y A 20 000 ANS, AU PLUS FORT D'UNE ÈRE GLACIAIRE !



<https://www.insu.cnrs.fr/fr/difference-meteo-climat>

➤ Le coupable du changement climatique: l'effet de serre

Un phénomène naturel... renforcé par l'activité humaine

Les gaz à effet de serre (GES) : vapeur d'eau, dioxyde de carbone (CO_2), méthane (CH_4)...



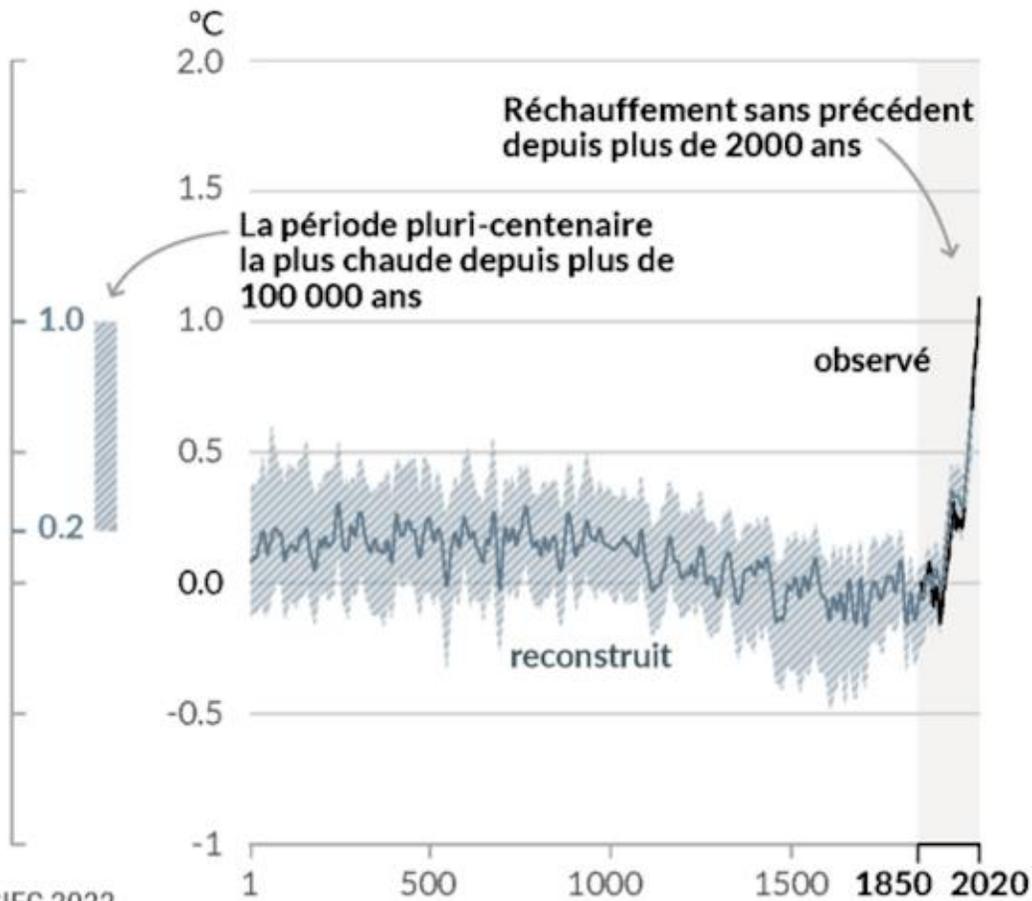
Le deuxième rapport du GIEC (1995) écrit qu'« un faisceau d'éléments suggère une influence de l'homme sur le climat global », le troisième (2001) que « la majeure partie de l'augmentation des températures depuis le milieu du XX^e siècle est *probablement* due à l'augmentation des concentrations anthropiques de gaz à effet de serre », le quatrième (en 2007, année où le prix Nobel de la paix est décerné au Giec) que cette hausse est « *très probablement* » d'origine humaine... **et le dernier, en 2021, que la responsabilité de l'homme est « sans équivoque ».**

<https://lejournal.enrs.fr/articles/lorigine-humaine-du-rechauffement-fait-officiellement-consensus-depuis-au-moins-15-ans>

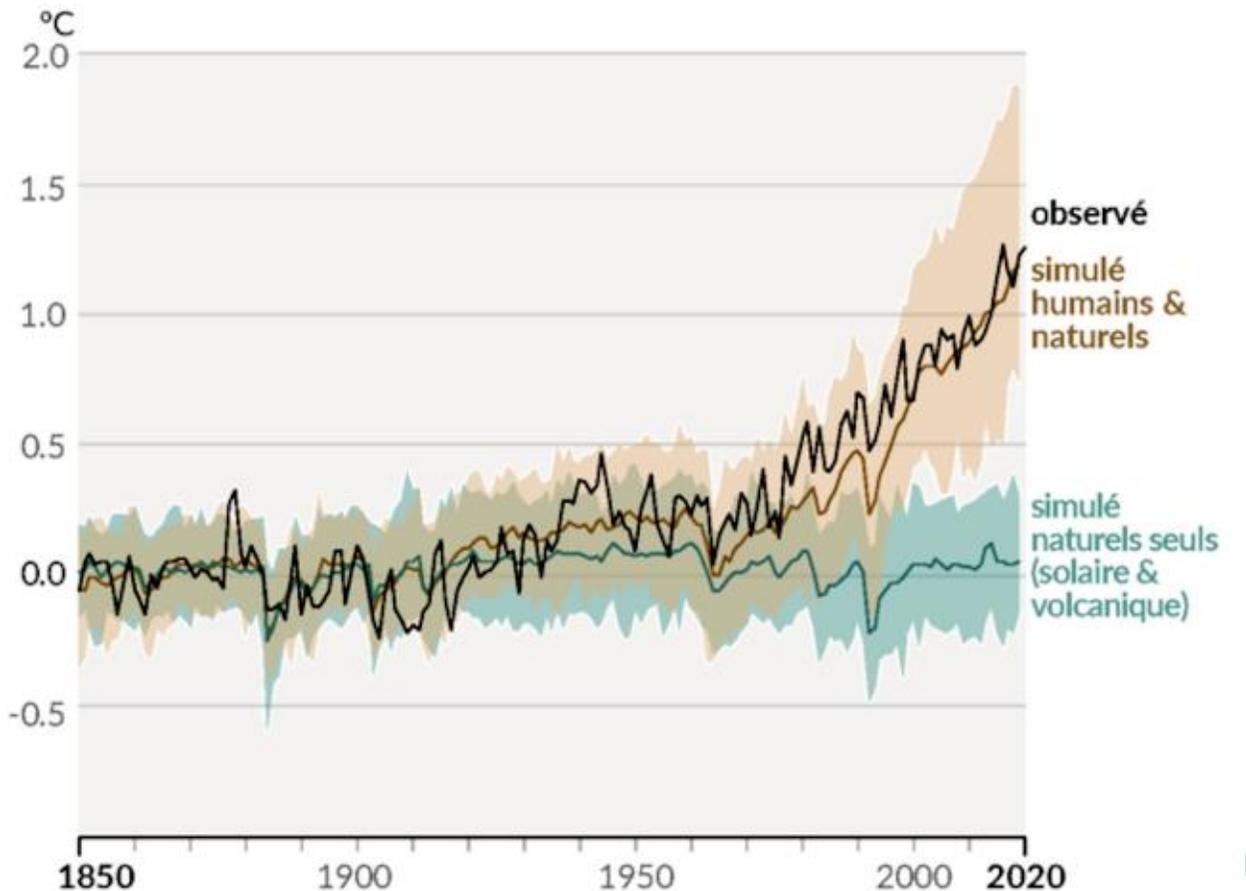
➤ Le changement climatique à l'œuvre... sur le climat mondial

Changements de la température de surface globale par rapport à 1850-1900

a) Changement de la température à la surface du globe (moyenne décennale) tel que **reconstruit** (1-2000) et **observé** (1850-2020)



b) Changement de la température à la surface du globe (moyenne annuelle) tel qu'observé et simulé avec les **facteurs humains et naturels** et les **facteurs uniquement naturels** (sur la même période de 1850 à 2020)



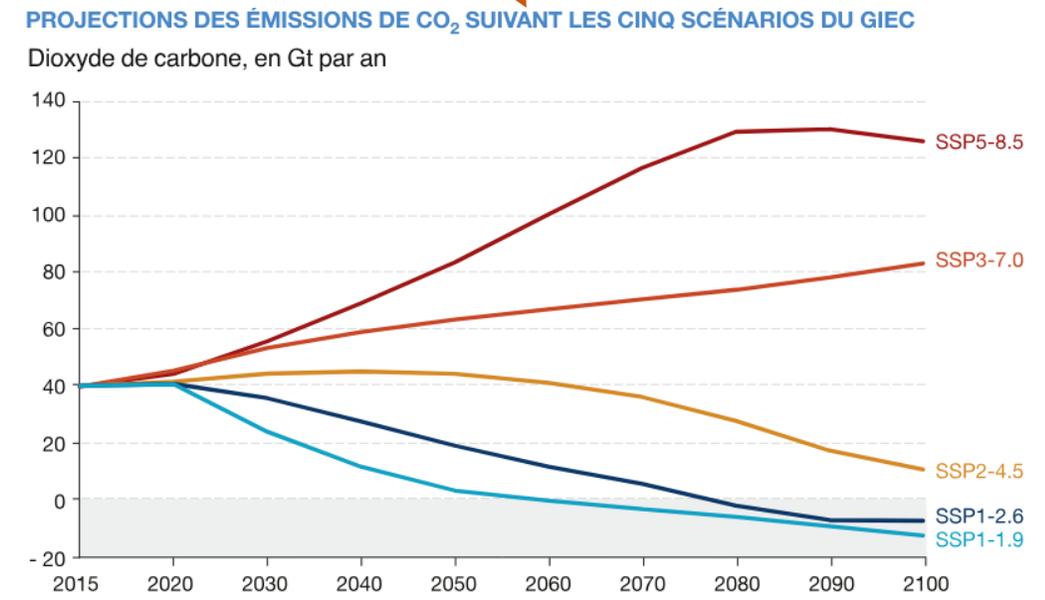
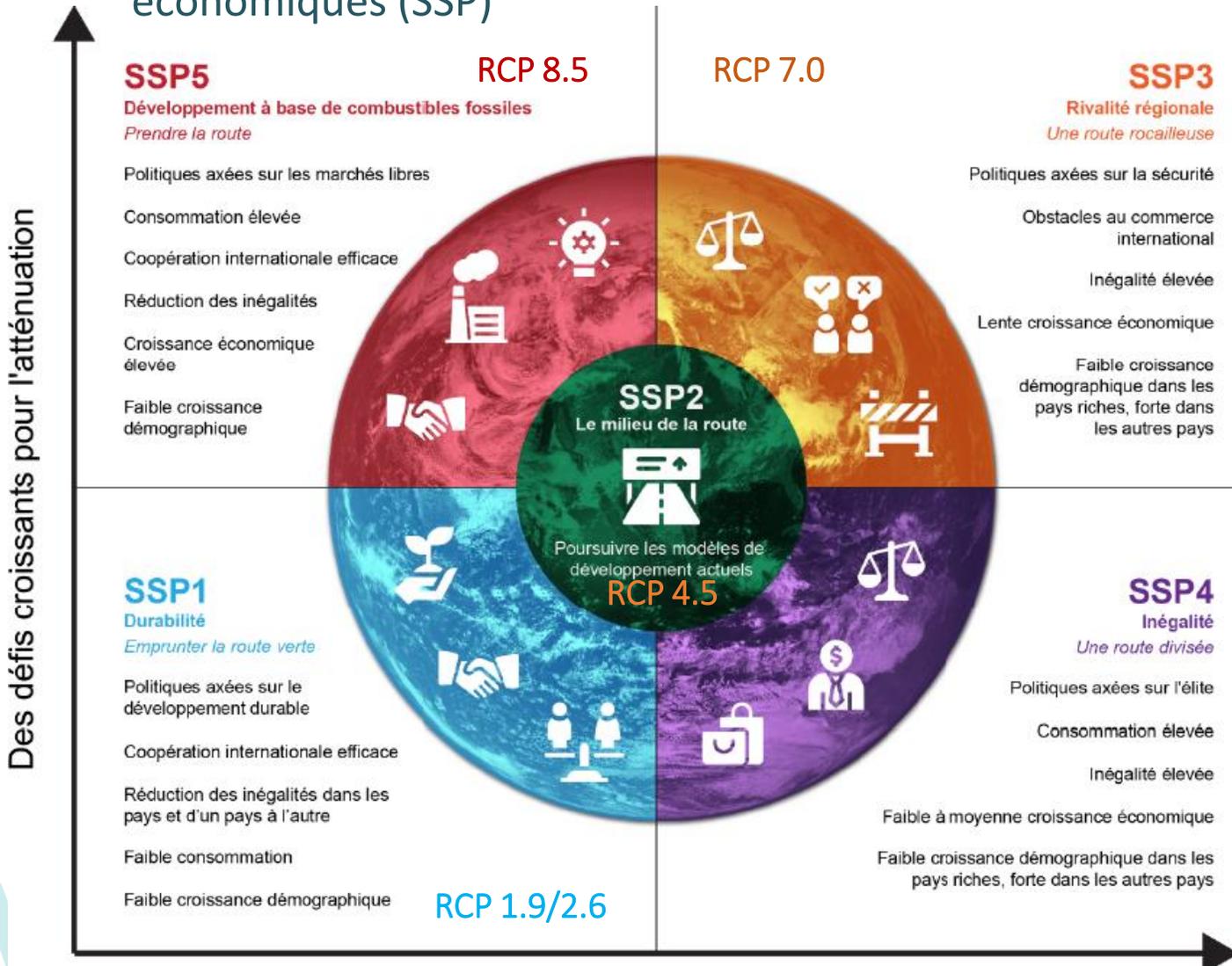
INRAE

➤ Comment modélise-t-on le climat ?



