



# ➤ Inondations, crues, de quoi parlons-nous ? Comment les prévoir, et quelle évolution future ?

Guillaume Thirel, hydrologue, INRAE, HYCAR  
3 décembre 2024 – Séminaire FNE

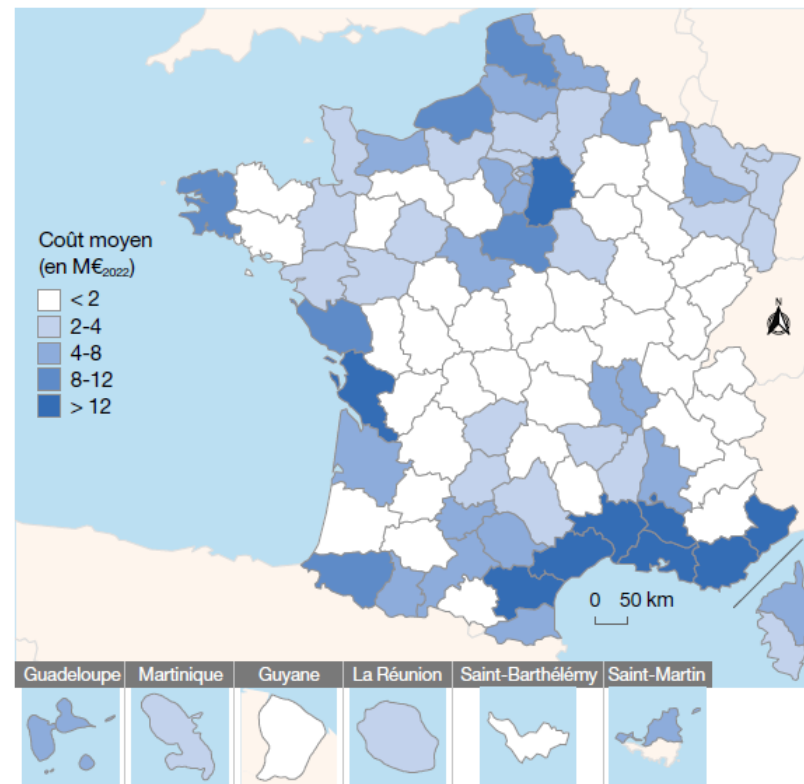
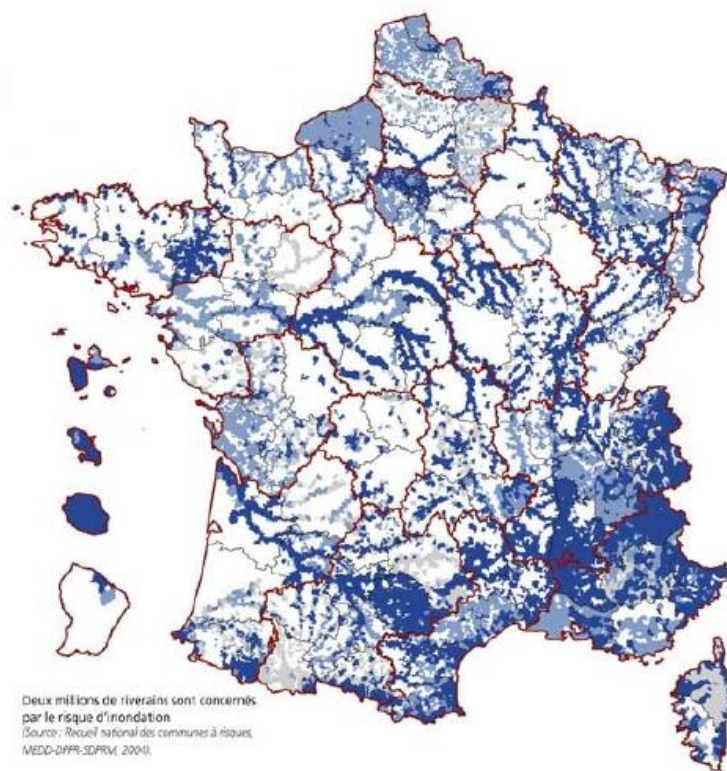
INRAE

➤ Inondations, crues, de quoi parlons-nous ?

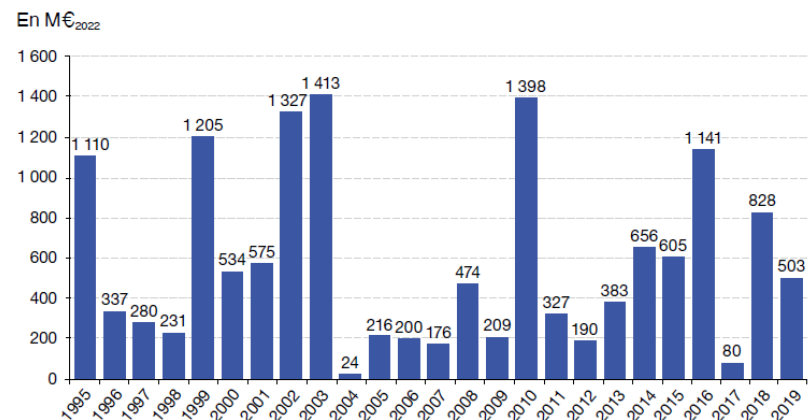


# ➤ Le risque inondation en France

Un risque important



INDEMNISATIONS VERSÉES POUR LES DOMMAGES ASSURÉS D'INONDATION ET DE SUBMERSION MARINE DE 1995 À 2019



INRAE

Séminaire FNE, Guillaume Thirel  
 3 décembre 2024

# ➤ Différents types d'inondations

## Débordement de grands cours d'eau



Paris, 1910

## Débordement de nappe



Somme, 2001

## Crues éclair



Trans-en-Provence, 2010

## Submersion marine



Côte Atlantique, 2010

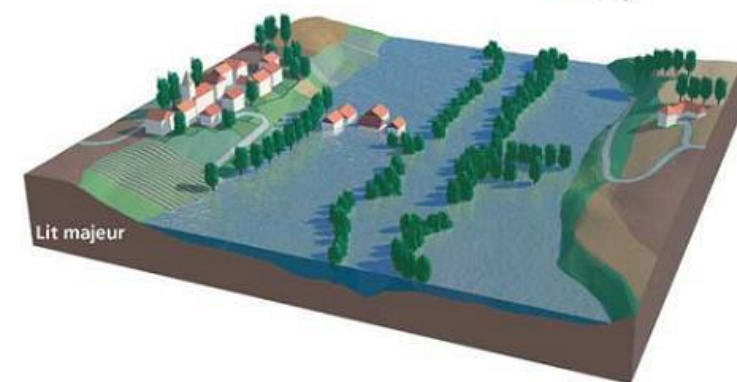
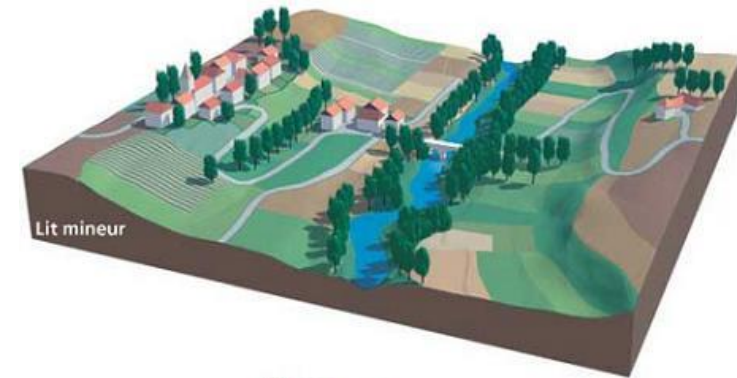
## ➤ Une crue ou une inondation ?

### Définitions

Crue = augmentation du débit de la rivière, et donc de la hauteur d'eau et de sa vitesse

Inondation = débordement d'eau en dehors du lit mineur de la rivière.

Une rivière peut être en crue, sans mener à une inondation !



INRAE

➤ Comment prévoir les crues ?



## ➤ Les acteurs de la prévision hydrologique en France

### A l'échelle nationale (MTES)

- Service central d'hydrométéorologie et d'appui à la prévision des inondations (SCHAPI)
- 22 services régionaux de prévision des crues (SPC)
- Collaboration avec Météo-France

### Autres

- Hydroélectricien.nes (EDF, CNR)
- Gestionnaires d'ouvrage (par ex. EPTB)
- Syndicats de rivières
- Collectivités
- Assureurs
- ...

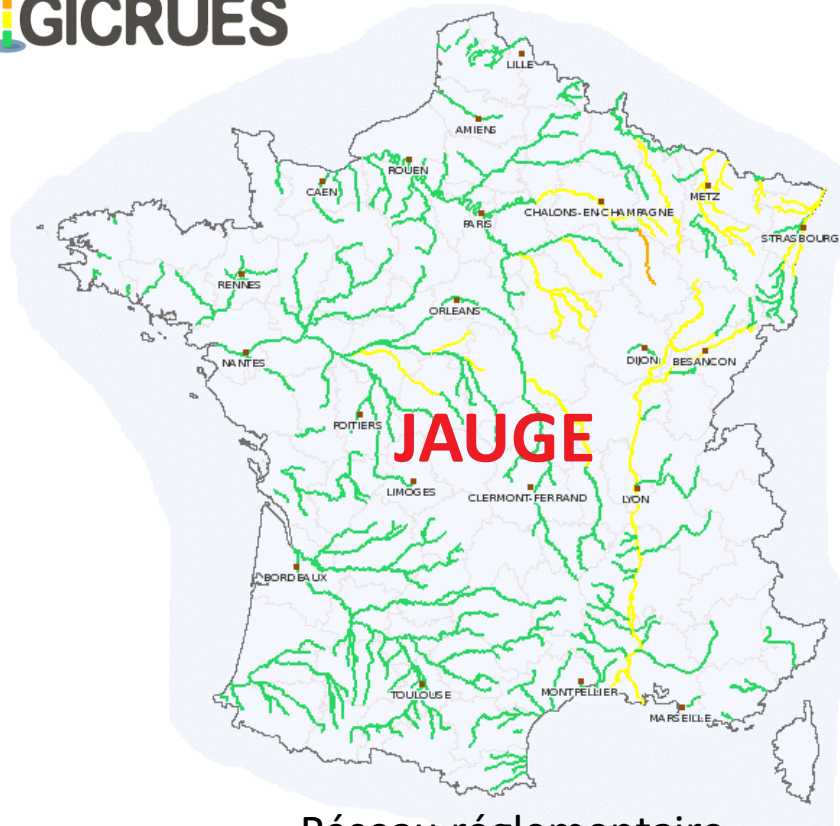


Carte des SPC

## ➤ Outils nationaux de prévision

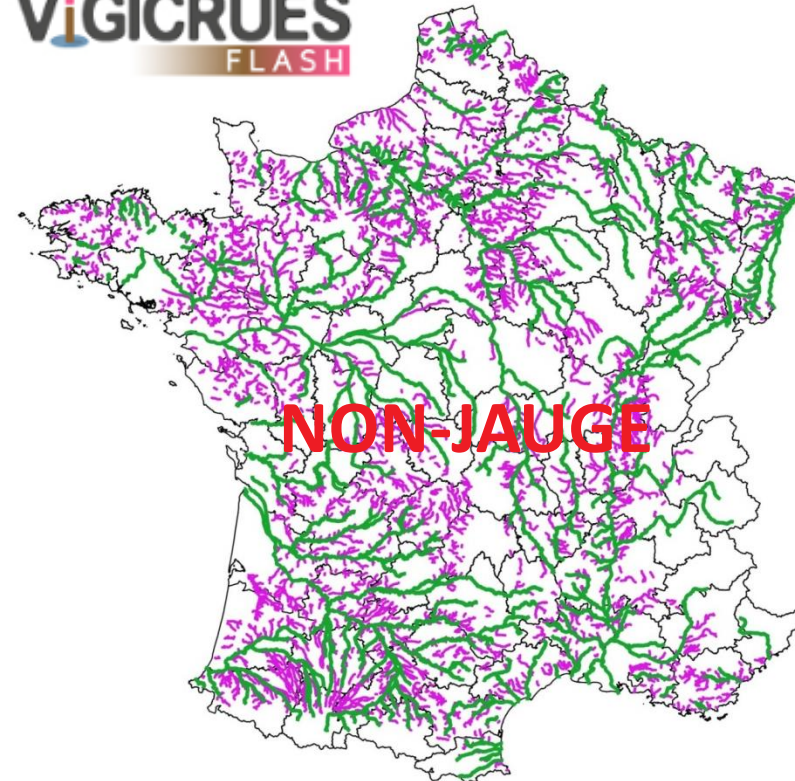
- Plateformes opérationnelles alimentées par des chaînes de prévision (dont modèles INRAE)
- Utilisateurs cibles variés : préfets, maires, sécurité civile, opérateurs de réseaux, gestionnaires d'ouvrage, grand public

