



IMPACT DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LA CAPACITÉ DES AQUIFÈRES À SOUTENIR LES DÉBITS D'ÉTIAGE : TENTATIVES DE QUANTIFICATION

Yvan Caballero, Sandra Lanini, Olivier Robelin, Jean-Christophe Marechal, Eric Sauquet

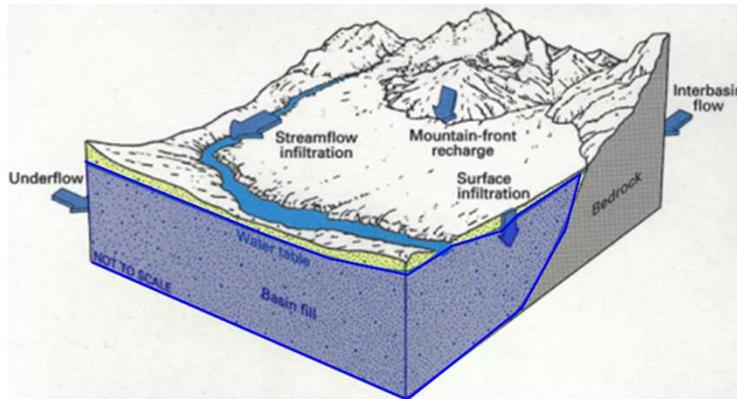


INTRODUCTION

Ressource en eau
souterraine?

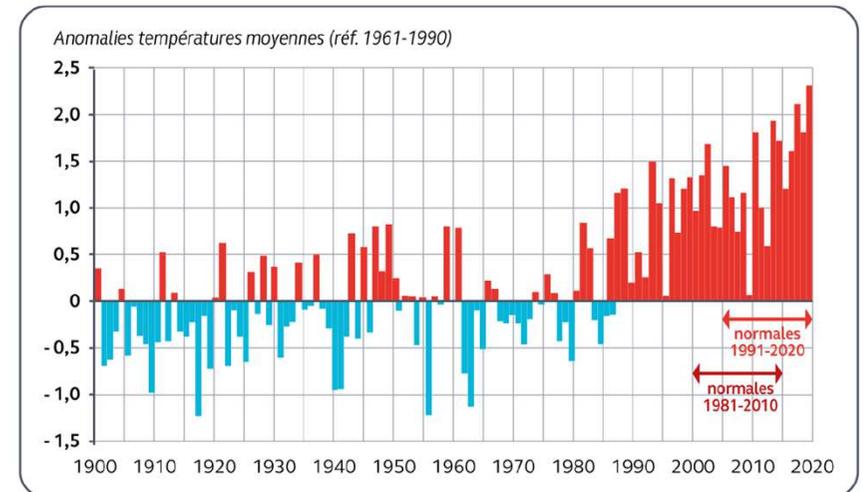


caractérisation de la
recharge
(ressource renouvelable)



Source: http://pubs.usgs.gov/ha/ha730/ch_c/C-basin3.html

Quelle évolution future % Changement climatique?



Source : Météo France

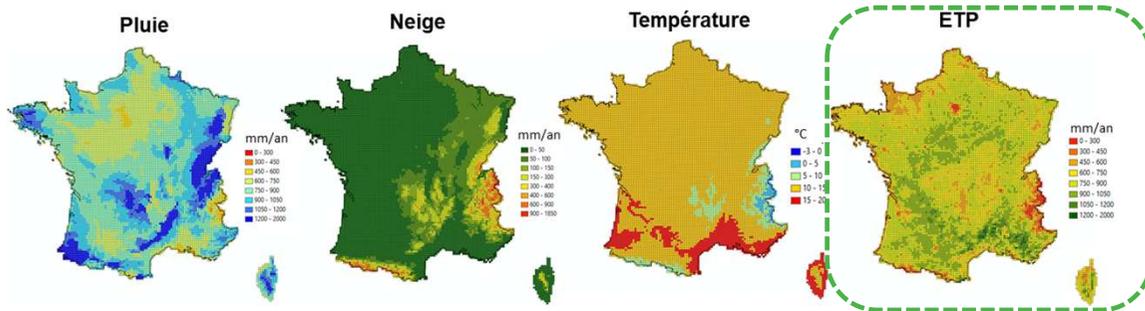
Influence recharge sur le soutien des
débits des cours d'eau en étiage?