➤ Quels futurs possibles pour les concentrations de gaz à effet de serre ?

Le 6^{ème} rapport du GIEC propose des scénarios d'émission de GES (RCP) basés sur des trajectoires socio-économiques (SSP)

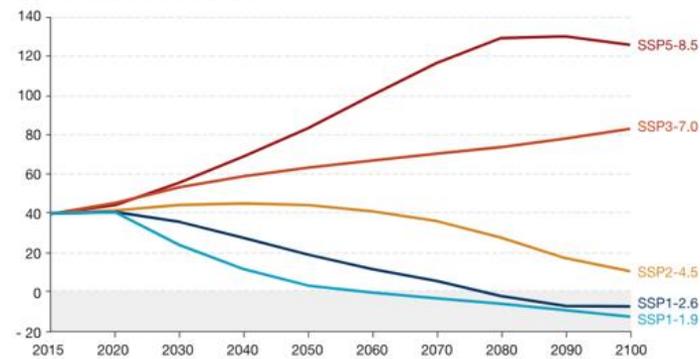


Note : les derniers nombres (1.9, 2.6, 4.5, 7.0 et 8.5) nommant chaque trajectoire correspondent aux forçages radiatifs induits à l'horizon 2100 par rapport à l'ère préindustrielle, exprimés en W/m².
Source : Giec, 1^{er} groupe de travail, 2021

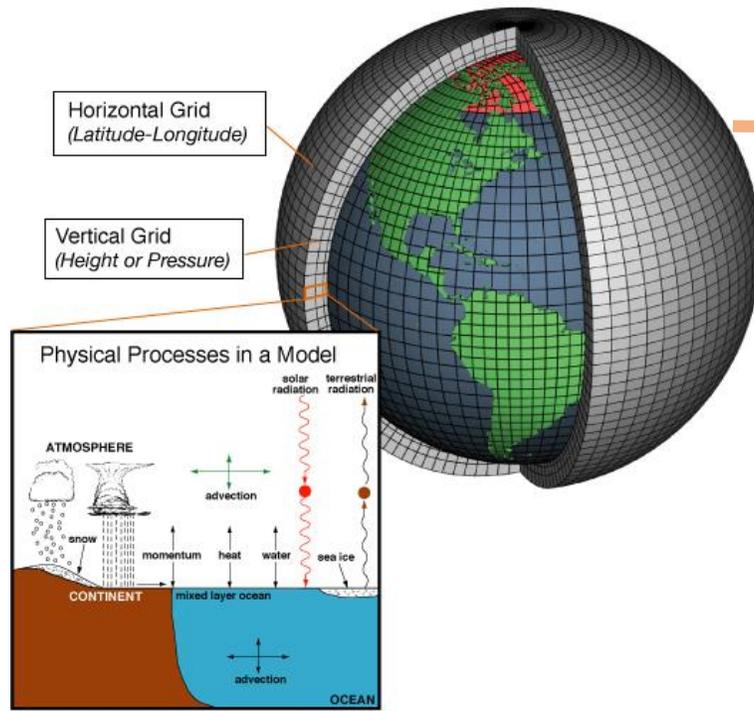
➤ Les modèles de circulation générale (GCM)...

... forcés par les trajectoires d'émissions de gaz à effet de serre

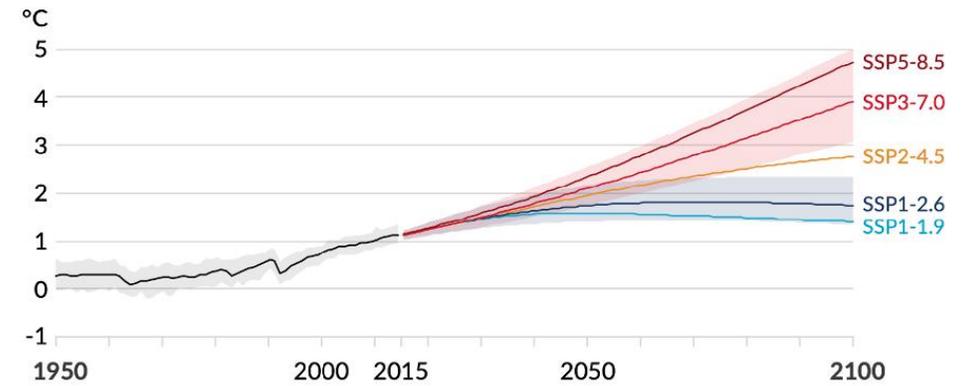
Dioxyde de carbone, en Gt par an



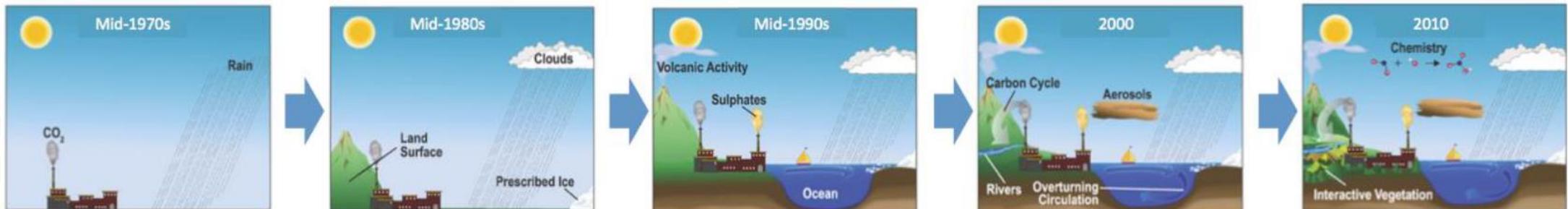
Forçage du modèle GCM



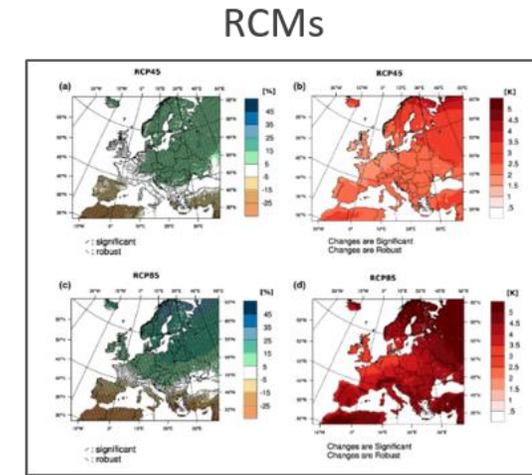
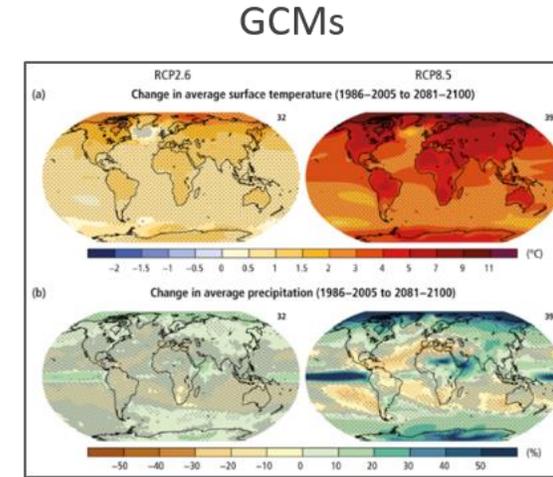
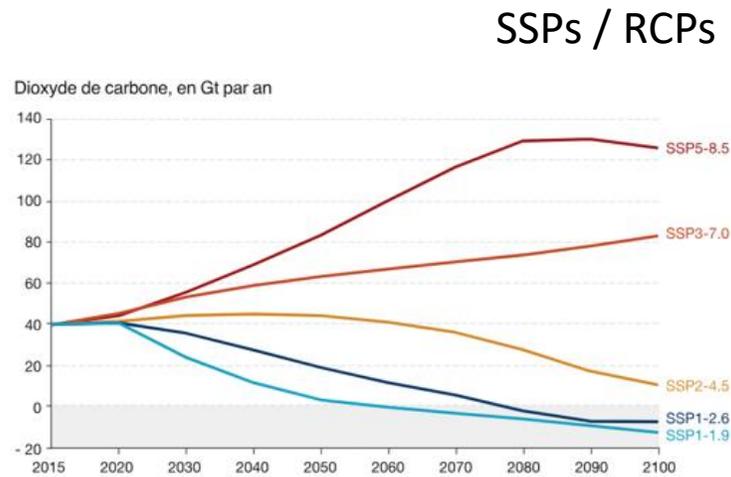
Simule l'évolution du climat



Des modèles en amélioration constante avec l'avancée de la science...



➤ La chaîne de modélisation d'une étude d'impact du changement climatique sur la ressource en eau

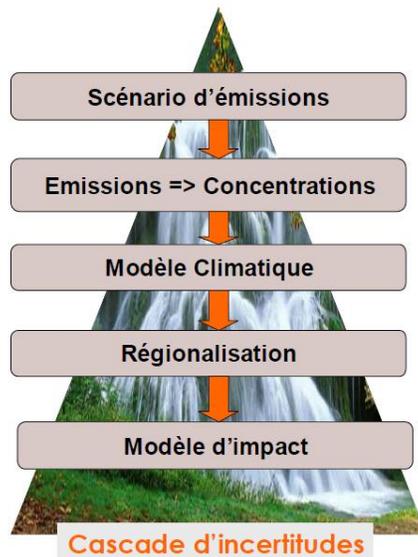


Source : Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects

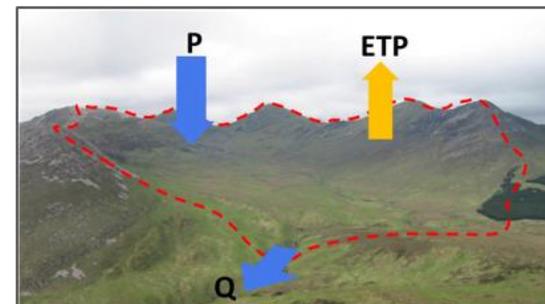
Source : Jacob et al., 2013

Explore 2:

- 3 scénarios d'émission de gaz à effet de serre (scénarios RCP2.6, RCP4.5 et RCP8.5),
- 17 chaînes de modélisation climatiques,
- 2 modèles de correction de biais,
- 4 à 9 modèles hydrologiques
- jusqu'à 648 projections !

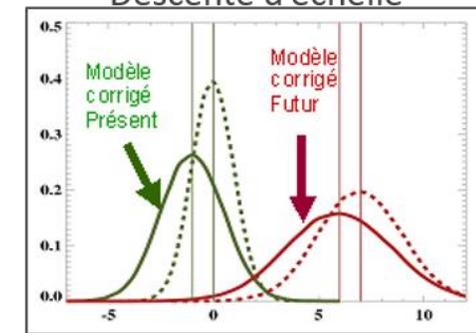


Modélisation hydrologique



Echelle d'étude : le bassin versant

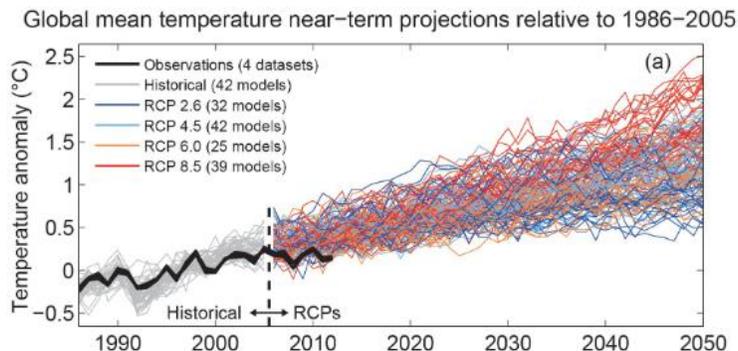
Corrections de biais/ Descente d'échelle



Source : Drias. Exemple méthode quantile-quantile

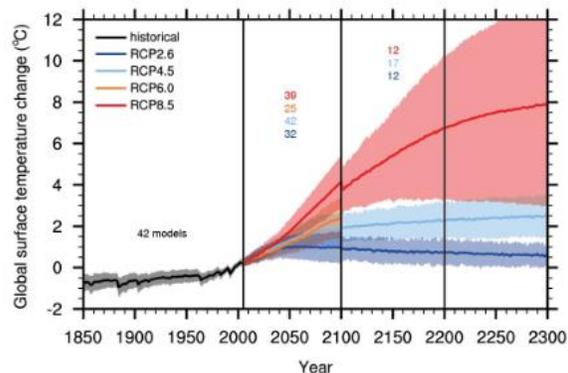
➤ Représentation de l'incertitude

La représentation en « Spaghettis »