**VIGICRUES**



Réseau réglementaire  
[www.vigicrues.gouv.fr](http://www.vigicrues.gouv.fr)

**VIGICRUES**  
FLASH



Hors réseau réglementaire  
<https://apic.meteo.fr>

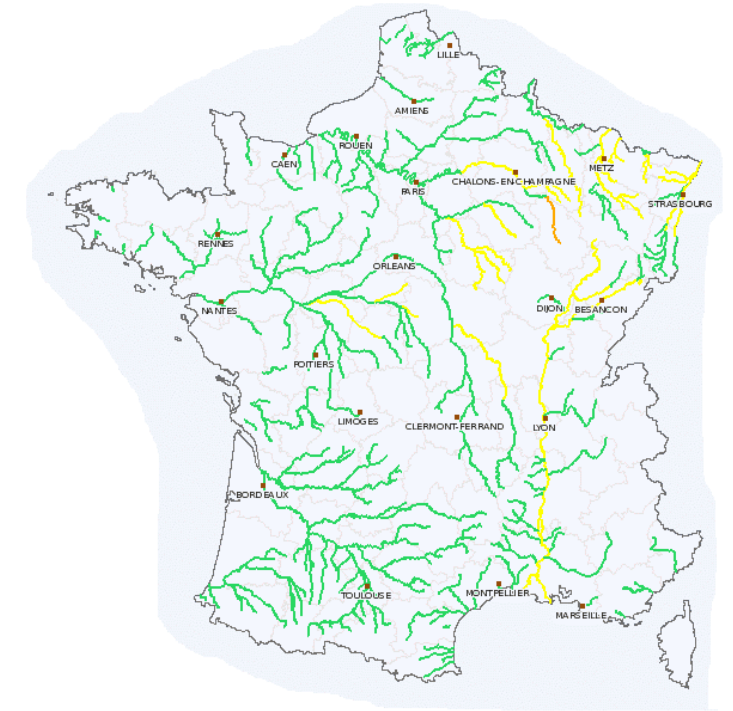
INRAE

Séminaire FNE, Guillaume Thirel  
3 décembre 2024



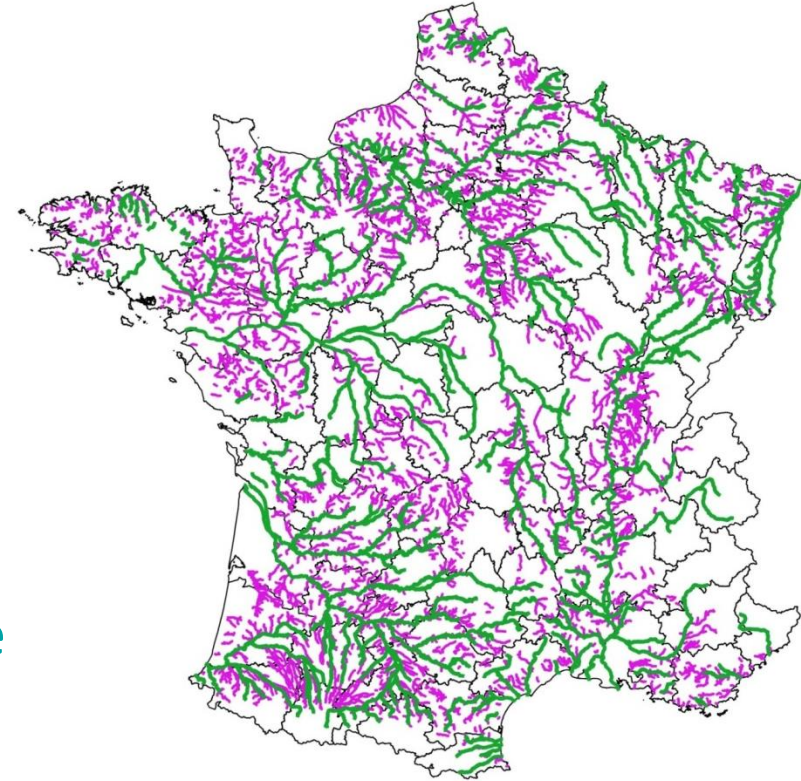
## ➤ Réseau « réglementaire »

- Pour certains cours d'eau, il existe une surveillance réglementaire
  - En métropole, 23 100 km surveillés, sur les 120 000 km de cours d'eau de plus de 1 m de largeur
  - 317 tronçons
  - couvre 75% de la population vivant en zones inondables
- Prévion grâce à de la modélisation avec expertise

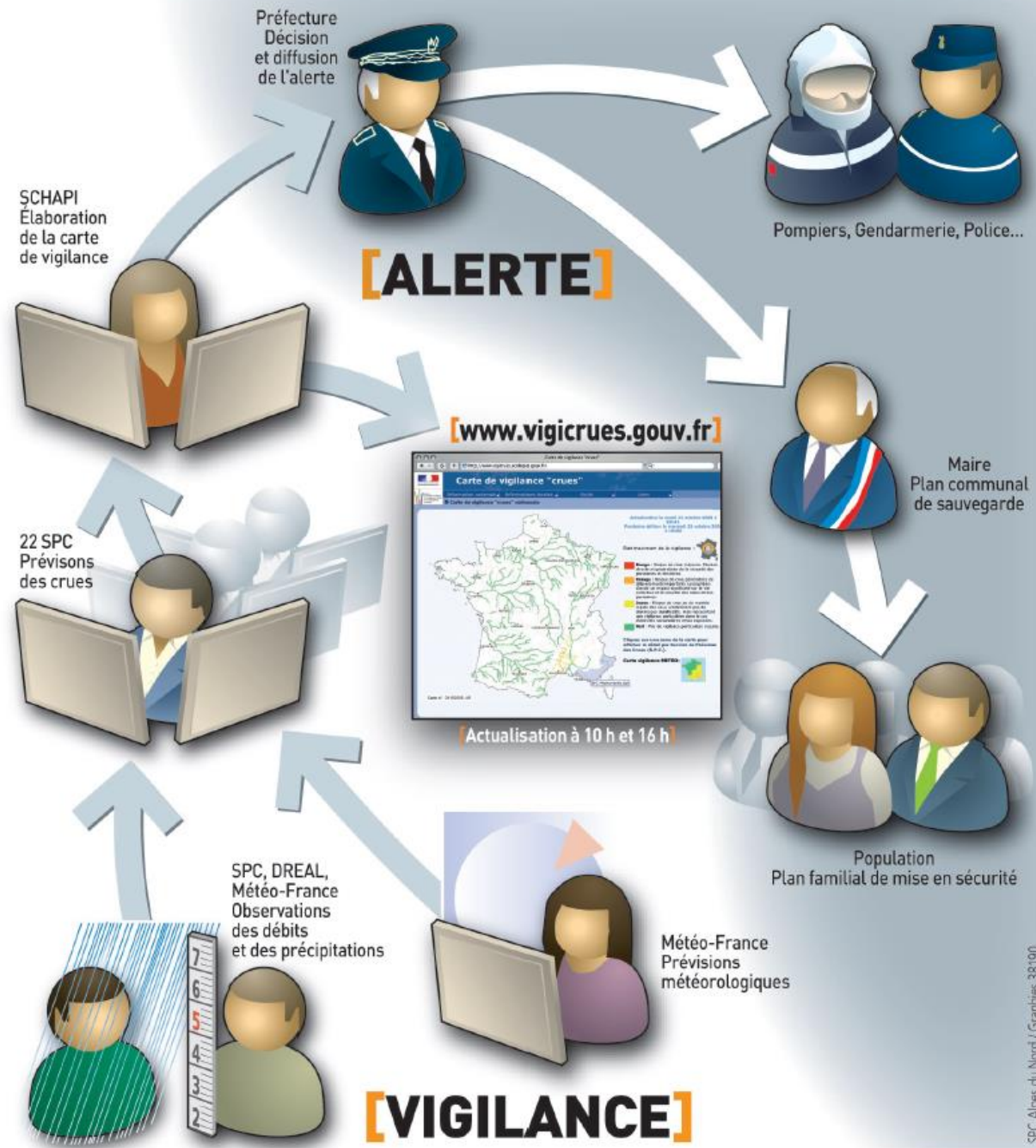


## ➤ Le réseau Vigicrues Flash

- Un service national d'avertissement sur les crues soudaines
- Une sélection de bassins versants hors vigilance, avec des temps de réaction supérieur à 1h30.
- Système automatique d'avertissement basé sur une modélisation pluie-débit
- Chaîne directe vers les acteurs de crise (préfectures, collectivités, opérateurs de services publics...) et visualisation cartographie grand public
- Service gratuit couplé avec le service APIC de Météo-France (Avertissements Pluies Intenses à l'échelle des Communes)



# ➤ Qui fait quoi ?



SPC Alpes du Nord / Graphies 38190



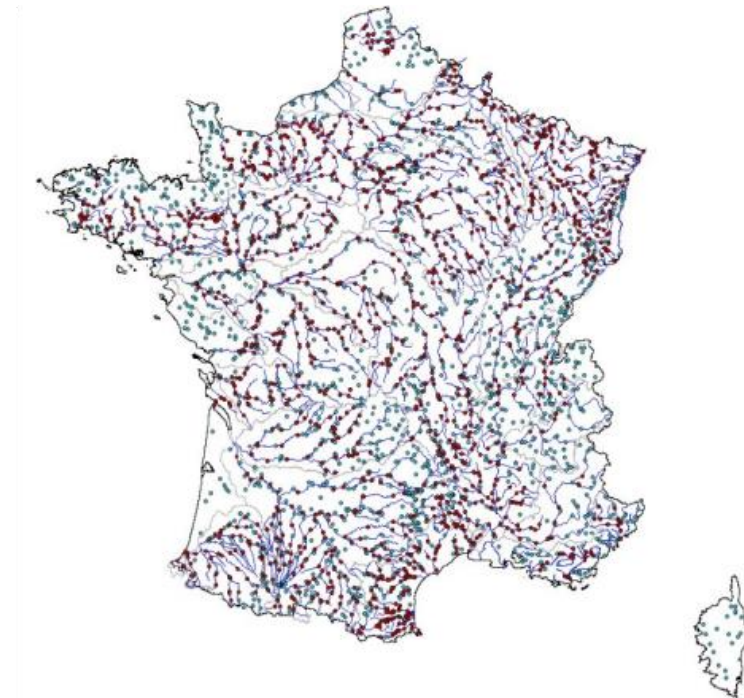
INRAE

Séminaire FNE, Guillaume Thirel  
3 décembre 2024

## ➤ Observation des hauteurs d'eau et des débits

Réseau de stations hydrométriques automatisées :