Source: Office International de l'Eau - CC BY



CALCUL DE LA PLUIE EFFICACE À L'ÉCHELLE DE LA FRANCE

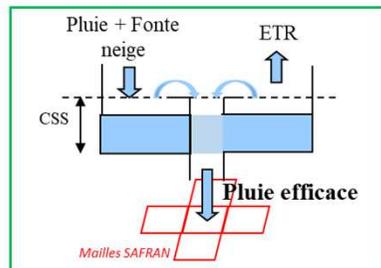
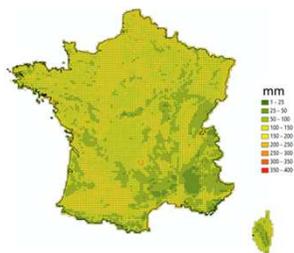


Cartes d'illustration : variables météorologiques CNRM-CM5/ALADIN63 moyennes annuelles 2041-2070, RCP85

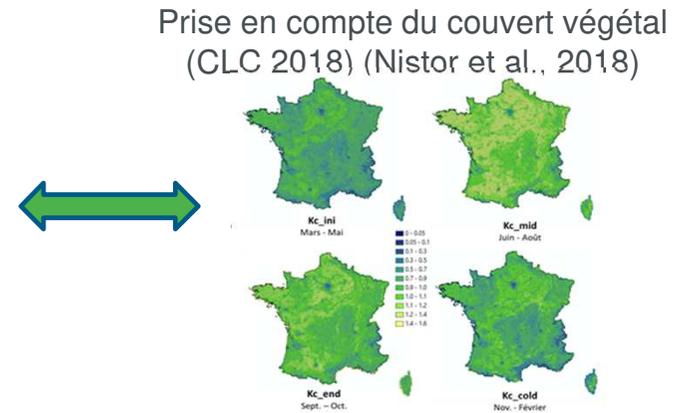
Chroniques journalières pour chaque maille SAFRAN de 8*8 km²

Dans chaque maille, bilan hydrique du sol, au pas de temps journalier (Thorntwaite, Dingman, Edijatno&Michel)

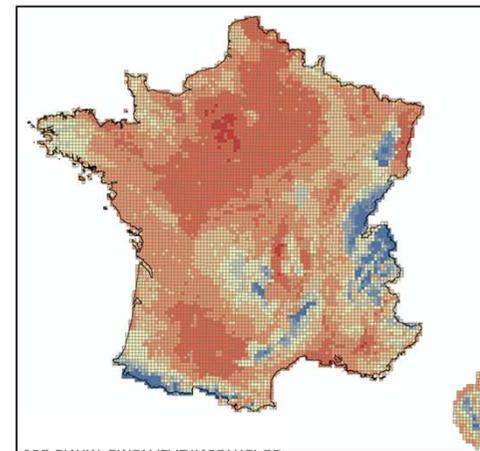
Capacité de stockage du sol (CSS)