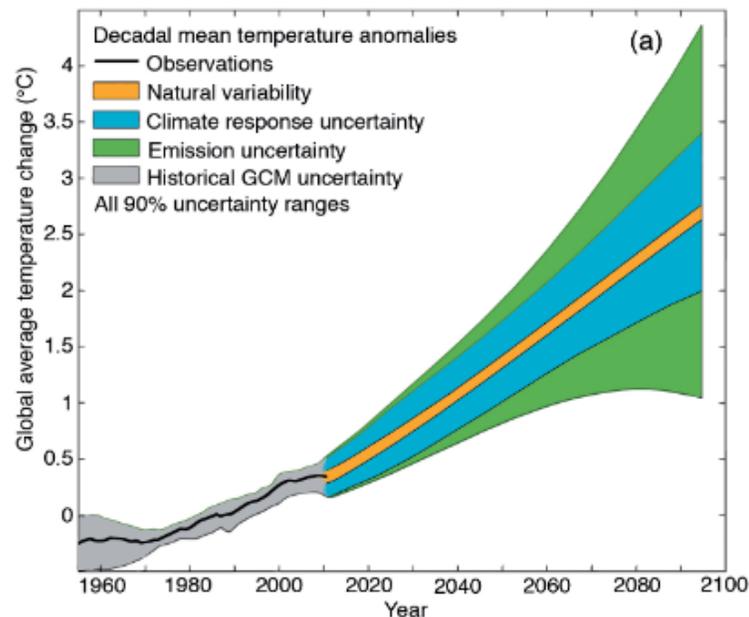
Représentation en spaghetti. Évolution de l'anomalie de moyenne de température globale par rapport à la période 1986-2005. Pour chaque expérience (forçage historique et les différents RCP), un run de chaque GCM est représenté par une courbe. (IPCC 2014)

La représentation en « Rubans »



Représentation en rubans. Évolution de l'anomalie de moyenne de température. (IPCC 2014)

La représentation de la décomposition de l'incertitude selon sa source



Les différentes sources d'incertitude : choix du scénario d'émission, choix du modèle climatique, variabilité naturelle. Source : IPCC 2014

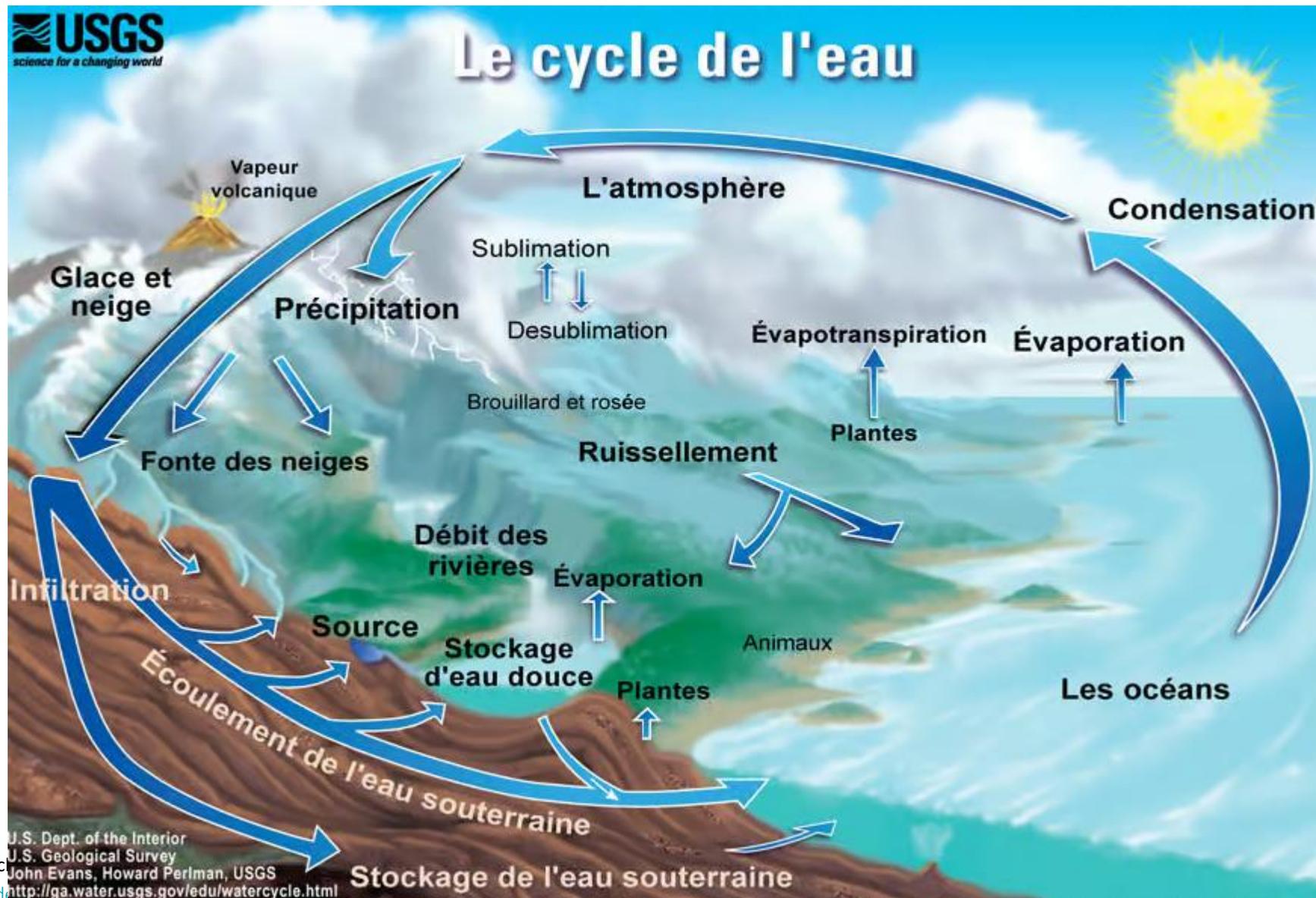
Le graphique ci-dessus donne la proportion relative de chaque type d'incertitude sur la température moyenne globale à l'échelle de la décennie. Il montre que la plus importante source d'incertitude sur le réchauffement à venir est celle de la quantité des émissions futures (en vert) à partir de 2050.



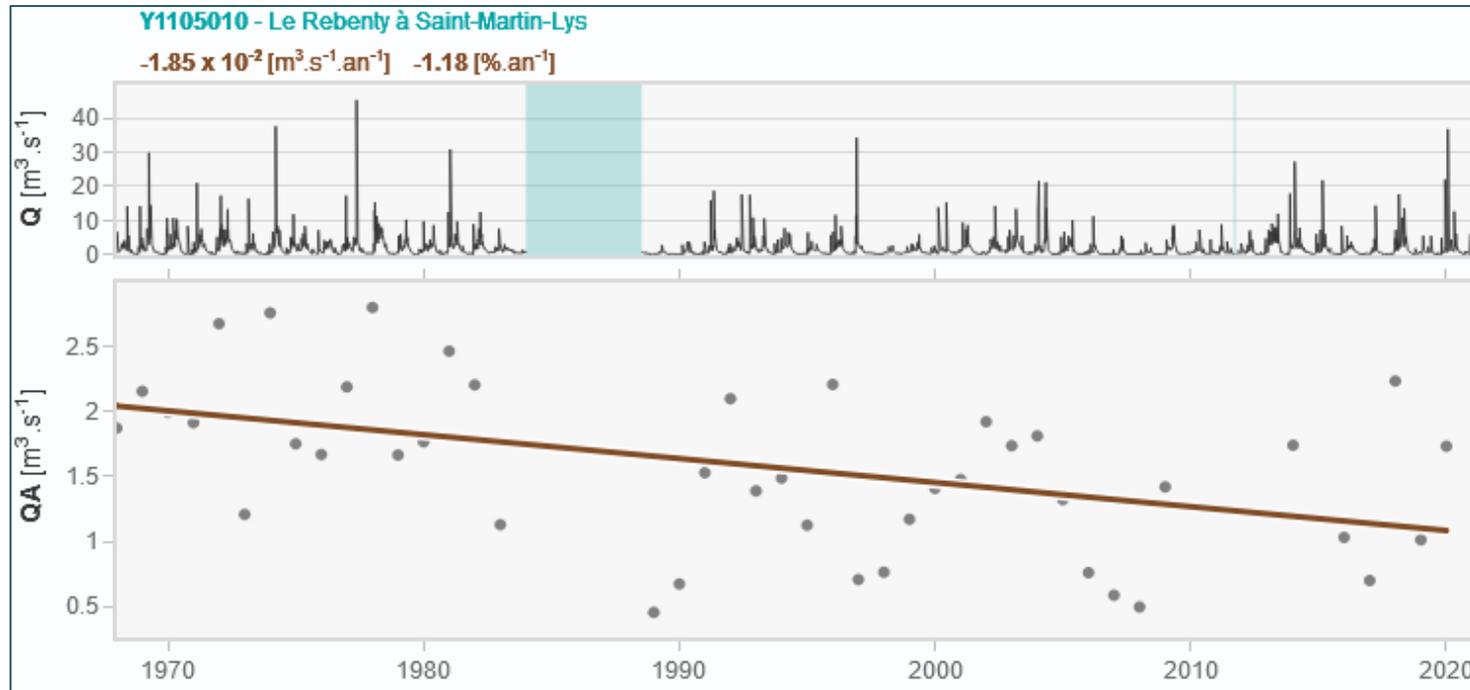
INRAE

➤ Quel est l'impact du changement climatique sur le cycle de l'eau ?

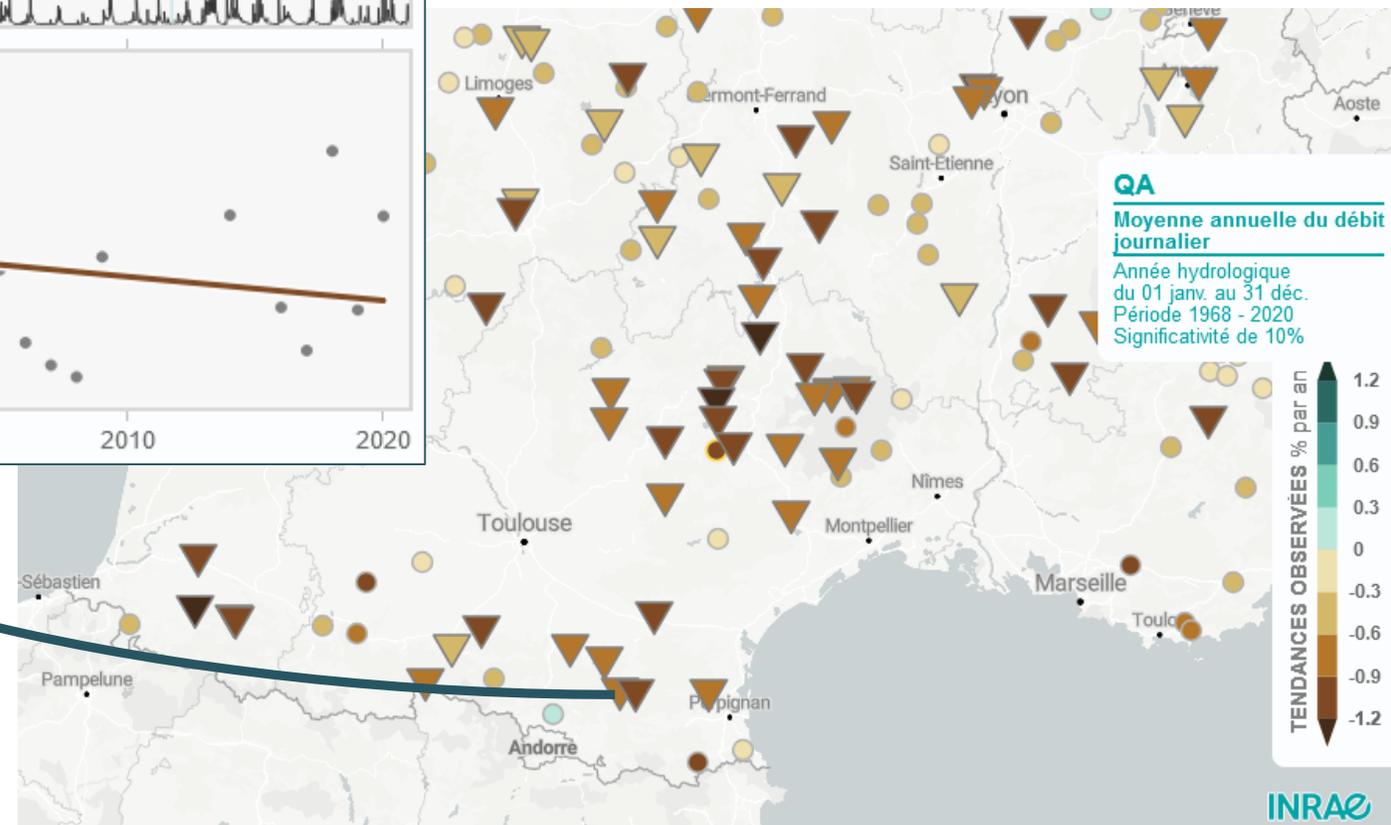
➤ Le cycle de l'eau est intimement dépendant du climat



➤ Le changement climatique à l'œuvre... sur l'hydrologie locale !