- 3000 stations de mesures sur l'hexagone dont 1700 collectées en temps réel + des mesures manuelles régulières pour caler / valider la relation hauteur ↔ débit (estimation du débit à partir d'une hauteur)



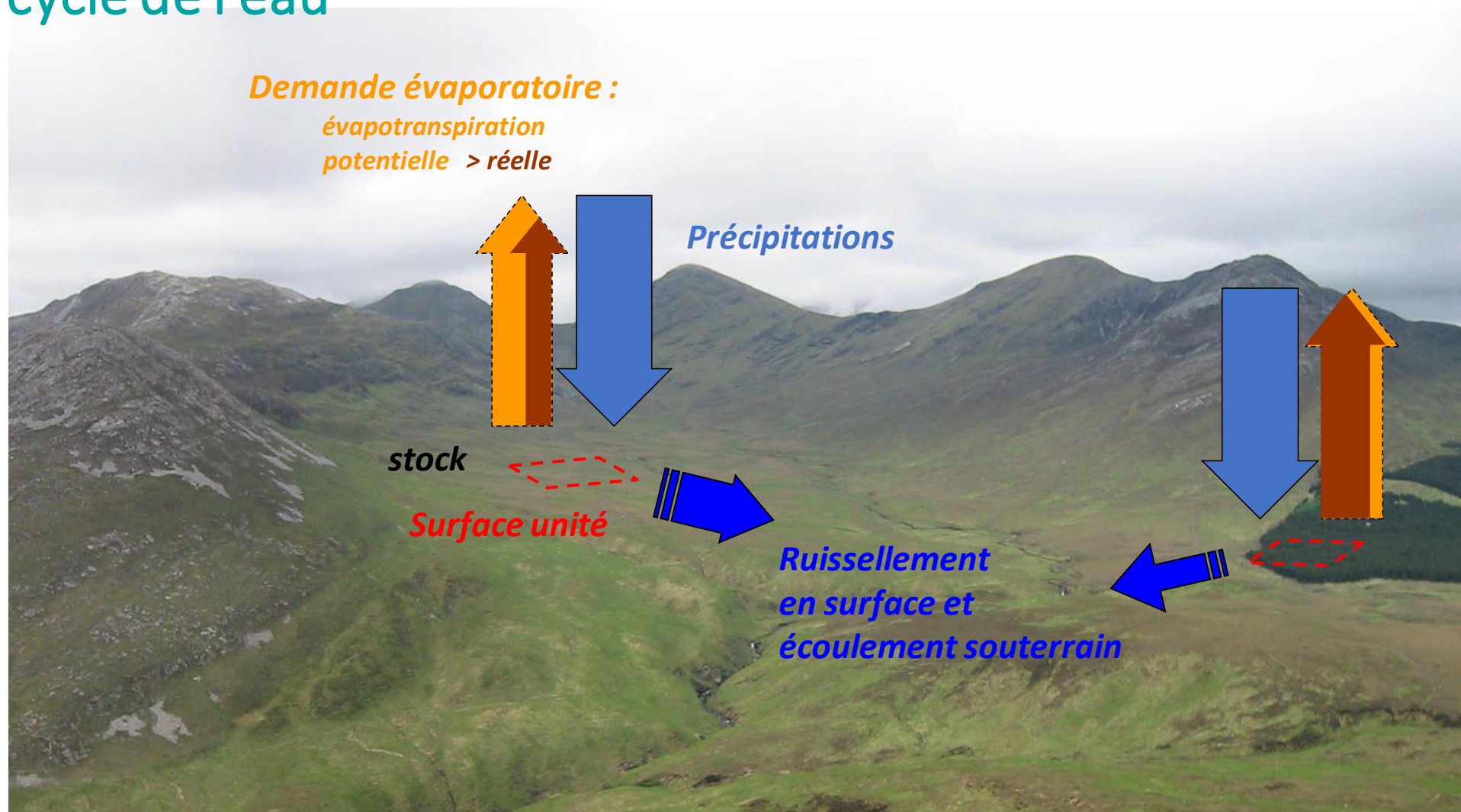
## ➤ La question des échéances en prévision des crues

Plus on remonte le cycle de l'eau, plus les échéances de prévision peuvent être lointaines :

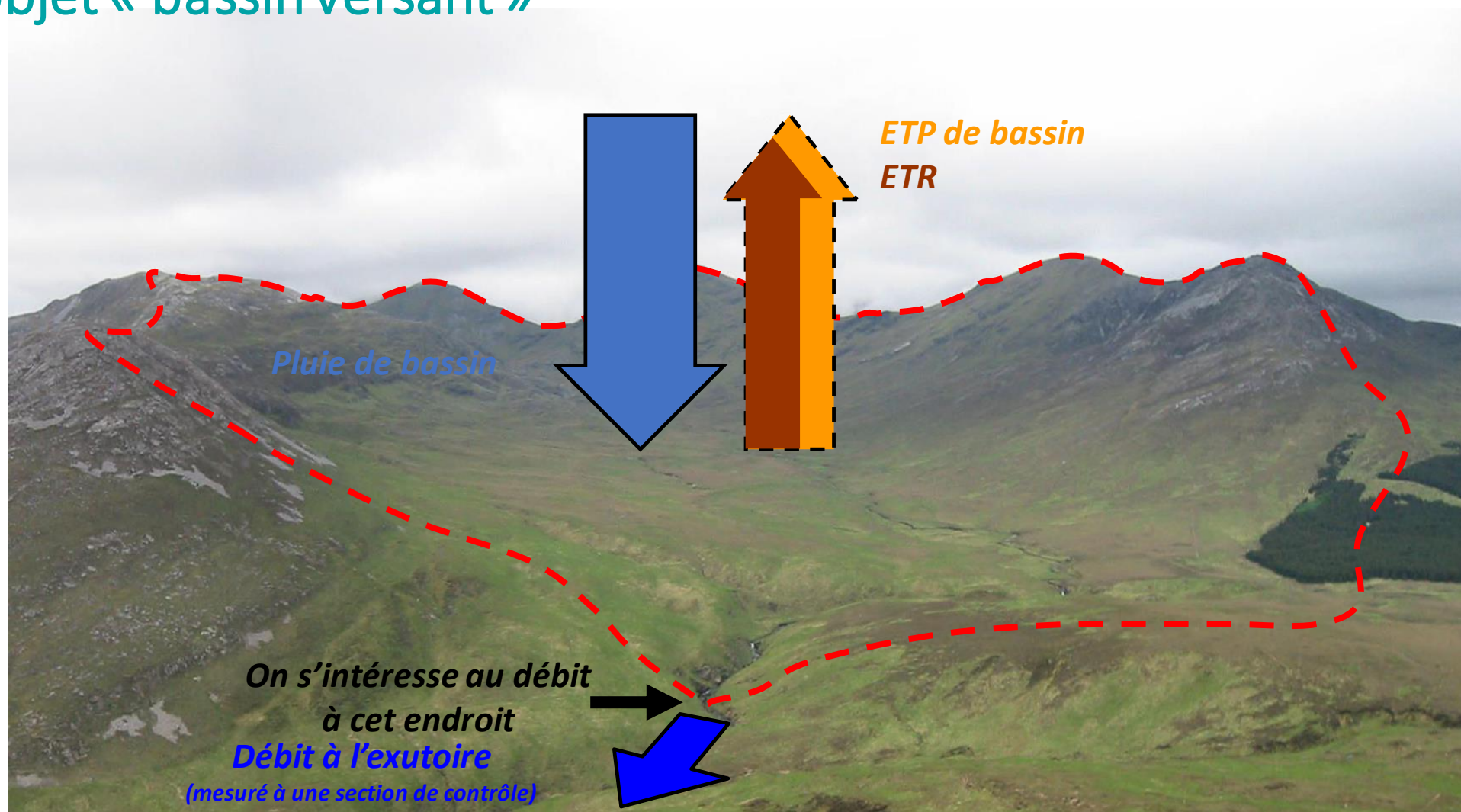
- Eau déjà dans la rivière : prévision hydraulique
  - Difficultés : mesure du débit amont, distribution des temps de parcours, impact des débordements
- Pluie tombée sur le bassin versant
  - Difficultés : mesure des pluies, calcul du rendement des pluies
- Pluie prévue : prévision météorologique
  - Difficultés : estimation lame d'eau précipitée (intensités & localisation précise)

Plus on remonte le cycle de l'eau... plus les incertitudes de prévision sont importantes... mais plus on est en capacité d'anticiper

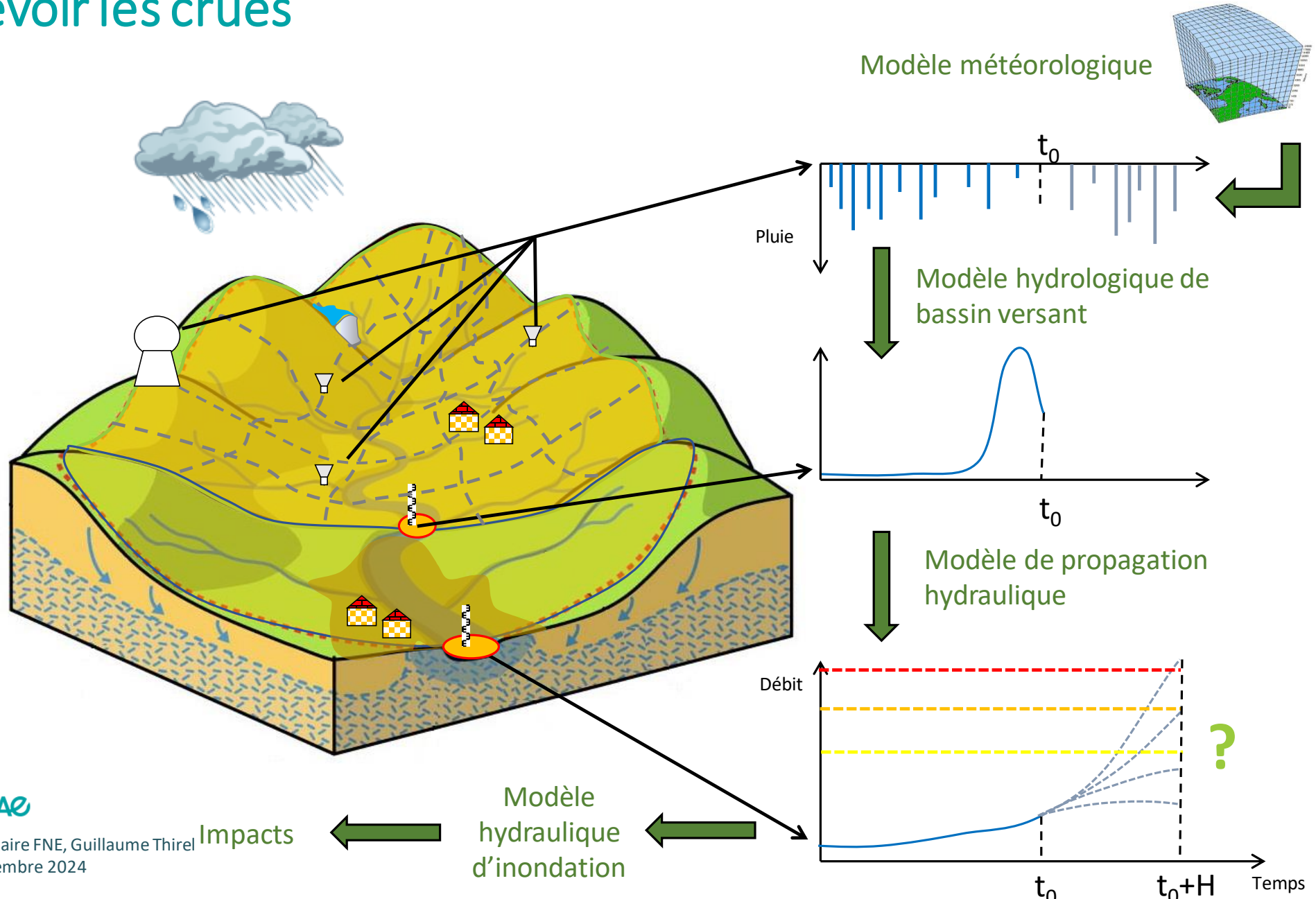
## ➤ Le cycle de l'eau



## ➤ L'objet « bassin versant »



# ➤ Prévoir les crues





## ➤ La base de données des repères de crues

### Mémoire des événements passés

- Consultation de repères anciens (localisation, hauteur...)
- Saisie de données nouvelles