Tendance calculée sur les débits moyens entre 1968 et 2020



INRAE

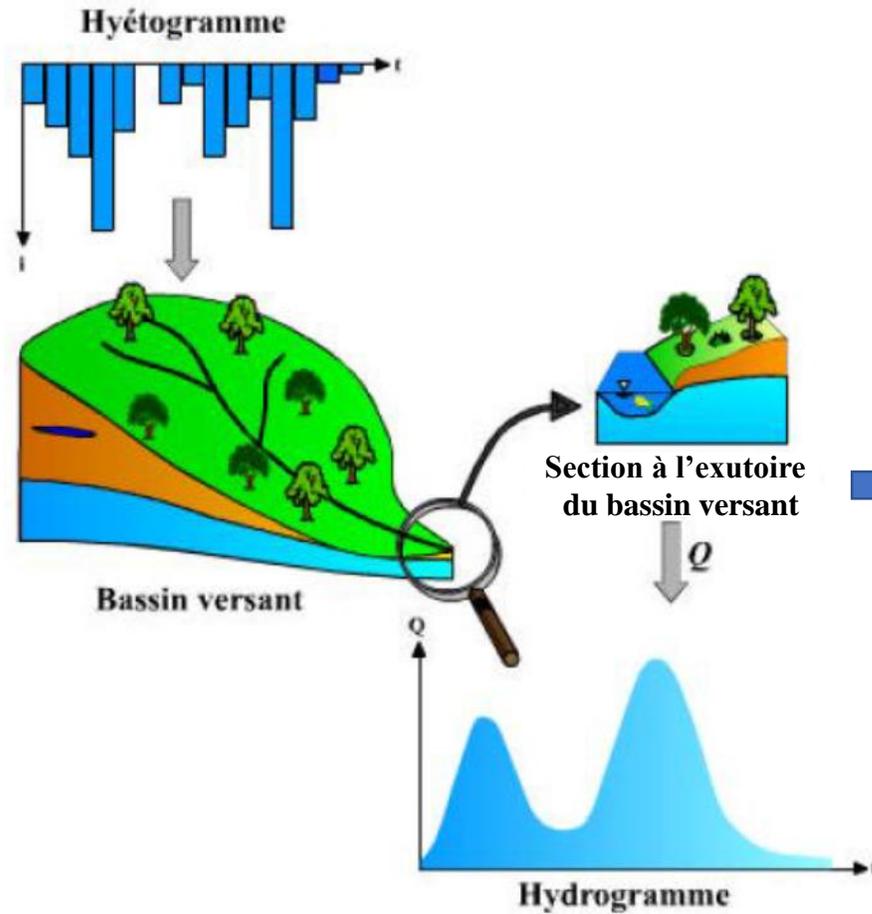
➤ La modélisation de l'impact du changement climatique
sur l'hydrologie

Exemple en France avec le projet Explore2



➤ Modélisation du débit à l'exutoire d'un bassin versant

Exemple de modèle hydrologique: le modèle conceptuel global GR4J



Représentation
mathématique
simplifiée des
phénomènes
physiques produisant
le débit à l'exutoire

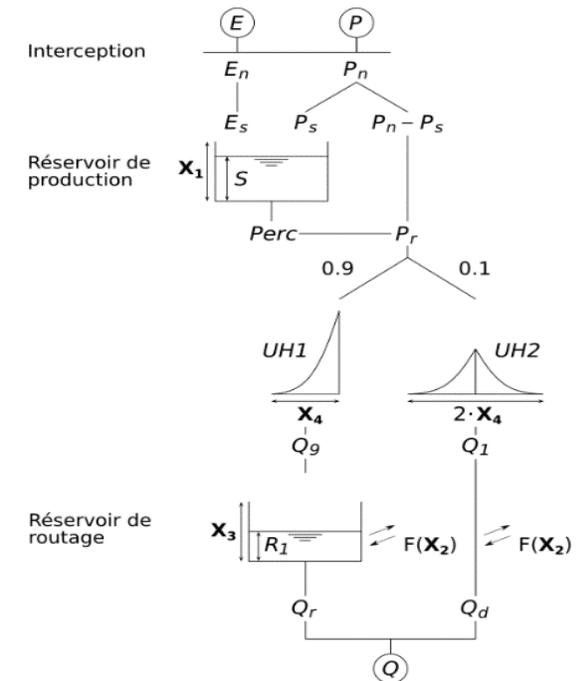
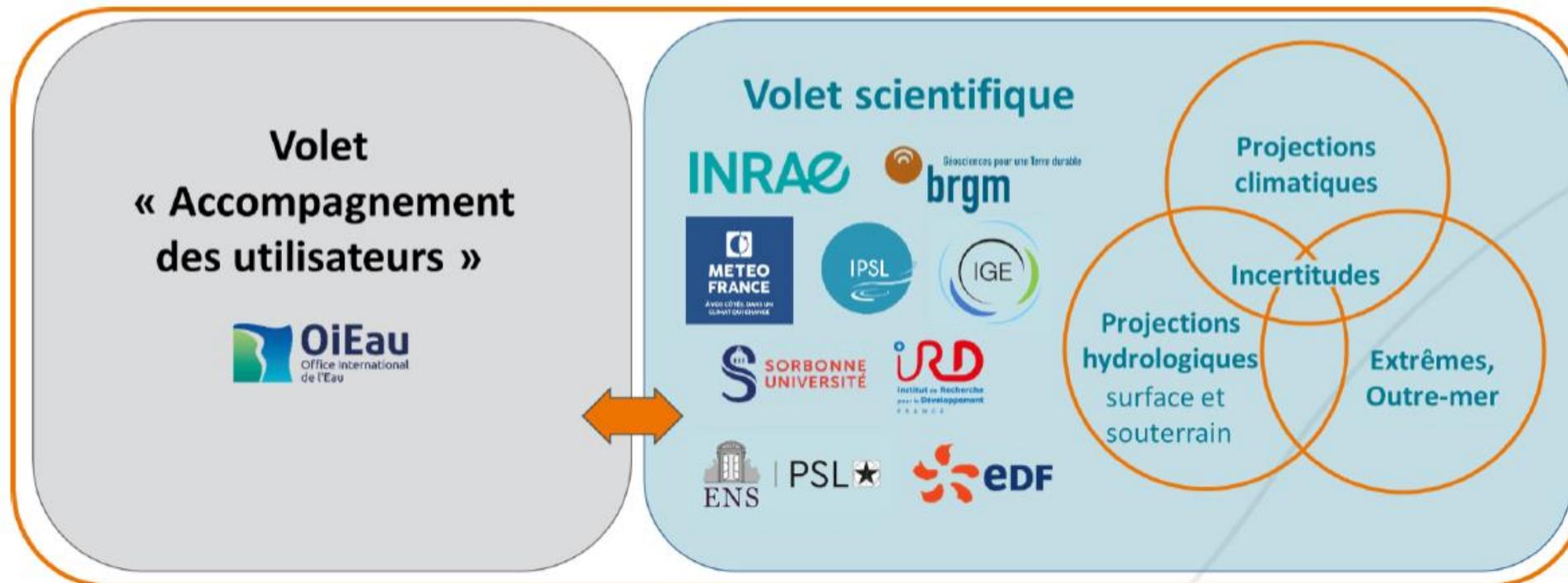


Schéma de fonctionnement du modèle GR4J développé par l'unité HYCAR d'Inrae



➤ Explore2

La nouvelle étude de référence en France



Co-financements :  **MINISTÈRE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE**
Liberté
Égalité
Fraternité

 **OFB**
OFFICE FRANÇAIS DE LA BIODIVERSITÉ

Assistance à maîtrise d'ouvrage :  **ACTeon**
environment
research & consultancy

• **Coût total : 2,2 M€**

• **Durée : 3 ans (2021-2024)**

Séminaire « Des clés pour la gestion de l'eau demain », 28 juin 2024:

<https://youtu.be/Lowq88fsL-s>

INRAE

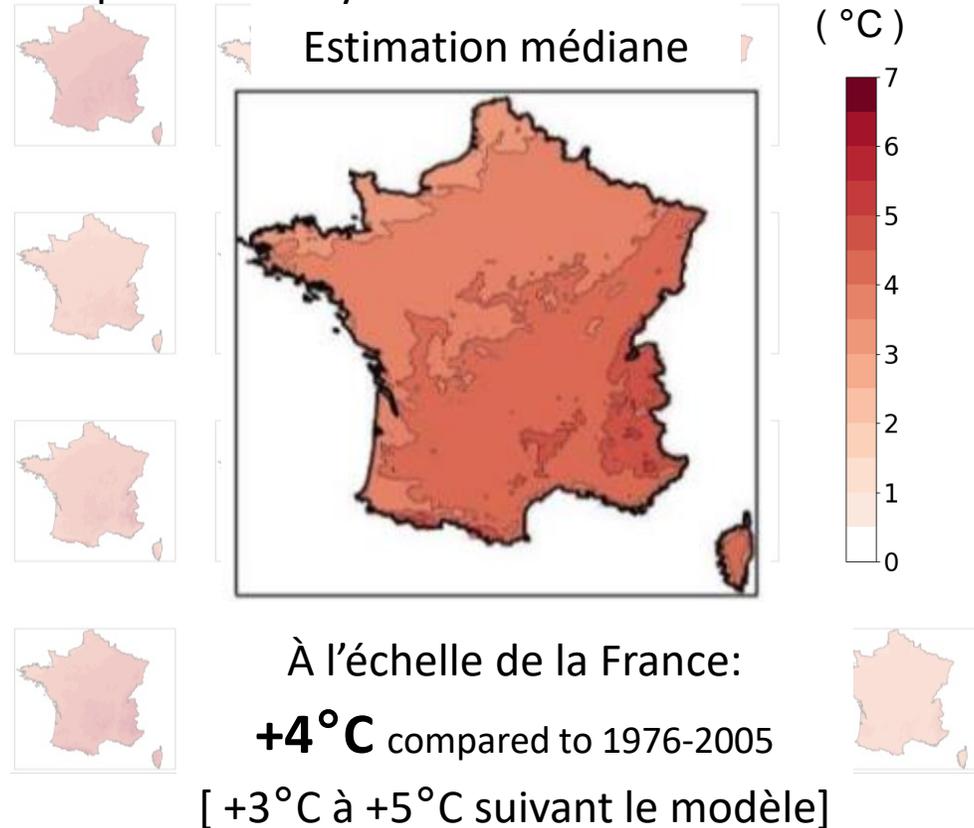
Impacts du changement climatique sur le cycle de l'eau, modélisation hydrologique et le projet Talanoa-Water

Quillan, 11 décembre 2024 / Cycle de conférences du PNR Corbières-Fenouillèdes / David Dorchies

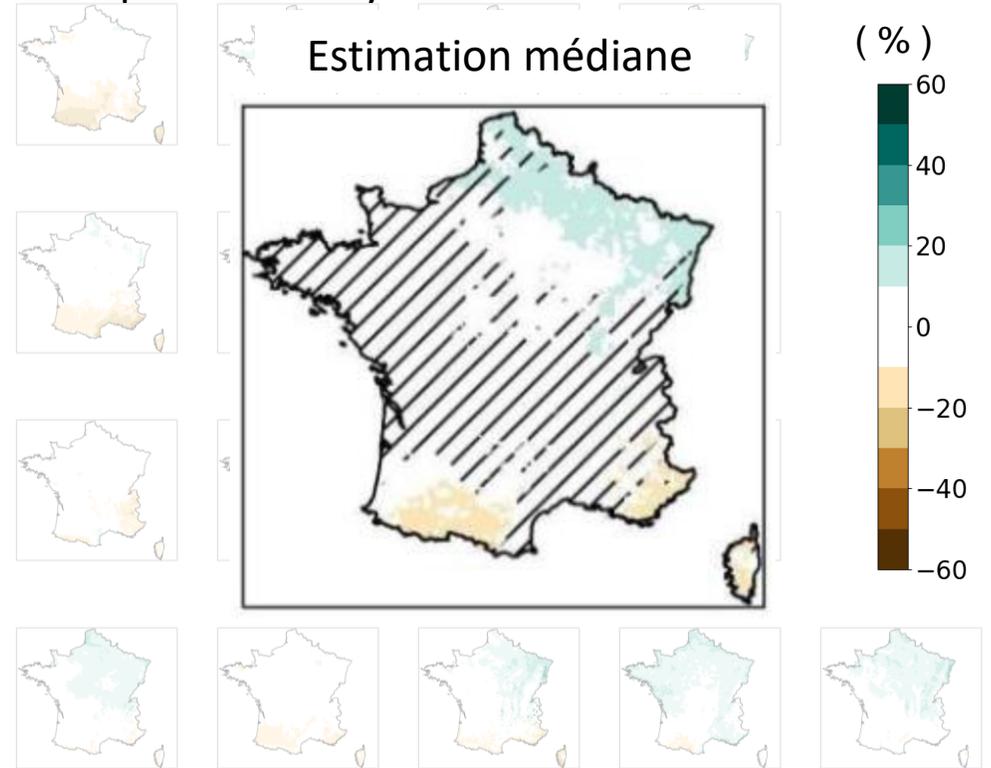
➤ Changement climatique futur selon l'ensemble Explore2

Comment synthétiser l'ensemble des simulations ?

Température moyenne annuelle



Précipitations moyennes annuelles



Incertitude concernant l'évolution future
des pluies

Message robuste : aussi longtemps que les
émissions nettes de GES augmenteront le
réchauffement continuera

Évolution du scénario forte émission (RCP8.5)
Entre les périodes 1976-2005 et 2070-2099

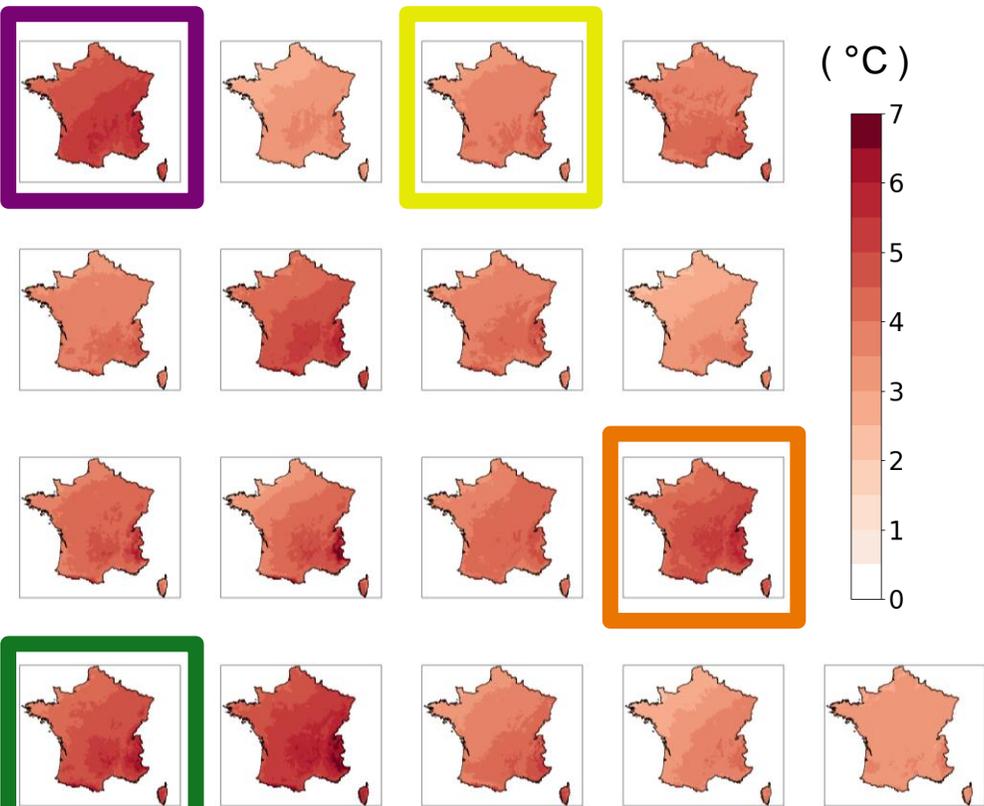


➤ Les narratifs Explore2 : 4 futurs possibles

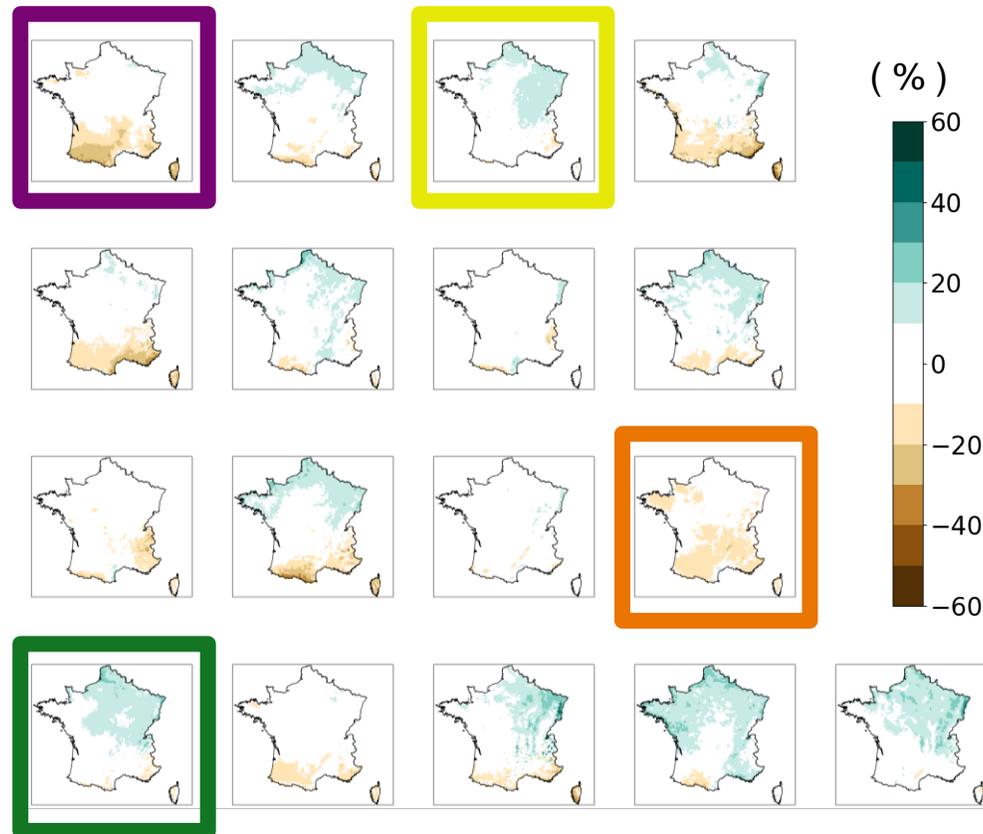
4 scénarios GCM-RCM parmi les scénarios forcés par le RCP8.5

Évolutions (1976-2005) – (2070-2099) pour le scénario d'émission RCP8.5

Température moyenne annuelle



Précipitations moyennes annuelles



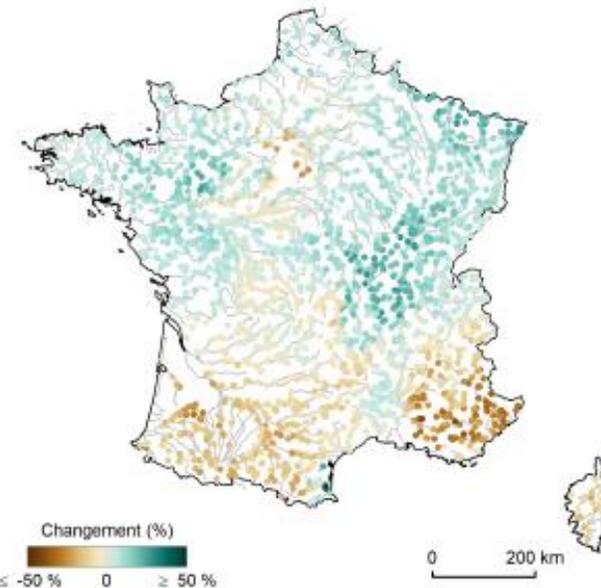
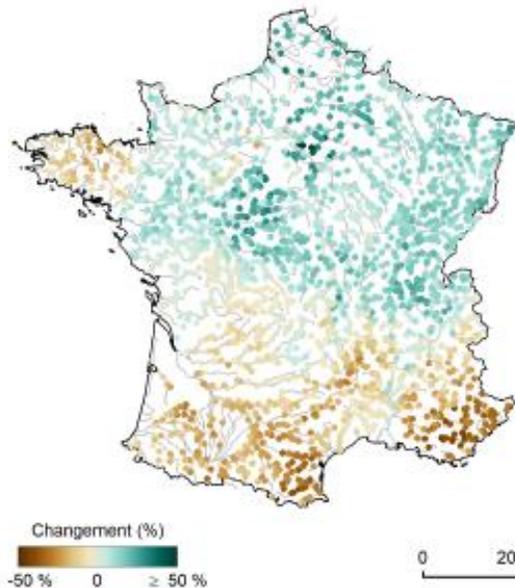
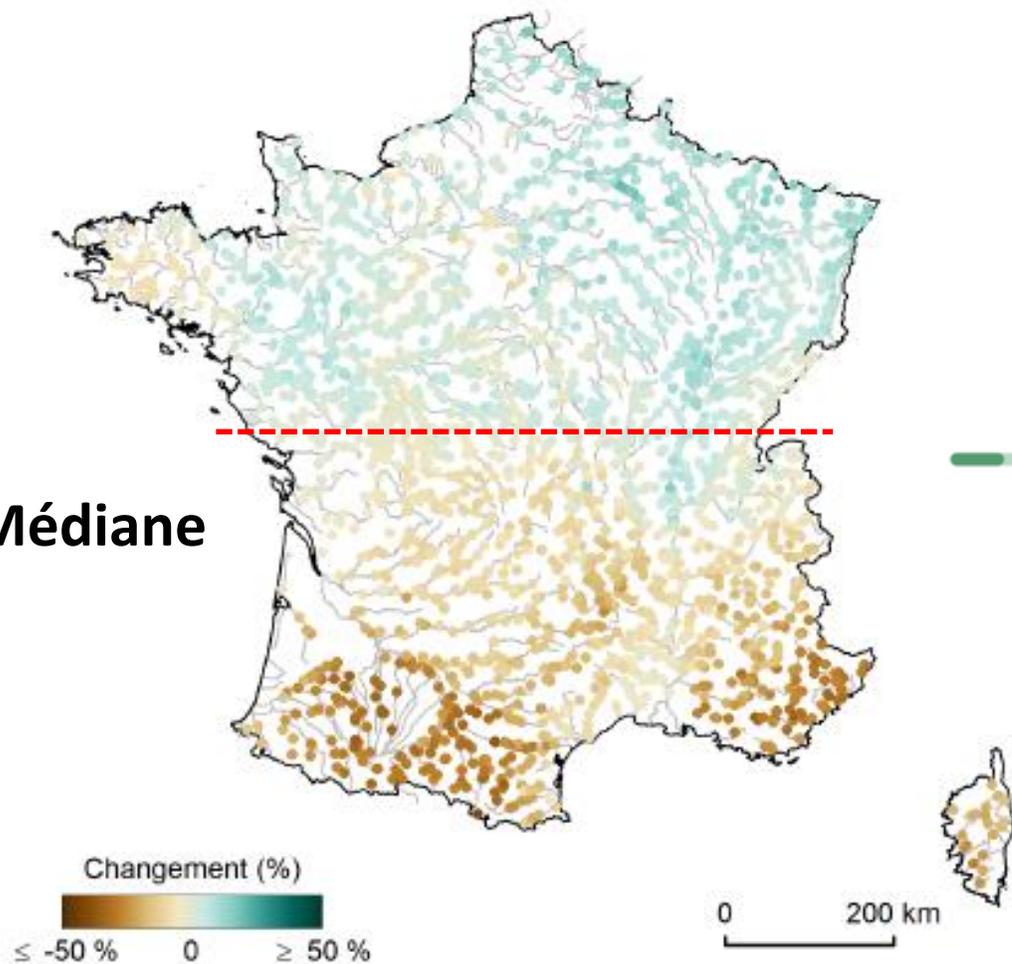
Narratifs

- Réchauffement marqué et augmentation des précipitations
- Changements futurs relativement peu marqués
- Fort réchauffement et fort assèchement en été (et en annuel)
- Fort réchauffement et forts contrastes saisonniers en précipitations



➤ Débit moyen annuel

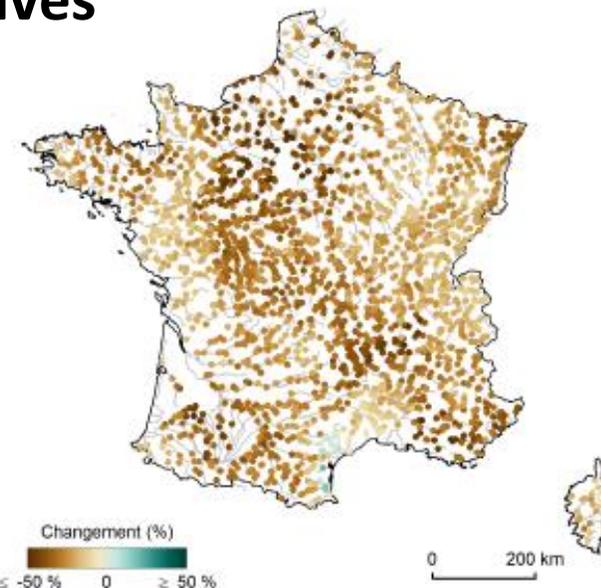
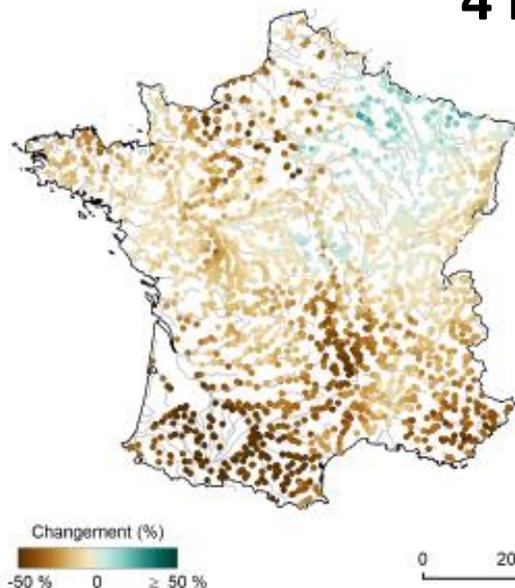
Médiane