<https://www.reperesdecruces.developpement-durable.gouv.fr/>



## ➤ La base de données des repères de crues

The screenshot displays the 'Repères de crues' (Flood Markers) website. At the top left, it features the logos for 'RÉPUBLIQUE FRANÇAISE' and 'VIGICRUES', along with the text 'Repères de crues' and 'Plateforme nationale collaborative'. On the top right, there are links for 'Se connecter' and 'Créer un compte'. Below the header, there are navigation options: 'Rechercher', 'Contribuer', 'En savoir plus', and 'Nouveautés'. The main content area has two search tabs: 'Recherche par repère' (selected) and 'Recherche par site'. On the left, there are filter sections: 'Unité de gestion' (set to 'Indifférent'), 'Autour de moi' (unchecked), 'Département' (set to 'Choisir'), and 'Commune'. On the right, a map shows the distribution of flood markers, with a text overlay indicating '84013 résultat(s) trouvé(s)' and a tip: 'shift + clic pour sélectionner plusieurs éléments sur la carte'. A 'zoomer sur...' search bar is also visible above the map.



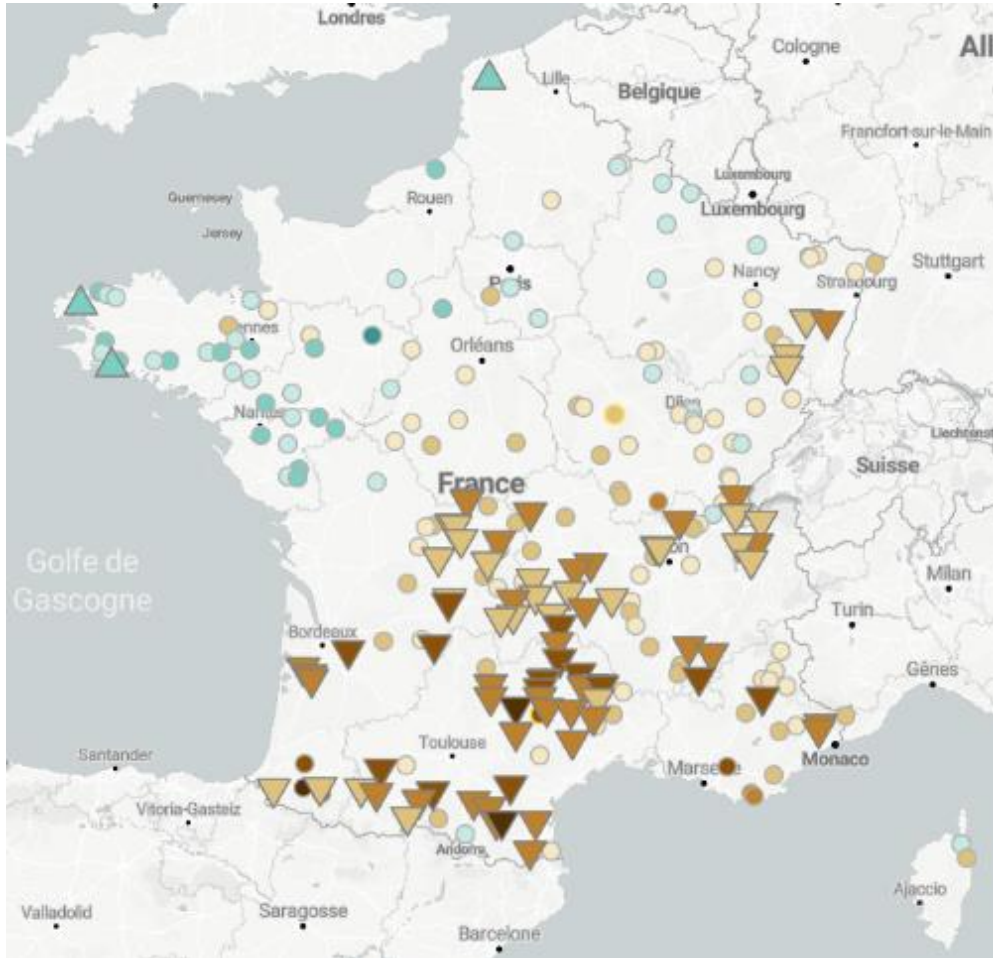
INRAE

➤ Quelle évolution des crues ?

INRAE

➤ Evolution des débits passés

## ➤ Tendances sur les débits moyens observés

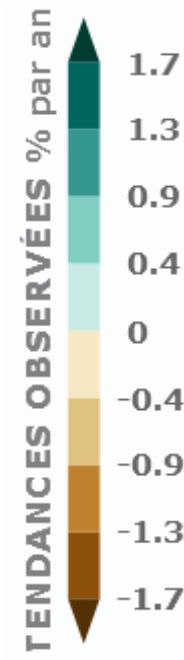
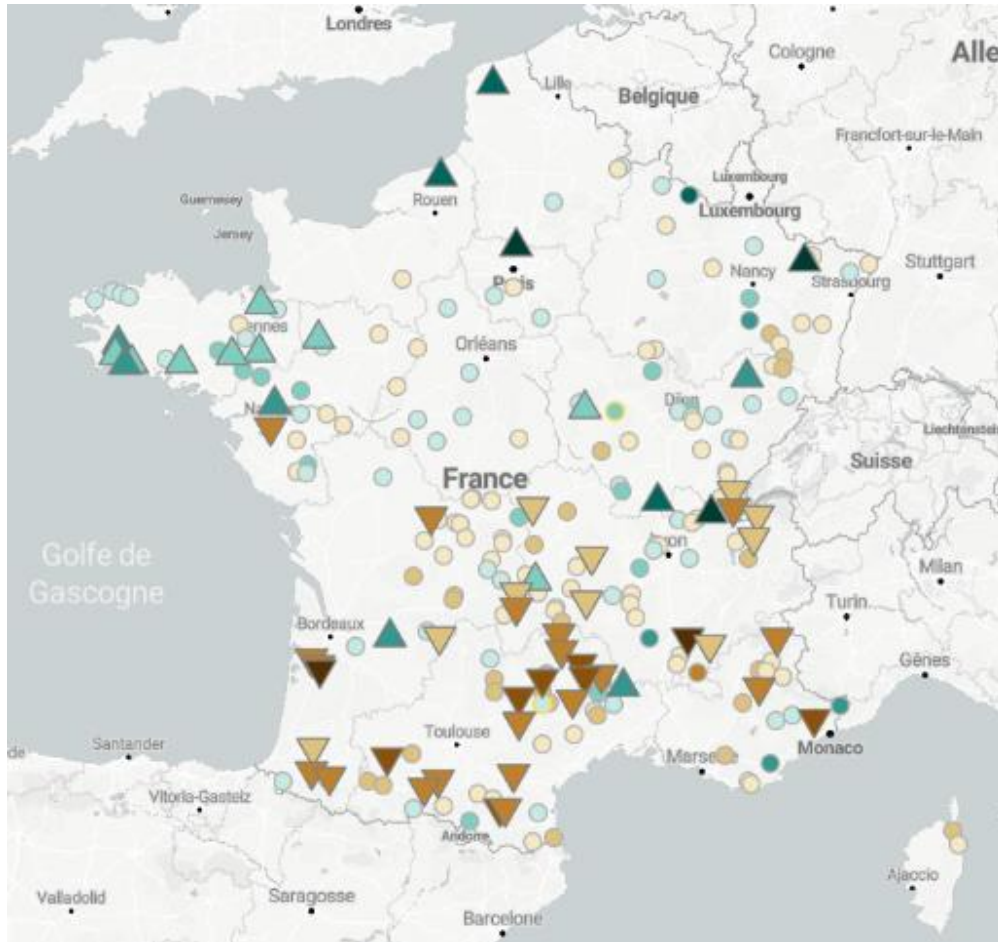


### Evolution des débits annuels observés sur 1968-2018

- Tendence à une nette baisse sur la moitié Sud
- Tendances non significatives sur le Nord

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

## ➤ Tendances sur les débits de crue observés



### Evolution des QJXA (débit journalier max annuel) observés sur 1968-2018

- Tendance à la baisse sur une petite moitié Sud
- Quelques augmentations au Nord et à l'Ouest