— Réchauffement marqué et augmentation des précipitations

— Changements futurs relativement peu marqués

4 narratives



INRAE

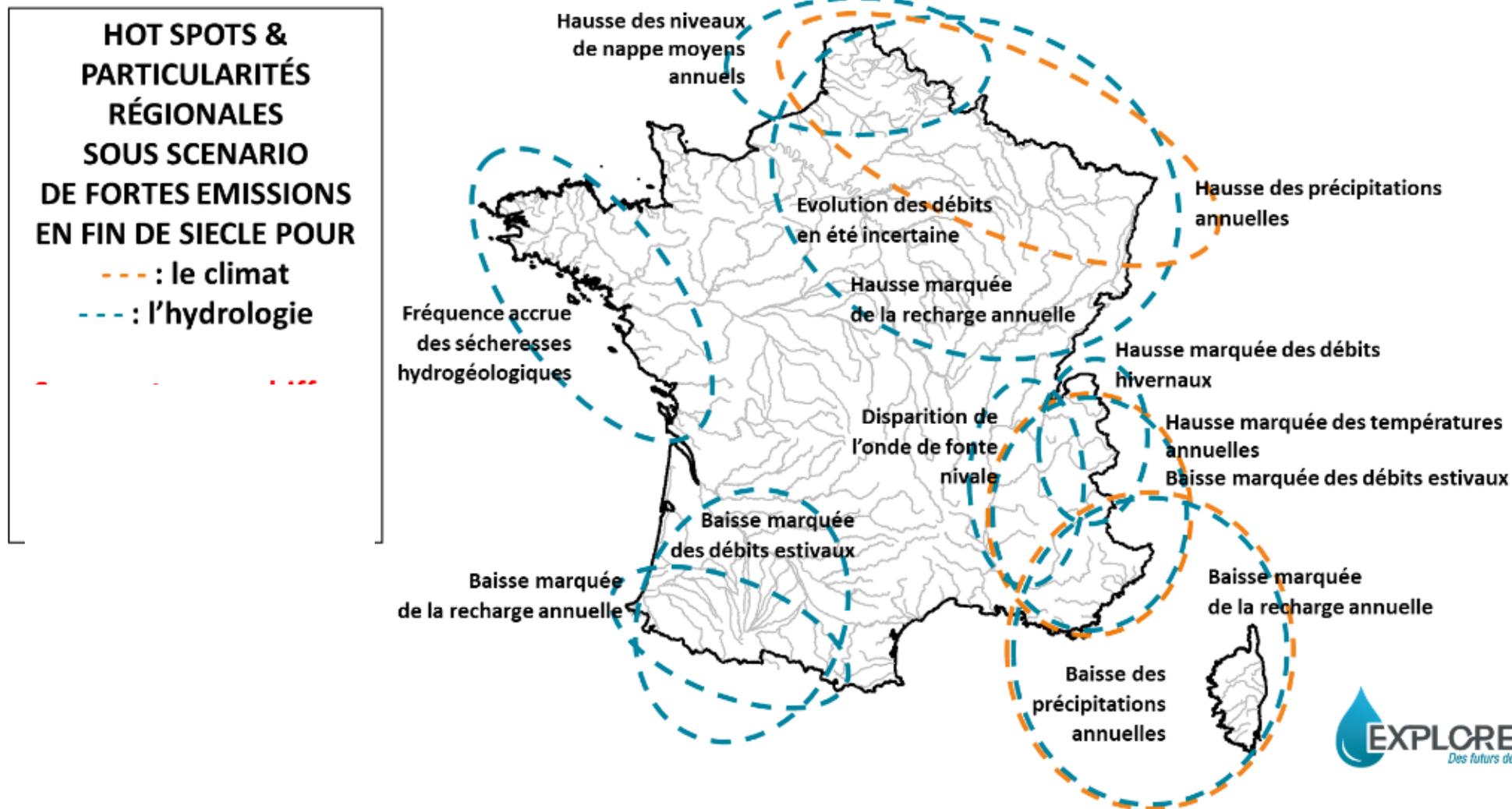
Impacts du changement climatique sur le cycle de l'eau, modélisation hydrologique

Quillan, 11 décembre 2024 / Cycle de conférence

— Fort réchauffement et forts contrastes saisonniers en précipitations

— Fort réchauffement et fort assèchement en été (et en automne)

Des « hot-spots » sous RCP8.5 en fin de siècle



L'absence d'indication sur les autres régions ne signifie pas l'absence de changement. Les secteurs en pointillés sont les zones particulièrement sensibles au changement climatique. Cette carte s'appuie sur l'ensemble des projections obtenues sous le scénario de fortes émissions RCP8.5 (ex. 34 pour le climat).

➤ Explore2: les résultats

<https://www.drias-eau.fr/accompagnement/carteFicheResultatsExplore2/>

Projet EXPLORE2-2024
Fiches résultats et d'incertitudes

Plus d'information



Gestion des zooms



Gestion des calques



Gestion des labels

Label bassin

Label station hydro

Label cours d'eau



--> Télécharger des fiches incertitudes supplémentaires
1623 stations complémentaires

Liste des stations disponibles

Rechercher par ...

Code hydro

Rivière

Réinitialiser

Nom de la station: Saint-Pandelon
Code hydro: Q346401001
Cours d'eau: Le Luy

➤ Explore2: les résultats... à Quillan !

Y111201002 - L'Aude à Quillan [Oa Rd 118]

Région hydrographique : Fleuves côtiers du Rhône-Méditerranée et Corse

Superficie : 698 km²

X = 633370 m (Lambert93)

Y = 6197922 m (Lambert93)

Nombre de projections sous RCP 8.5 : 102

Nombre de modèles hydrologiques : 4

Narratifs

- Réchauffement marqué et augmentation des précipitations
- Changements futurs relativement peu marqués
- Fort réchauffement et fort assèchement en été (et en annuel)
- Fort réchauffement et forts contrastes saisonniers en précipitations

SAFRAN



Ensemble des projections



(a) Régime hydrologique (m³/s)

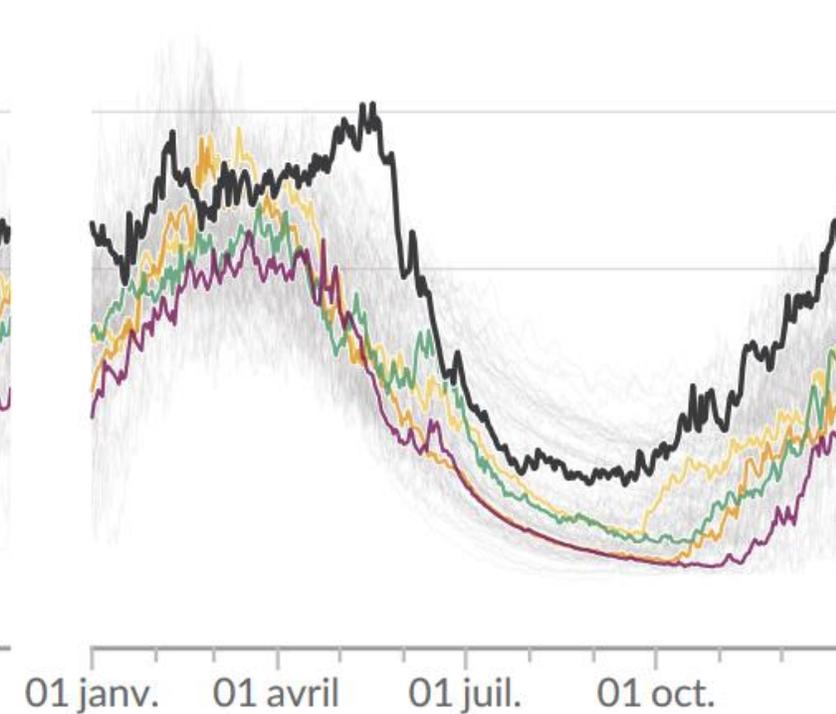
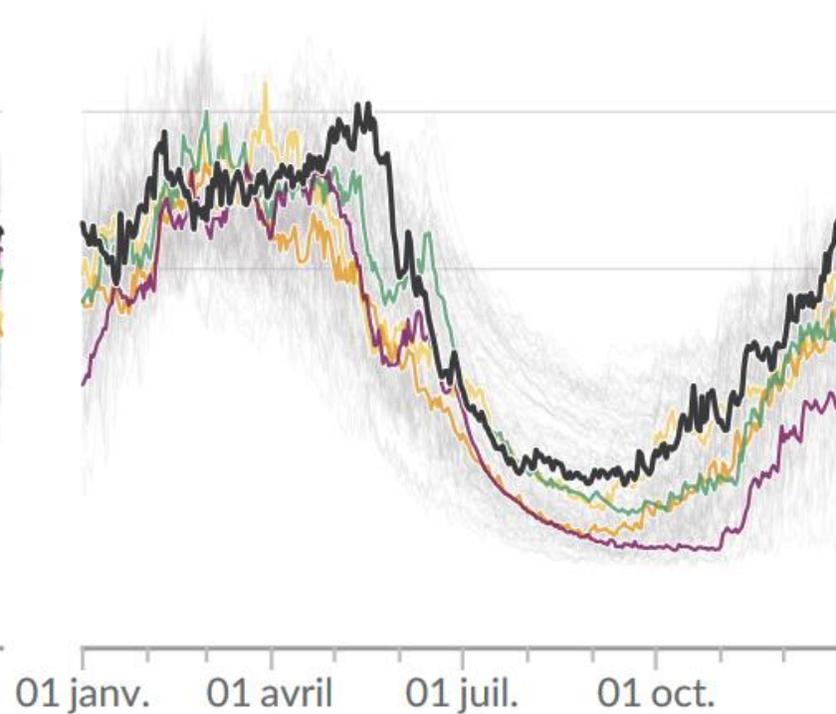
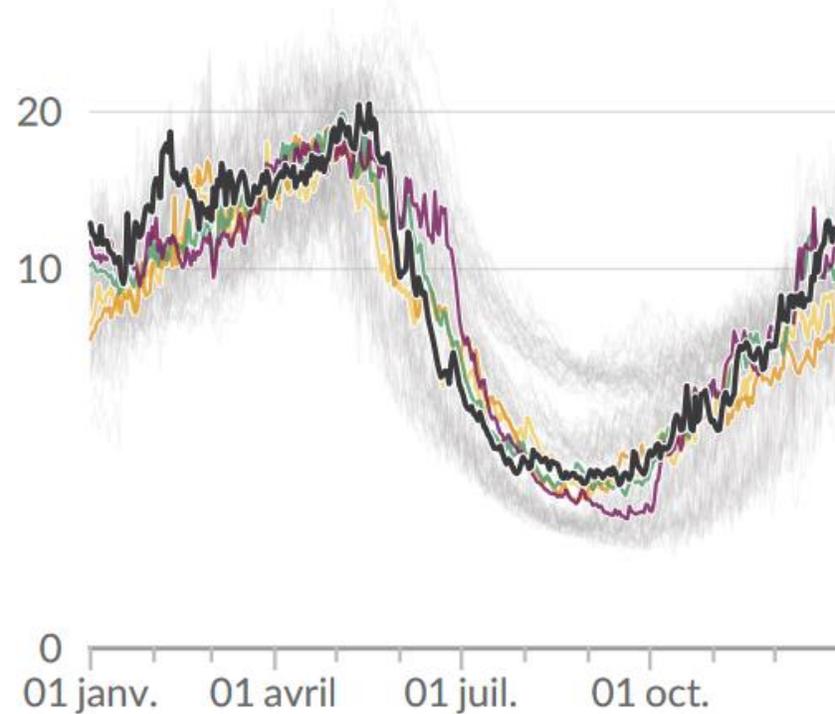
H0 : Période de référence 1976-2005

(b) Régime hydrologique (m³/s)

H2 : Milieu de siècle 2041-2070

(c) Régime hydrologique (m³/s)

H3 : Fin de siècle 2070-2099



➤ Explore2: les résultats... à Quillan !