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

INRAE

➤ Evolution future des débits et eaux souterraines

Projet Explore2

INRAE

➤ Evolution du climat

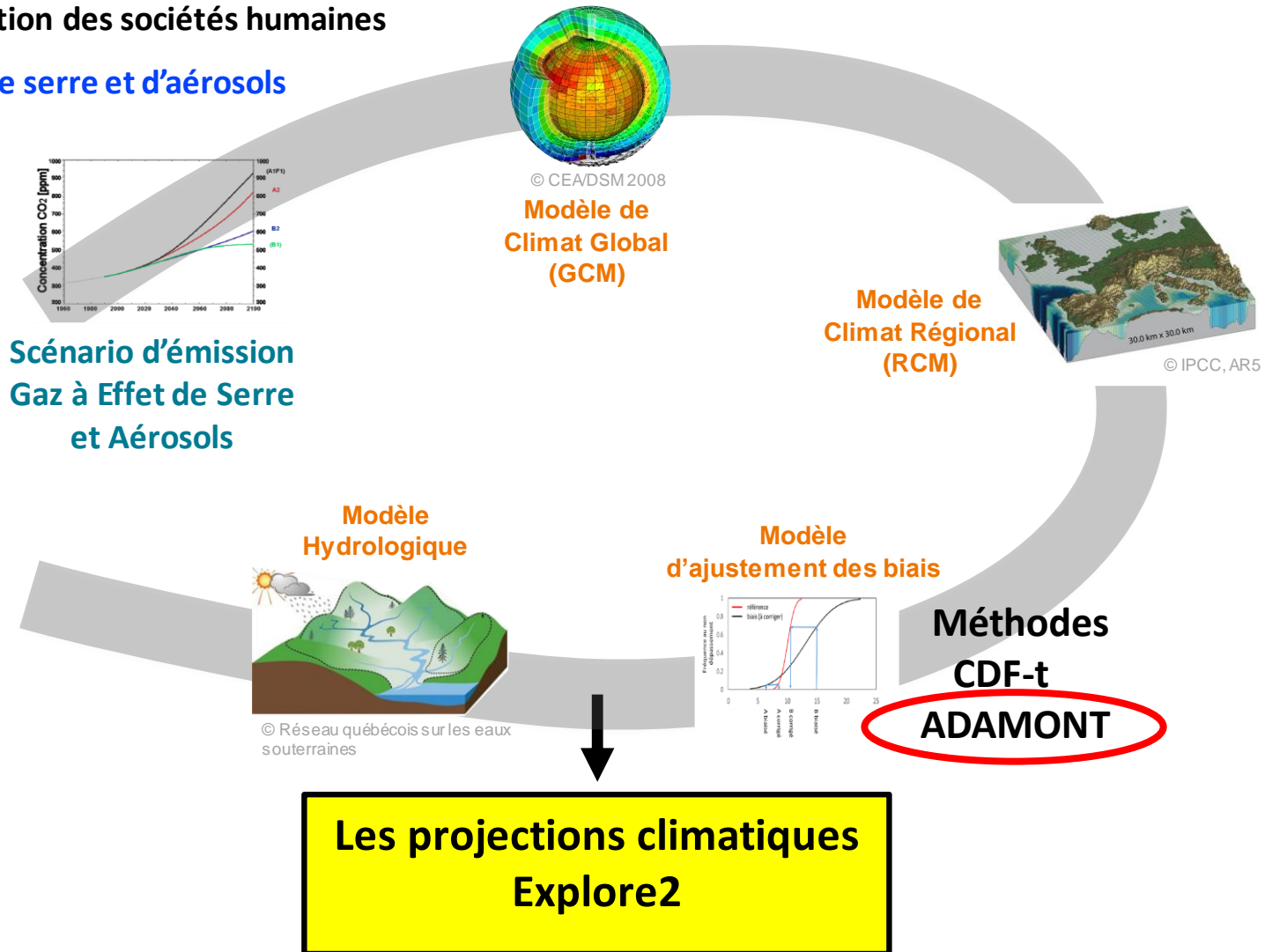




# LA CHAÎNE DE MODÉLISATION EXPLORE2

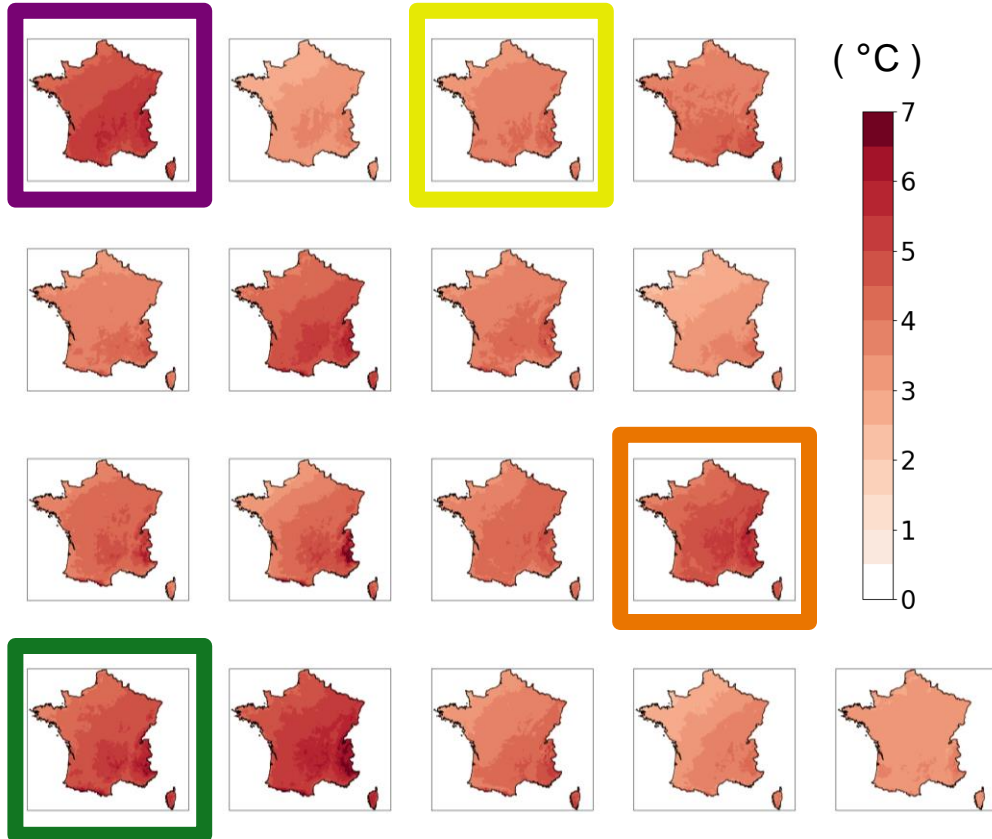
3 scénarios futurs possibles d'évolution des sociétés humaines

- Émissions faibles de gaz à effet de serre et d'aérosols
- Émissions modérées
- Émissions fortes



# EVOLUTIONS CLIMATIQUES

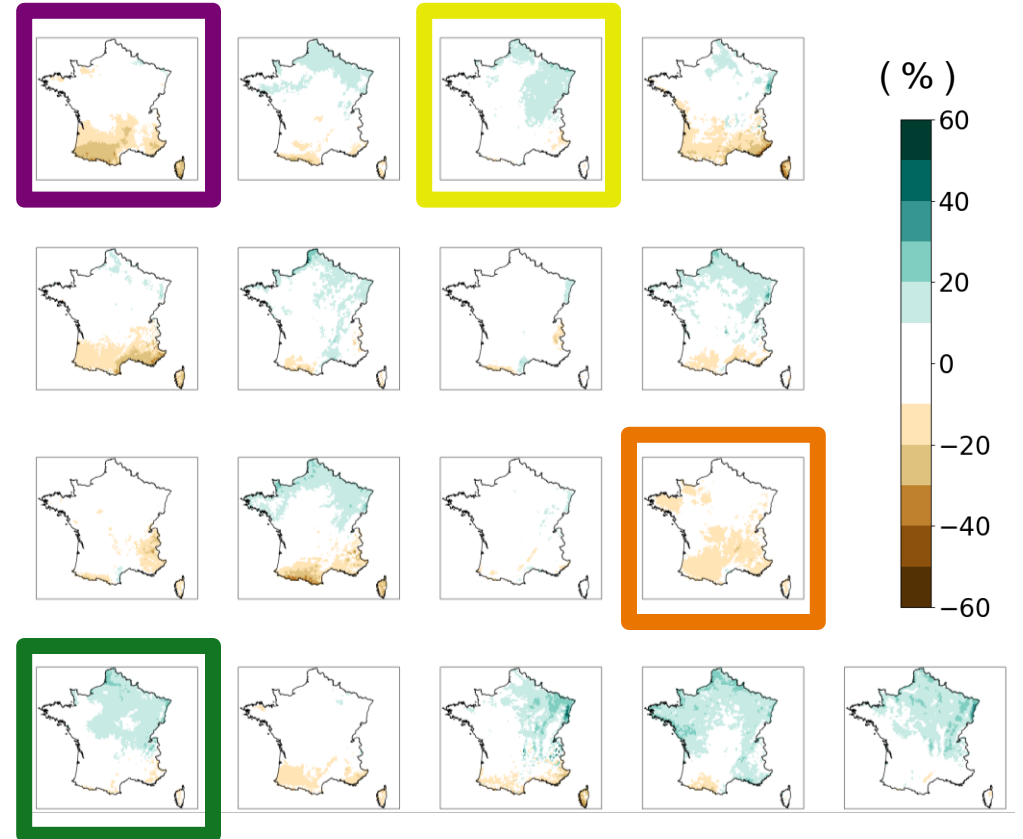
## Température moyenne annuelle



**Violet** : fort réchauffement et fort contraste saisonnier en précipitations

**Orange** : fort réchauffement et fort assèchement en été

## Précipitations moyennes annuelles



**Vert** : réchauffement marqué et augmentation des précipitations

**Jaune** : changements futurs relativement peu marqués



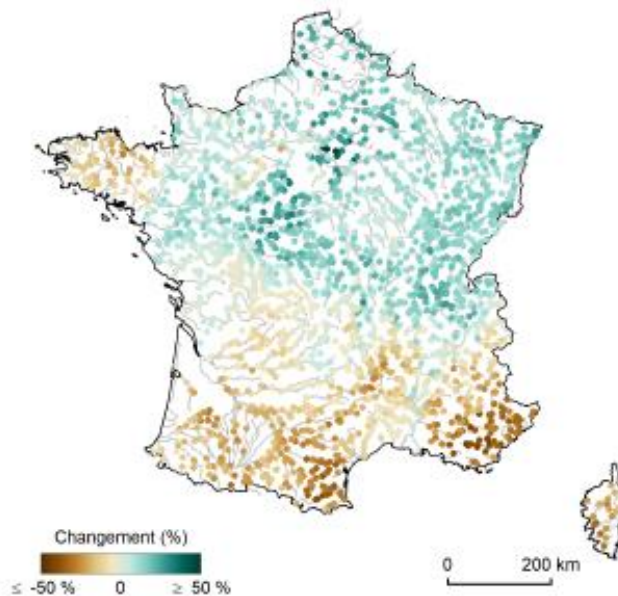
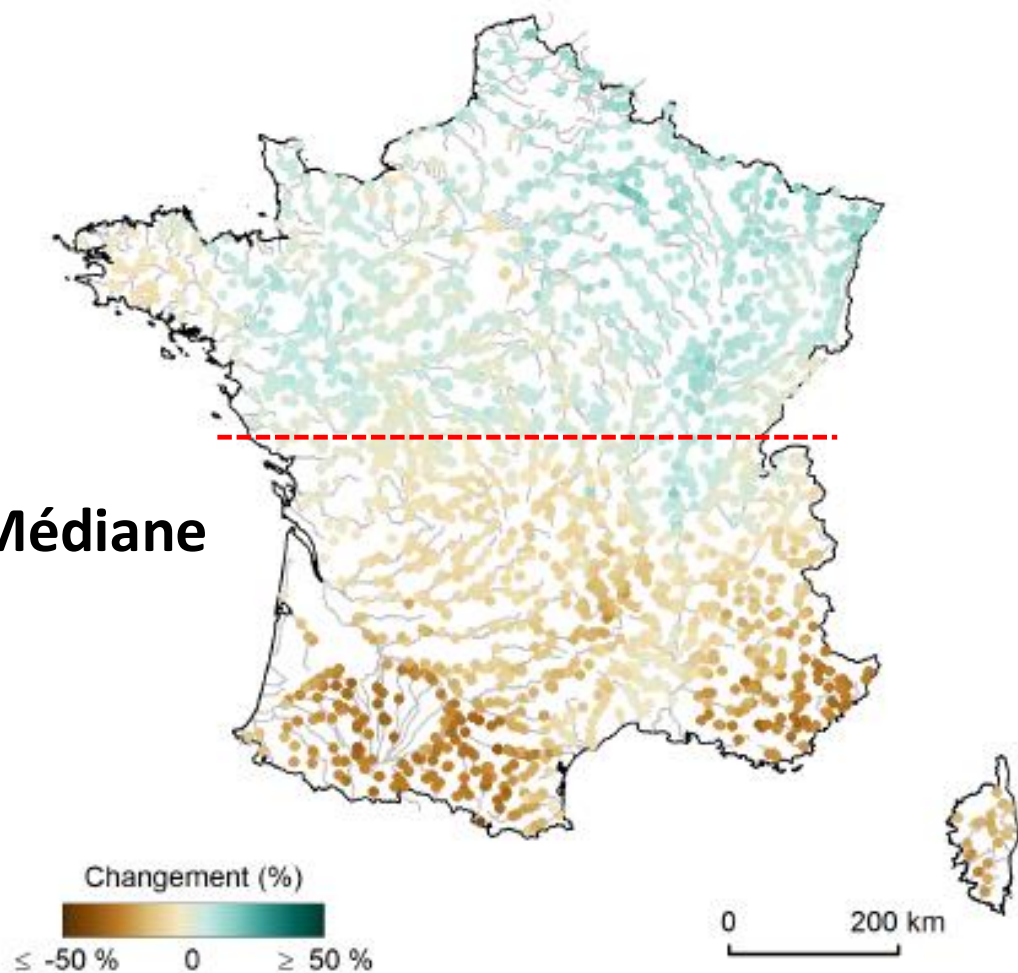
INRAE

➤ Evolution des débits

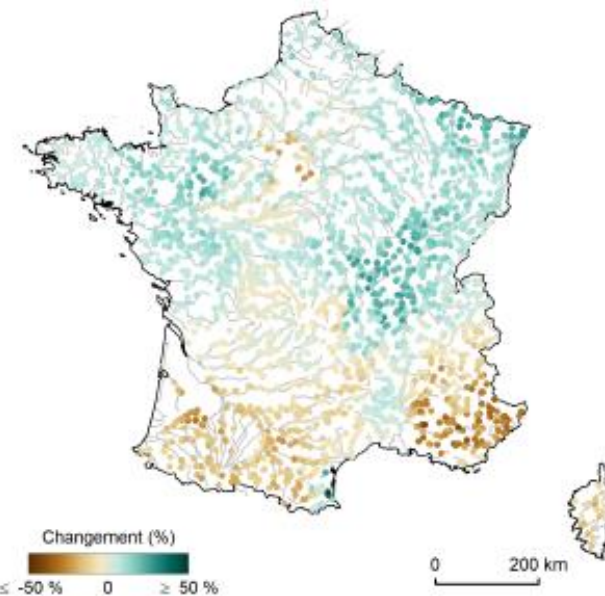


# ➤ Débit Annuel

Médiane

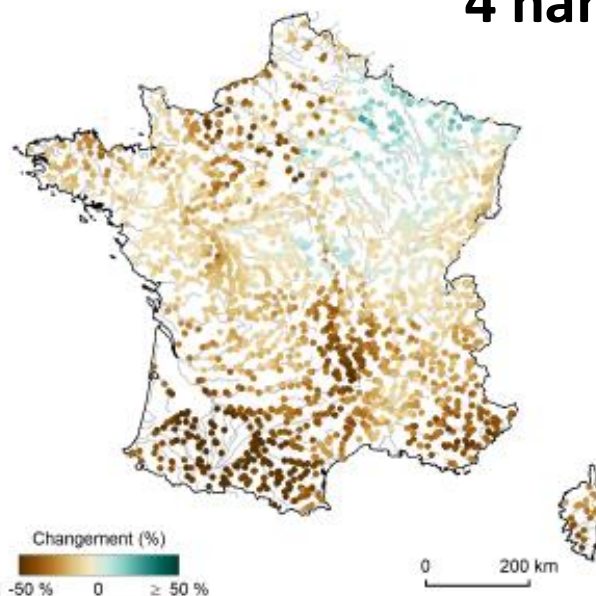


(a) vert

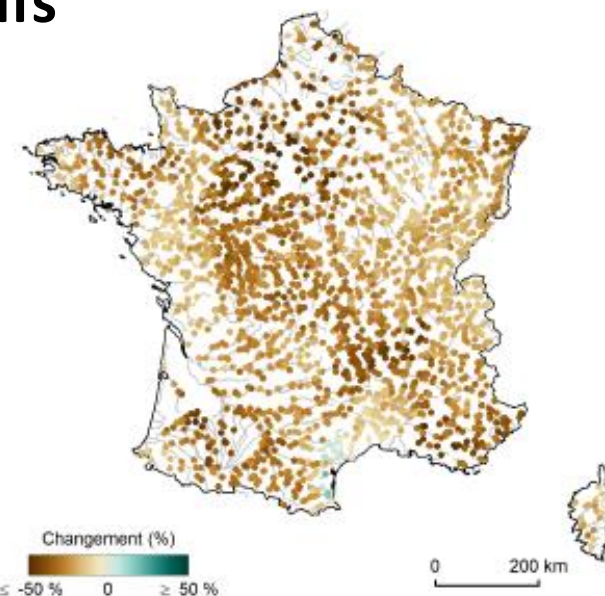


(b) jaune

4 narratifs



(c) violet



(d) orange

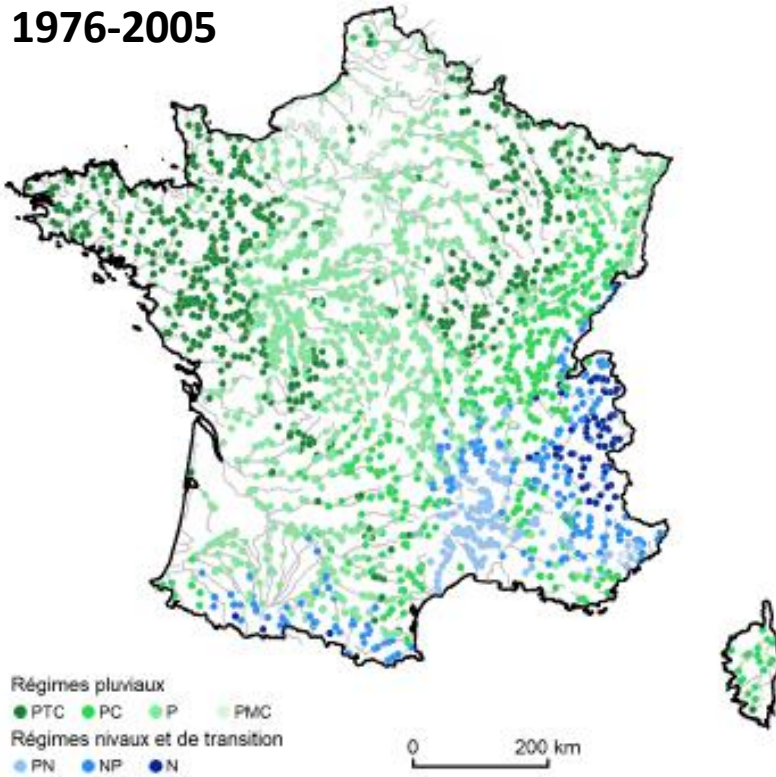


INRAE

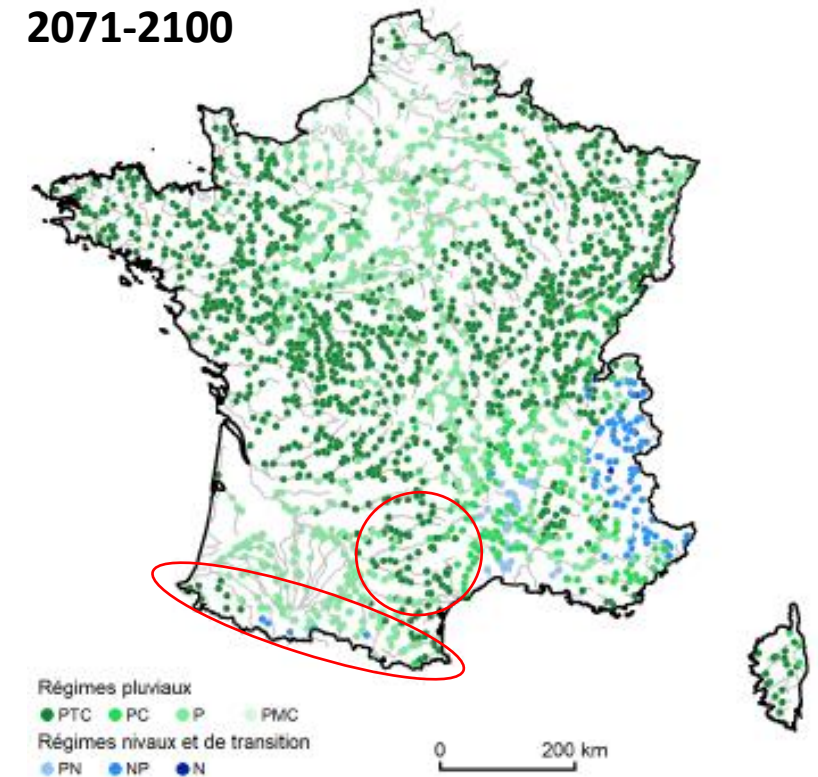
Séminaire FNE, Guillaume Thirel  
3 décembre 2024