Narratifs

- Réchauffement marqué et augmentation des précipitations
- Changements futurs relativement peu marqués
- Fort réchauffement et fort assèchement en été (et en annuel)
- Fort réchauffement et forts contrastes saisonniers en précipitations

Changements

- Plus d'eau
- Moins d'eau

Évolution

- Moyenne d'ensemble
- Incertitude de modélisation
- ⋯ Variabilité naturelle

Accord sur le signe de l'évolution

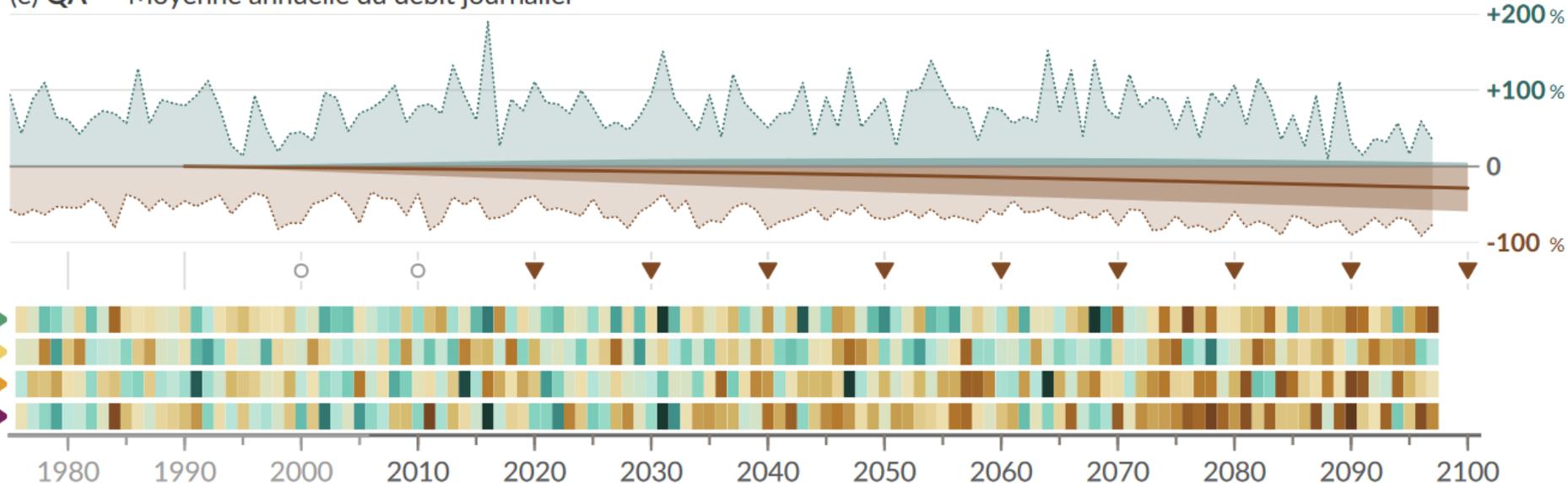
- ▲ Augmentation
- Pas d'accord
- ▼ Diminution

Stripes

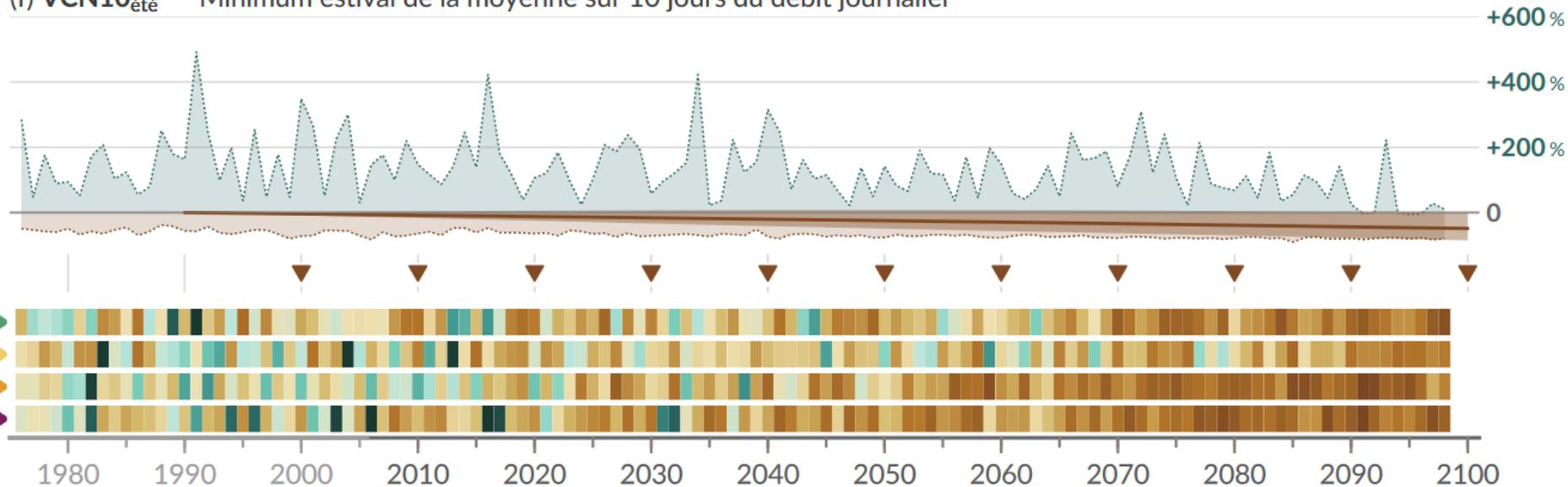
Les palettes de couleur sont communes aux quatre narratifs pour chaque variable.

- max
- Plus d'eau
- 0
- Moins d'eau
- min

(e) QA – Moyenne annuelle du débit journalier



(f) VCN10_{été} – Minimum estival de la moyenne sur 10 jours du débit journalier

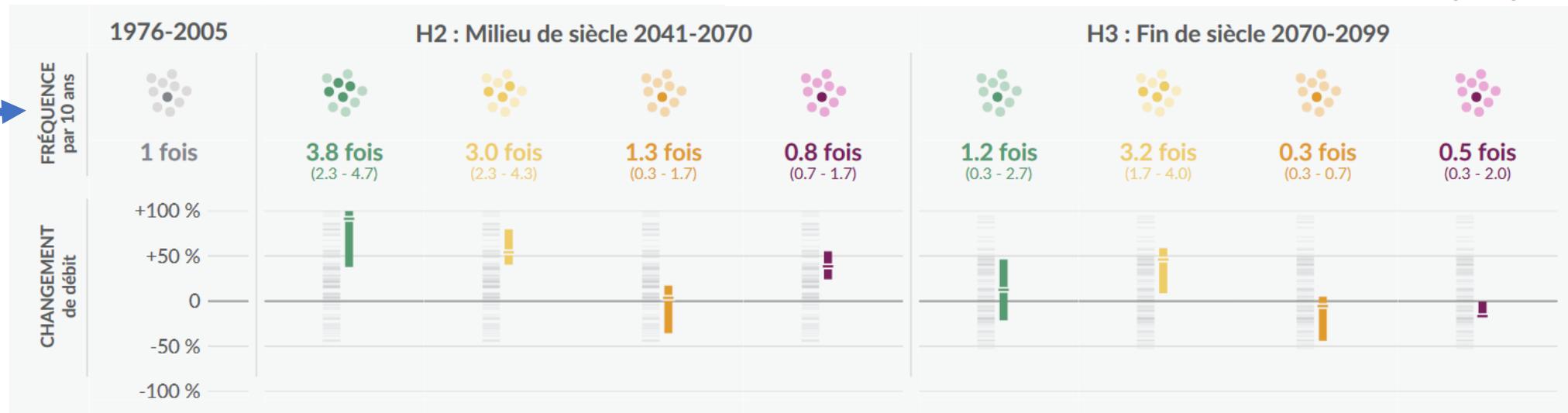


➤ Explore2: les résultats... à Quillan !

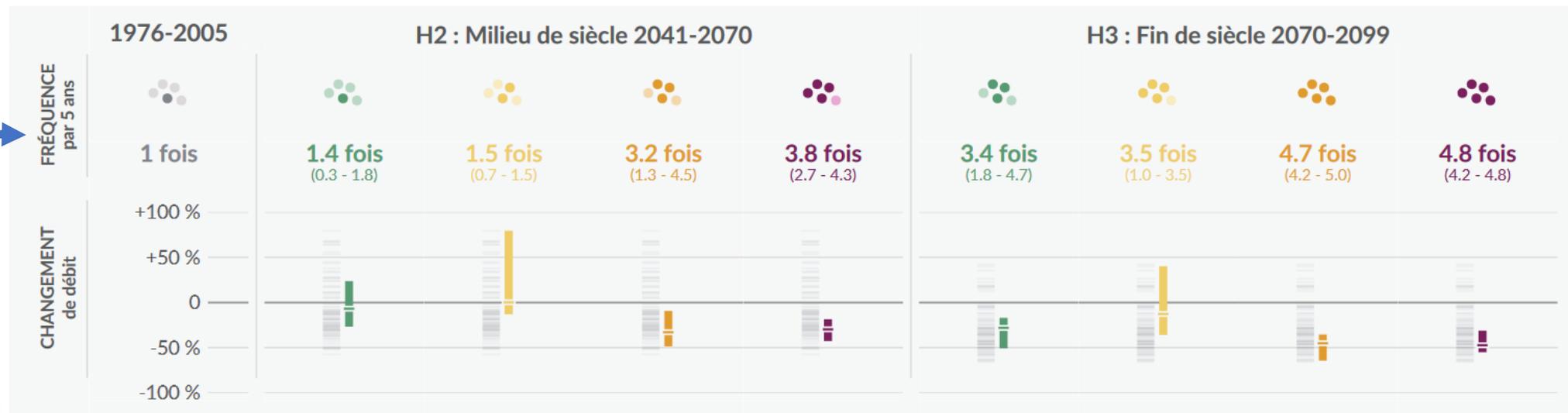
Narratifs

- Réchauffement marqué et augmentation des précipitations
- Changements futurs relativement peu marqués
- Fort réchauffement et fort assèchement en été (et en annuel)
- Fort réchauffement et forts contrastes saisonniers en précipitations

(h) QJXA-10 – Crues de période de retour 10 ans



(i) VCN10-5 – Étiages de période de retour 5 ans



Représentation du changement climatique en terme de changement de fréquence d'un événement connu

INRAE

➤ **Comment s'adapter localement au changement climatique ?**

L'exemple du projet Talanoa sur l'Aude Médiane et Aval



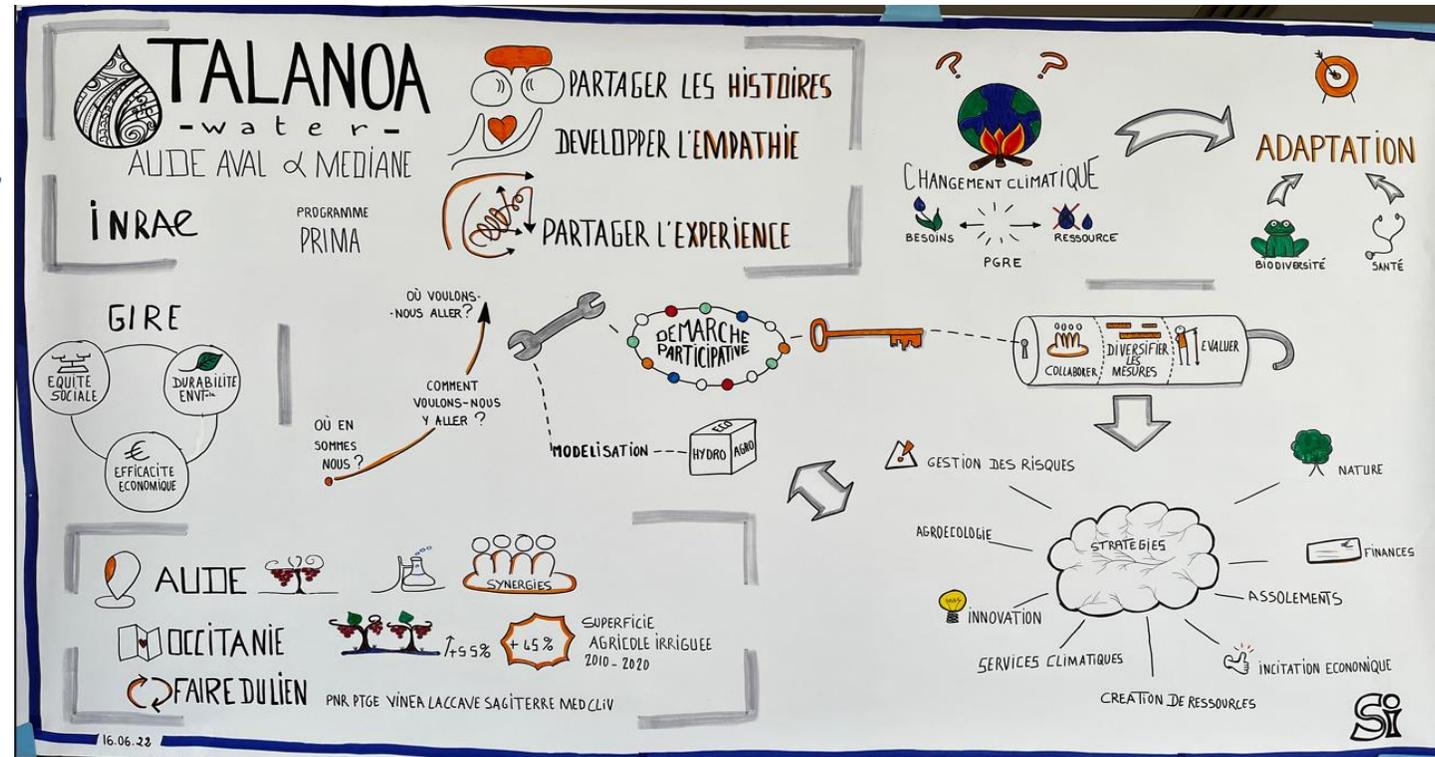
TALANOA
- w a t e r -

➤ Le projet TALANOA

Objectif du projet : co-construire et évaluer des stratégies d'adaptation transformative de la gestion de l'eau face au changement climatique

✓ Un projet d'innovation, un dispositif de recherche – action

✓ Juin 2021 – juin 2025 (4 ans)



Une question de recherche : Comment construire et contribuer à un écosystème d'innovation territorial pour identifier et engager des changements ?

Gouvernance du projet TALANOA – « Lab » français, Audois

GRUPE DE TRAVAIL MULTI-ACTEURS (évolutif)

Collectivités

- ✓ Inst. des Eaux de la Montagne Noire
- ✓ Grand Narbonne
- ✓ Carcassonne
- ✓ PNR Narbonnaise
- ✓ PNR Haut Languedoc

Services de l'État, Agences, EPIC

- ✓ Agence de l'eau (AERMC)
- ✓ DRAAF, DREAL
- ✓ Voie Navigable de France (VNF)
- ✓ BRGM
- ✓ SAFER
- ✓ ARB

Usagers de l'eau (autres qu'agriculteurs)

- ✓ EDF
- ✓ Sports d'eau vive
- ✓ Fédération de pêche
- ✓ ECCLA (écologie), Aude Clair, etc.