# ➤ Régimes Hydrologiques – Evolutions Futures (RCP8.5)

1976-2005

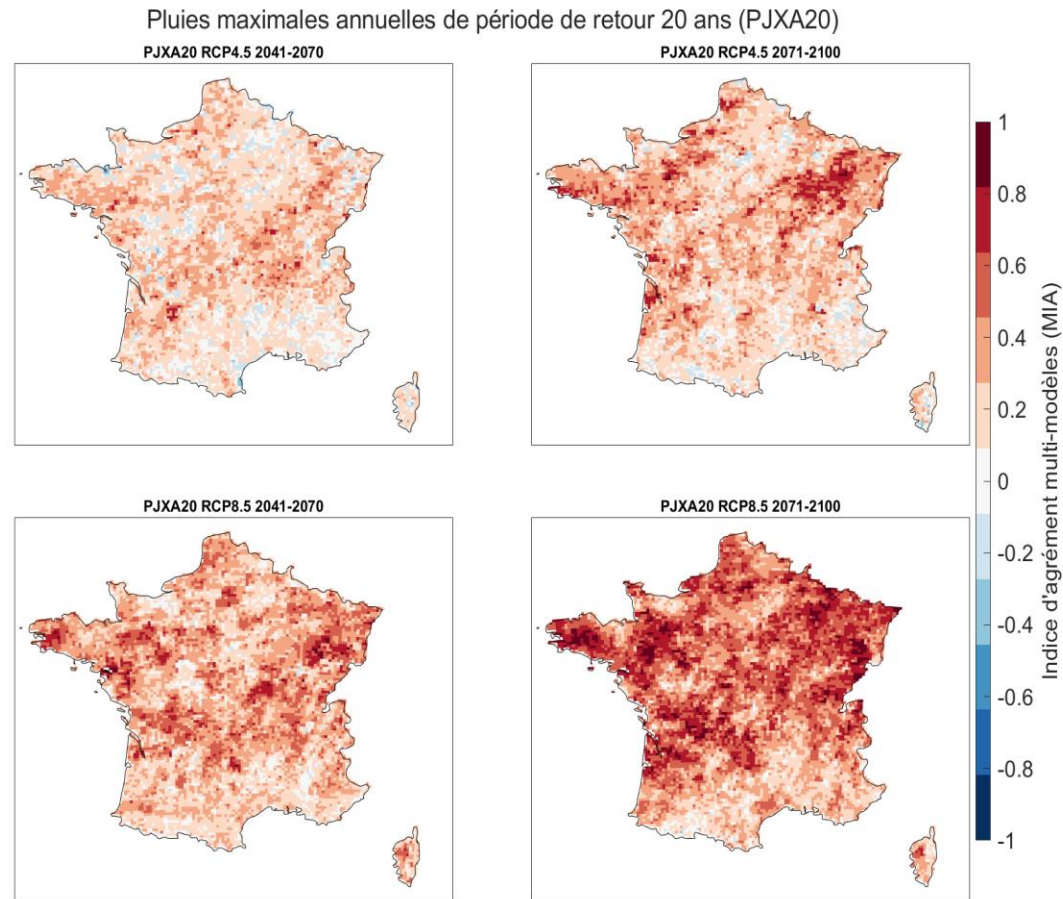


2071-2100

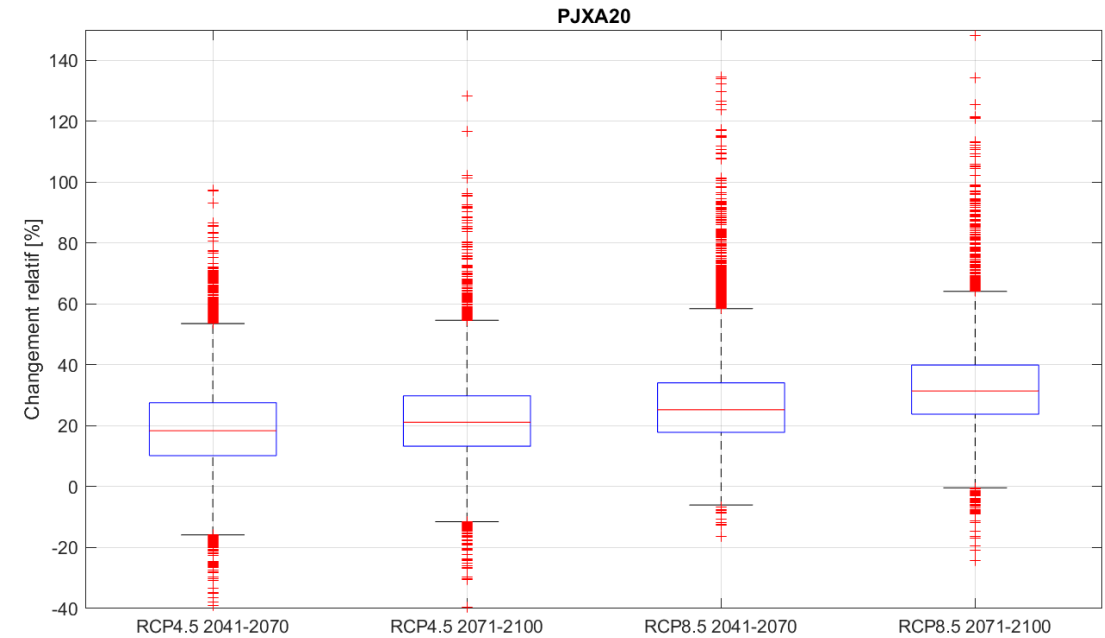


**Augmentation du pluvial très contrasté car baisse des bas débits**  
**Diminution du nival à pluvio-nival car moins de neige et de fonte**

# ➤ Scénarios sur les Pluies maximales annuelles de période de retour 20 ans

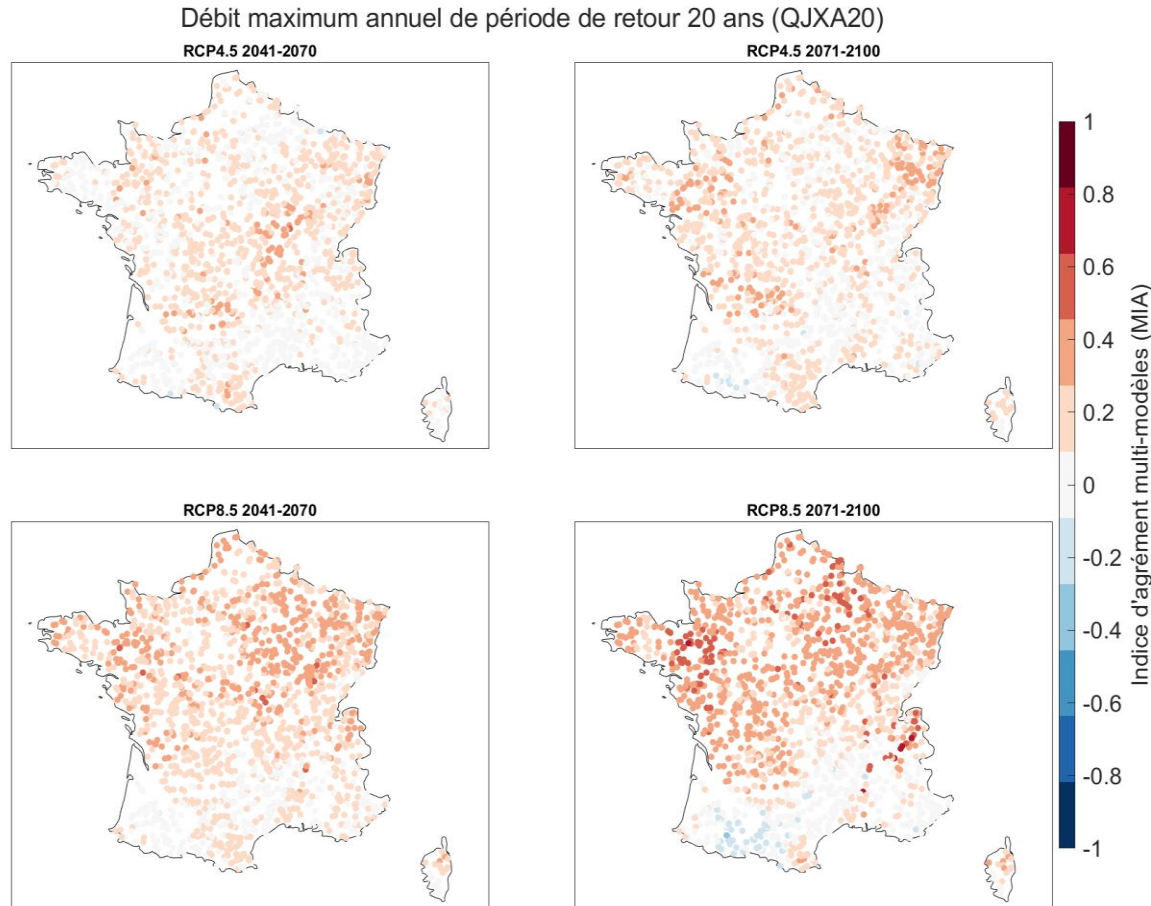


Accord entre modèles

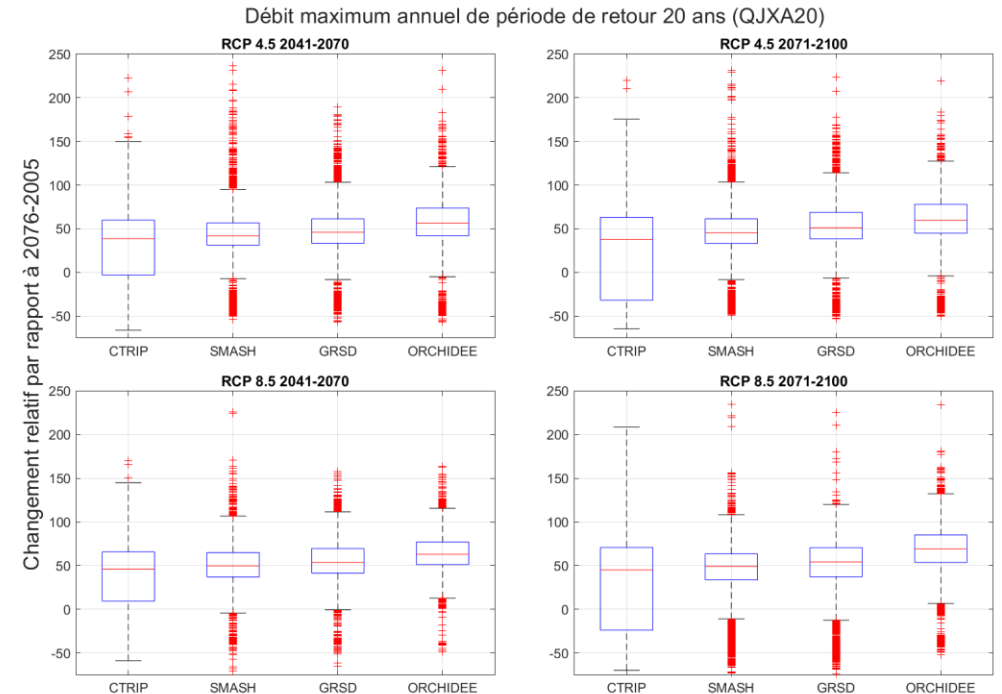


**Forte convergence entre les modèles,  
signal médian de l'ordre de +20%**

# ➤ Scénarios sur les débits maximums annuels de période de retour 20 ans



Convergence des scénarios pour 1739 bassins avec 3 modèles



**Faible convergence entre les modèles (max 50%), signaux à la hausse mais peu robustes**

Cependant, projections réalisées insuffisantes pour les têtes de bassins, dont la dynamique de crue est infra-journalière

INRAE

➤ Ressources (données et rapports)



# ► Une production technique pour un accompagnement à la prise en main des données

**EXPLORE2**  
Des futurs de l'eau

**PROJECTIONS HYDROLOGIQUES SOUTERRAINES SUR LE DOMAINE DE LA PLATEFORME AQUIFER – NORD PAS-DE-CALAIS, BASSE-NORMANDIE, BASSIN PARISIEN, LOIRE, POITOU-CHARENTES, ALSACE, TARN-ET-GARONNE**

Alexis JEANTET, CNRM  
Jean-Pierre VERGNES, BRGM  
Simon MUNIER, CNRM  
Florence HABETS, ENS-IPSL

28/06/2024

Avec le soutien financier de :




**EXPLORE2**  
Des futurs de l'eau

**QUELLES ÉVOLUTIONS DES RÉGIMES HYDROLOGIQUES EN FRANCE HEXAGONALE ?**

Éric SAUQUET, INRAE  
Laurent STROHMENGER, INRAE  
Guillaume THIREL, INRAE  
Matthieu LE LAY, EDF

17/06/2024

Avec le soutien financier de :




**EXPLORE2**  
Des futurs de l'eau

**ENSEMBLE DE PROJECTIONS EXPLORE2 : CHANGEMENTS MOYENS ET INCERTITUDES ASSOCIÉES**

Guillaume EVIN, INRAE-IGE  
Benoît HINGRAY, CNRS-IGE  
Alix REVERDY, CNRS-IGE  
Agnès DUCHARNE, CNRS-IPSL  
Eric SAUQUET, INRAE

15/06/2024

Avec le soutien financier de :




**EXPLORE2**  
Des futurs de l'eau

**SCENARIOS D'EXTREMES HYDROLOGIQUES**

Yves TRAMBLAY, IRD  
Eric SAUQUET, INRAE  
Patrick ARNAUD, INRAE  
Fabienne ROUSSET, Météo-France  
Jean-Michel SOUBEYROUX, Météo-France  
Alexis JEANTET, CNRM  
Simon MUNIER, CNRM  
Jean-Pierre VERGNES, BRGM

28/06/2024

Avec le soutien financier de :

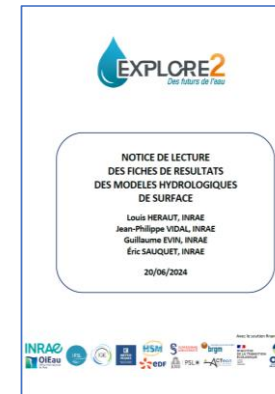
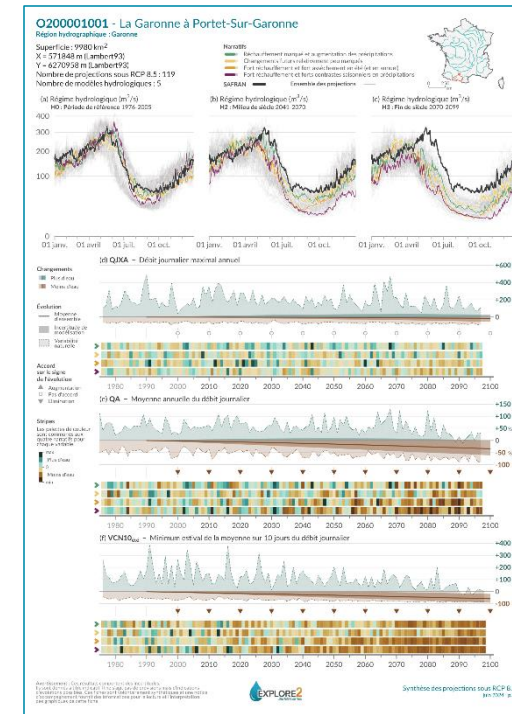
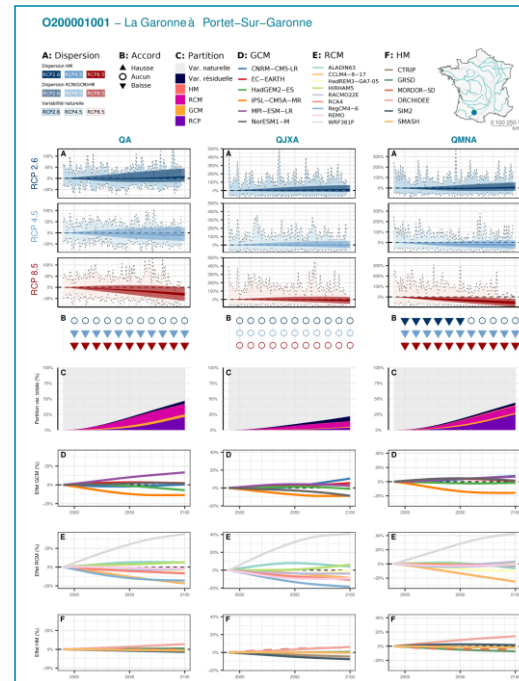
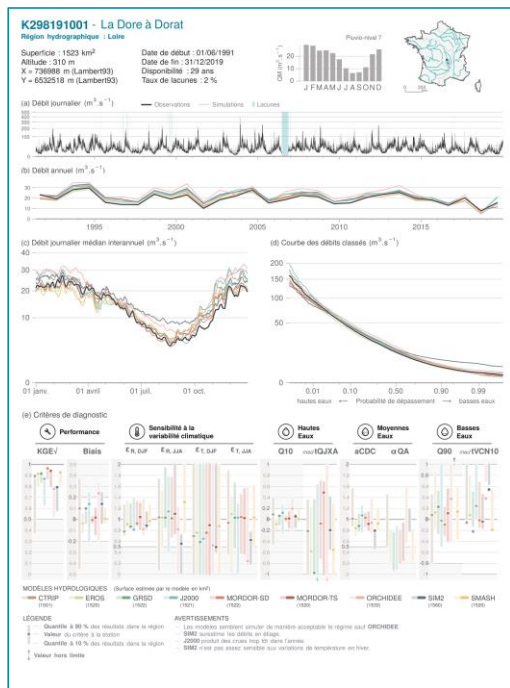


- Des rapports techniques thématiques et supports SIG

<https://entrepot.recherche.data.gouv.fr/dataverse/explore2>



# Des éléments de synthèse



- Des fiches sur le diagnostic, sur les résultats sous RCP8.5 et sur les incertitudes (avec leur notice\*) et l'ensemble des projections produites (cf. sites web <https://www.drias-climat.fr/> et <https://www.drias-eau.fr/>)
- + portail de visualisation MEANDRE en développement : <https://meandre.explore2.inrae.fr/>
- 1 MOOC : <https://e-learning.oieau.fr/enrol/index.php?id=3799>



➤ Merci !

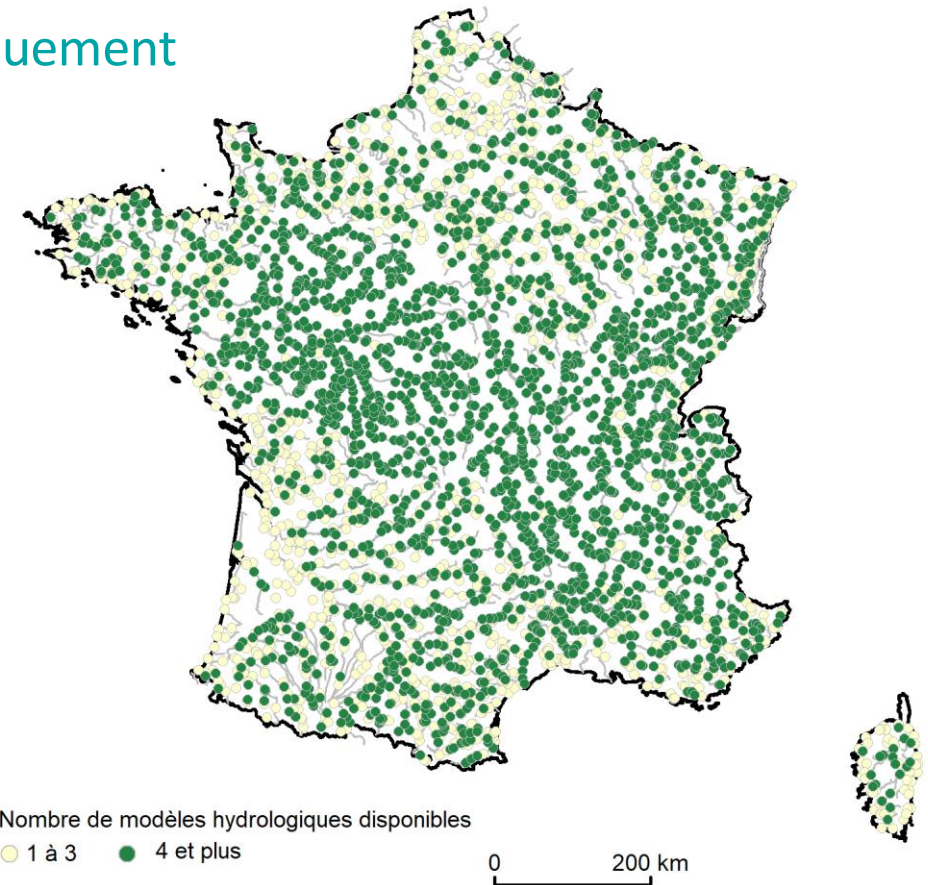


**INRAE**

Séminaire FNE, Guillaume Thirel  
3 décembre 2024

## ➤ Les Débits : pourquoi et comment ?

- Principale ressource en eau douce exploitée en France métropolitaine
- Aléa inondations parmi les aléas les plus coûteux en France
- Simulés pour Explore2 par 9 modèles hydrologiques
  - 2500 avec au moins 4 modèles
- Evolutions futures sous l'effet du changement climatique uniquement
  - Pas d'évolution de l'usage des terres, ni des prélèvements



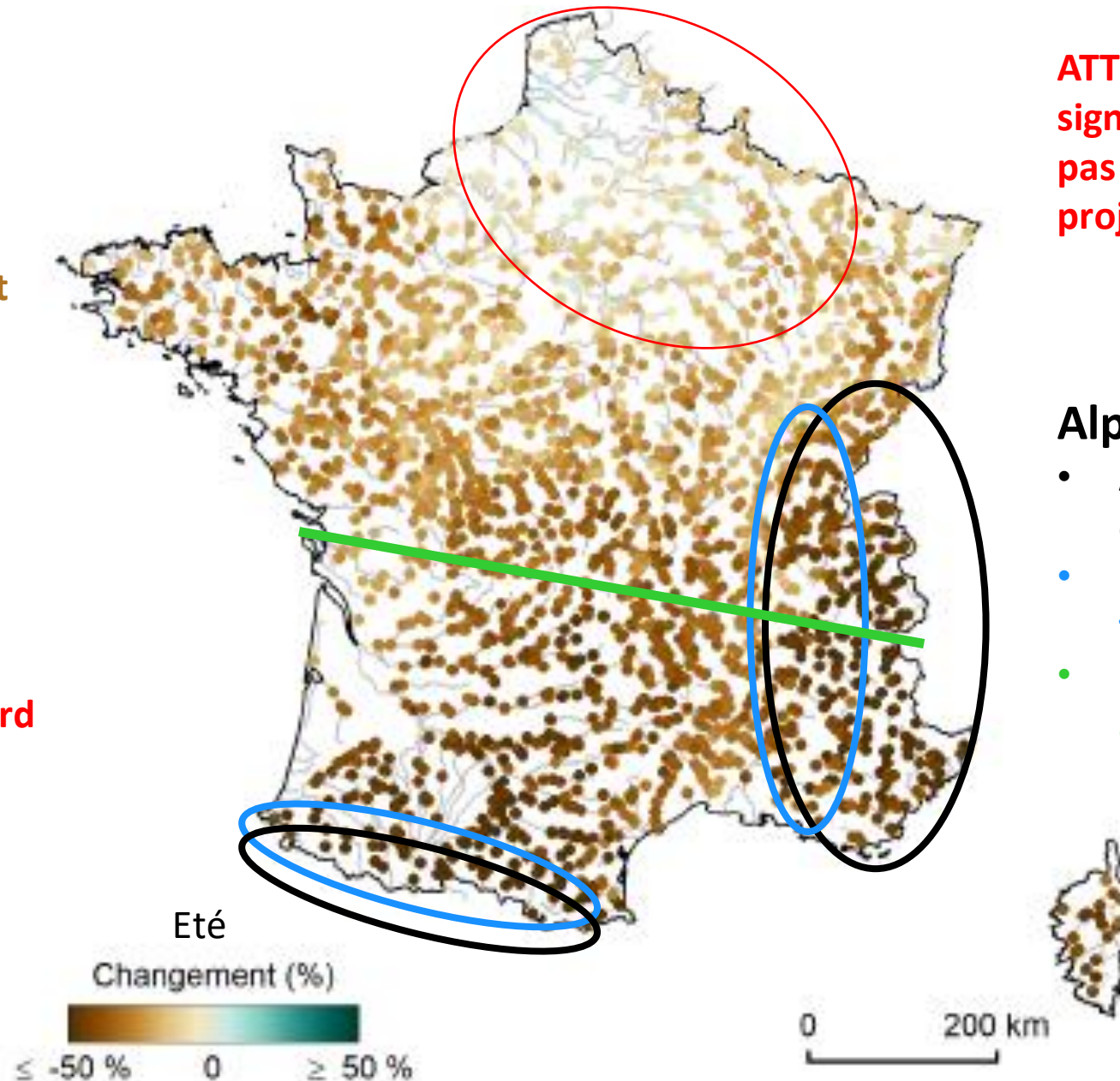
## ➤ Résumé : les changements robustes

### 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**
- **Baisse des débits annuels au sud**