EQUIPE SCIENTIFIQUE & TECHNIQUE

- ~ 10 chercheurs INRAE associés,
- 1 Chef de projet à temps pleins (Alexandre ALIX)
- 1 Thèse en économie (Juliette Le Gallo)
- Des stages de master/ingénieur à définir

- ✓ Chaire Eau & Agriculture de SupAgro
- ✓ BRL

Agriculteurs & représentants

- ✓ Coopératives
- ✓ Vignerons indépendants
- ✓ Unions et Syndicat d'irrigants
- ✓ Syndicats viticoles
- ✓ Interprofessions
- ✓ Associations (CDA, BioCivam, Maison Paysanne...)

Et bien d'autres : BE, fournisseurs de solutions technologiques, banques, assurances, associations...

COMITÉ DE PILOTAGE

- ✓ SMMAR
- ✓ DDT
- ✓ Département de l'Aude
- ✓ Union d'Asa de l'Est Aud.
- ✓ Prestasa / Union d'Asa
- ✓ Chambre d'Agriculture
- ✓ PNRNM
- ✓ Agence de l'eau RMC
- ✓ INRAE

>200 acteurs identifiées

4 niveaux/instances

➤ Participation à la démarche pour construire & évaluer des stratégies

*se réunit pour des ateliers par INRAE / Peut proposer des initiatives

➤ Appui stratégique au projet

* est consulté par INRAE pour avis et décisions sur la démarche et pour des choix qui n'auront pas été tranchés en atelier

➤ Pilotage opérationnel

*assurer la gestion technique et scientifique du projet
*livrables à produire pour TALANOA

➤ Animation de la démarche

Un site internet, une liste de diffusion & un groupe Facebook pour garder le contact

➤ Rapporteur du groupe d'acteurs dans le projet européen

Participera aux 2 ateliers internationaux du projet



➤ High Level Experts Advisory Board
1 expert du BRGM et autres internationaux

➤ Proposition méthodologique

Répondre à 3 grandes questions :

- **1-Où en sommes nous ?** Quel état des lieux sur l'usage de l'eau et de l'agriculture
- **2-Où voulons nous aller ?** Quelle évolution souhaitable du développement agricole et des usages de l'eau ?
- **3-Comment y parvenir ?** Quels sont les moyens, stratégies, chemins pour y parvenir ?



2 dispositifs :

Ecosystème d'innovation – adaptation - transformation



Une démarche participative qui repose sur la mobilisation d'un groupe d'acteur pour co-construire et évaluer des stratégies

Renforcement des capacités d'adaptation



Modélisation hydro-agro-économique pour représenter l'état des lieux et évaluer des stratégies, prendre en compte les changements globaux

Conditions d'émergence de certains futurs souhaitables / scénarios

➤ Une démarche participative sous forme d'ateliers

Atelier prospective (mars 2023)

Imaginer ensemble les futurs du territoire



Atelier Mesures d'adaptation (novembre 2023)

- Sensibiliser à la modélisation des processus en jeu
- Sensibiliser à l'impact du CC sur la ressource et les usages (jeu sérieux)
- Réfléchir ensemble aux mesures d'adaptations



Ateliers « Données » et « Modélisation » (en cours...)

- Bilan et critiques des données utilisées
- Modèle hydrologique connectant ressources et usages
- Modèle agronomique : demande en eau des cultures
- Modèle économique : évolution des cultures, des politiques et des pratiques

Et d'autres à venir :

- Modélisation « intégrée »
- Déclinaison des stratégies
- Évaluation des stratégies...

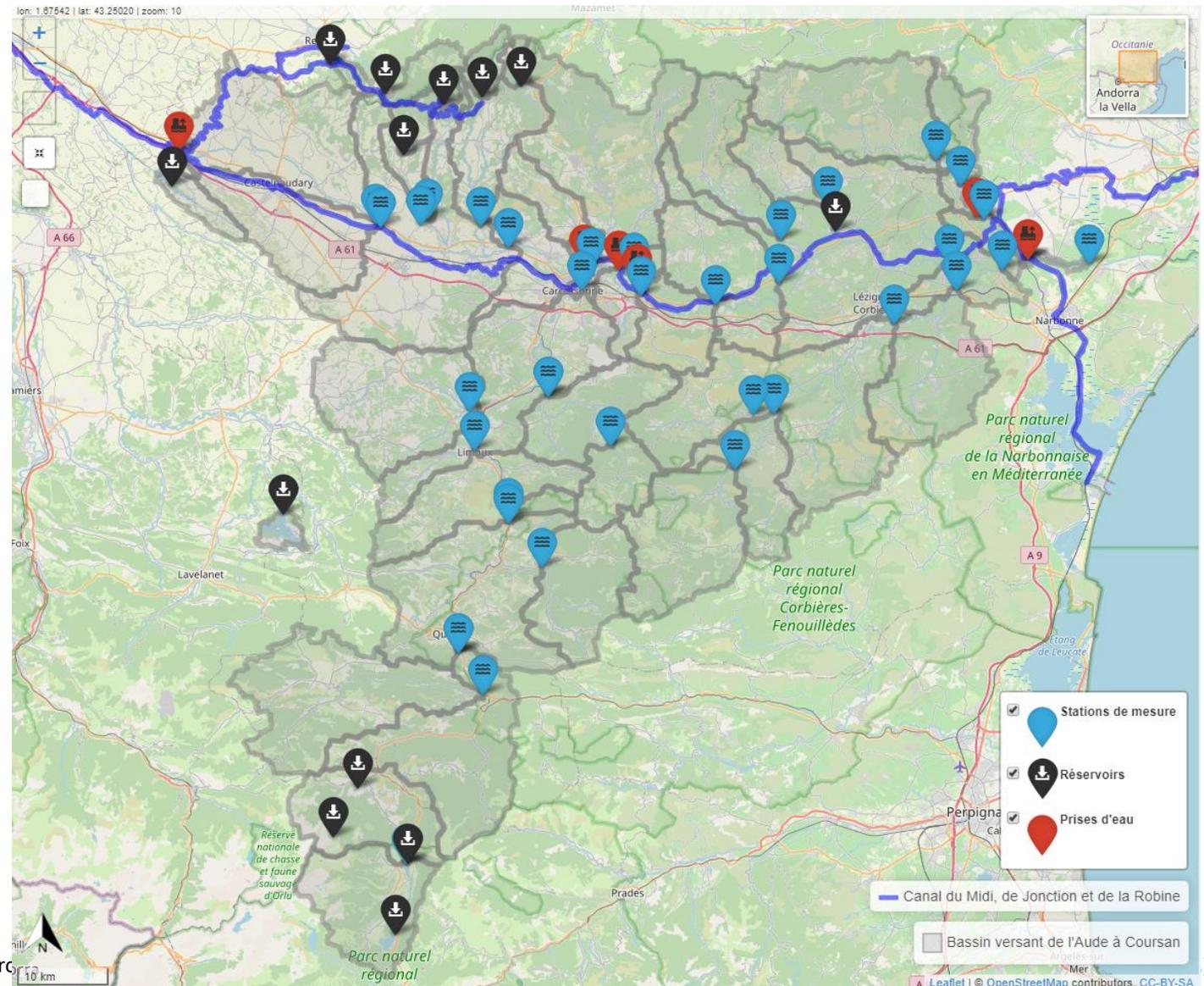
➤ Modélisation hydrologique du bassin versant de l'Aude

Modélisation du réseau hydrographique naturel et des canaux de navigation et de transport d'eau

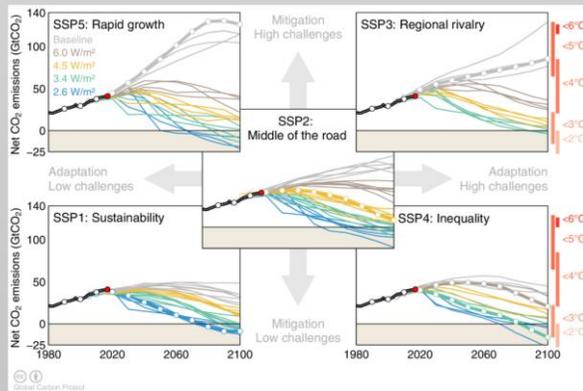
Un découpage géographique basé sur :

1. Les stations de jaugeage
2. Les prises d'alimentation des canaux
3. Les réservoirs

Carte interactive

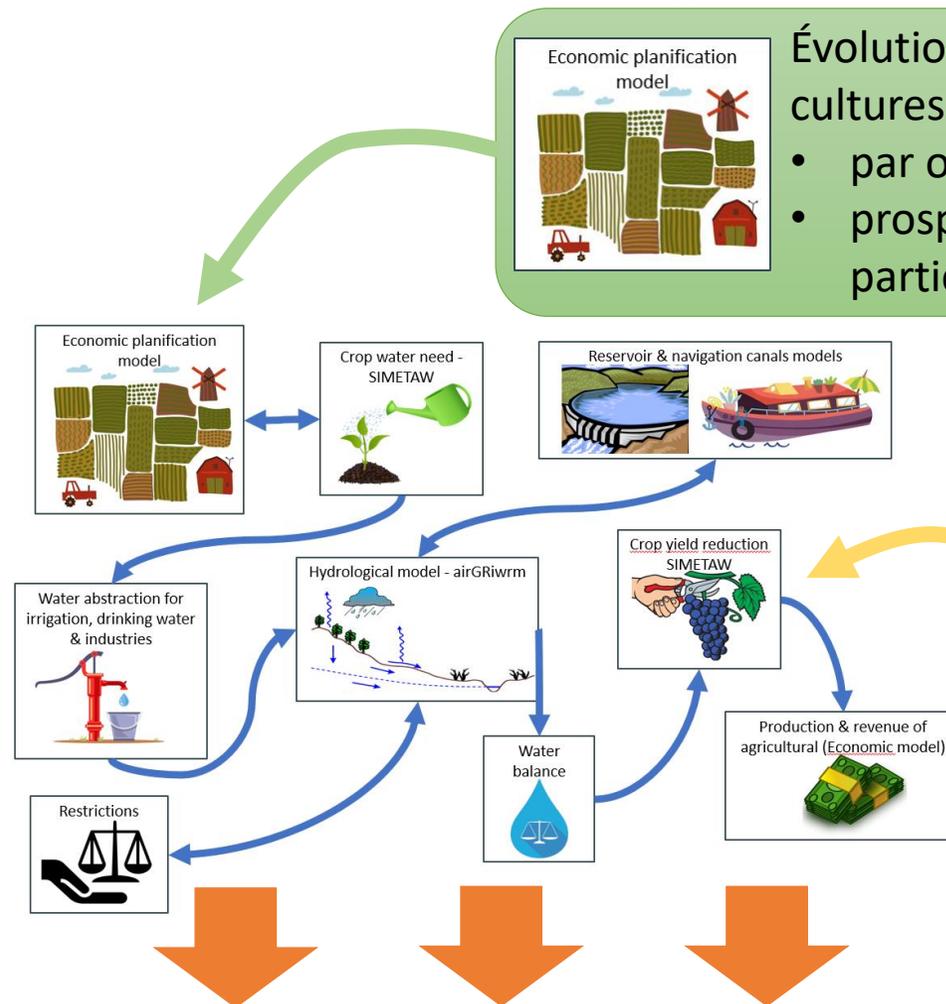


➤ Modèle intégré pour évaluer les stratégies d'adaptation



Forçages externes liés aux SSPs:

- Données climatiques
- Prélèvements d'eau potable
- Prélèvements industriels



Évolution de la répartition des cultures et des techniques

- par optimisation économique
- prospective issue des ateliers participatifs

Règles de gestions provenant des scénarios de stratégie d'adaptation élaborés par les acteurs :

- Politiques de l'eau
- Politiques agricoles (agroécologie, irrigation déficitaire...)

Évaluations des stratégies basées sur des indicateurs choisis par les acteurs :

- Hydrologie (ex : débits minimaux pour l'eau potable, la vie aquatique...)
- Économie (ex : quels sont les secteurs agricoles/techniques les plus résilients...)

➤ Les retombées du projet...

Le Projet de Territoire pour la Gestion de l'Eau (PTGE) de l'Aude

Démarré cet automne et porté par le SMAAR pour le bassin versant de l'Aude, de la Berre et du Rieu

Le PTGE est chargé d'insuffler une dynamique locale du territoire pour définir un cadre d'action qui permettra notamment de :

- réaliser un diagnostic des ressources disponibles et des besoins actuels et futurs des divers usages ;
- identifier des programmes d'actions possibles mettant en œuvre des actions d'économie d'eau pour tous les usages ;
- accompagner les agriculteurs dans la mise en œuvre de la transition agro-écologique ;
- assurer un partage équitable et durable de la ressource en servant en priorité les exigences de la santé, de la salubrité publique, de la sécurité civile et de l'alimentation en eau potable de la population ;
- mobiliser la ressource en période de hautes eaux, notamment par des ouvrages de stockage ou de transfert, quand c'est utile et durable.



Les résultats des ateliers, des analyses et des modélisations de Talanoa servent l'étude PTGE



TALANOA

- w a t e r -

<https://talanoa-water-france.hub.inrae.fr/>



➤ Merci pour votre attention :)