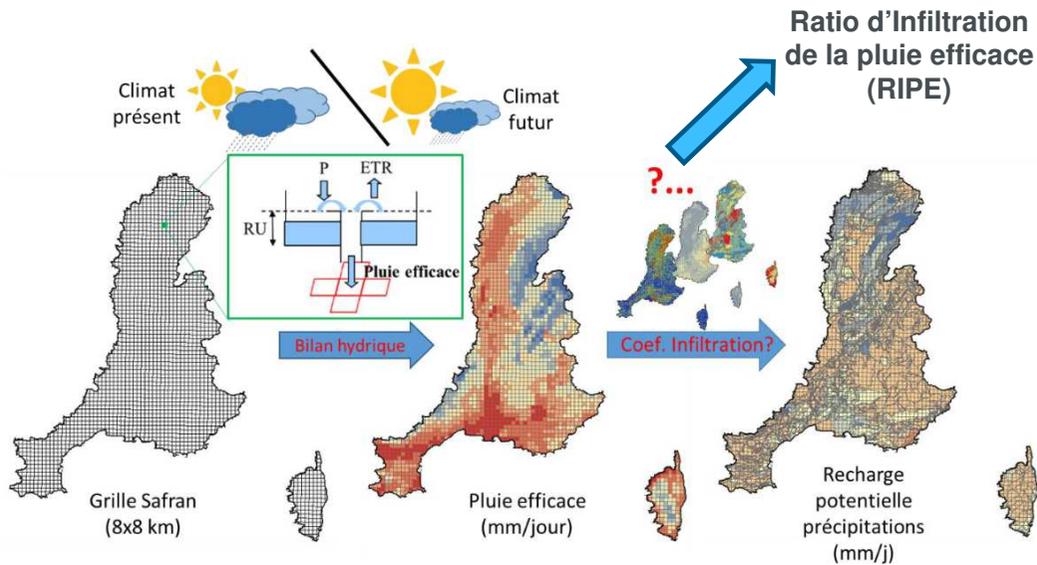
Moyenne des 3 modèles puis moyenne interannuelle



Pluie efficace sur grille Safran



DE LA PLUIE EFFICACE À LA RECHARGE POTENTIELLE



Caballero et al., (2021)

Hypothèses (à l'échelle d'un BV):

- Pas d'influence anthropique
- Pas d'échange de flux
- Variation de stock annuel négligeable

alors Débit de base (Q_b) = RECHARGE
et Débit Annuel Moyen (Q_A) = Pluie efficace

$$\rightarrow \text{RIPE} = \frac{\text{RECHARGE}}{P_{eff}} = \frac{Q_b}{Q_A} = \text{BFI (Base Flow Index)}$$



Relation mathématique simple



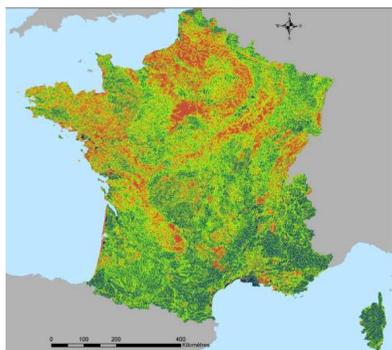
BFI disponible uniquement
aux stations hydrométriques



IDPR :

Indice de Développement et
de Persistance des Réseaux

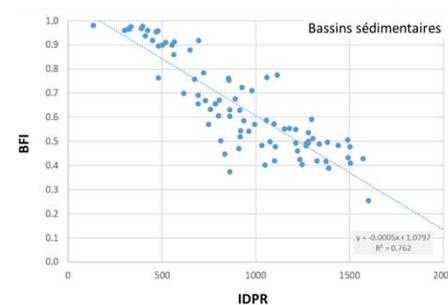
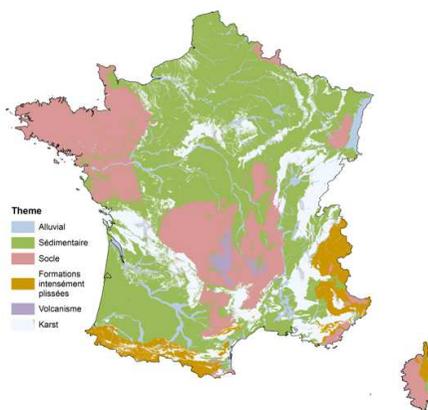
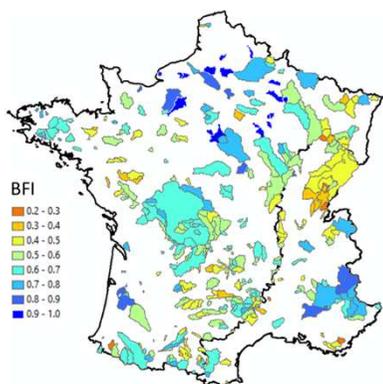
DE LA PLUIE EFFICACE À LA RECHARGE POTENTIELLE



Mardhel et al., (2021)

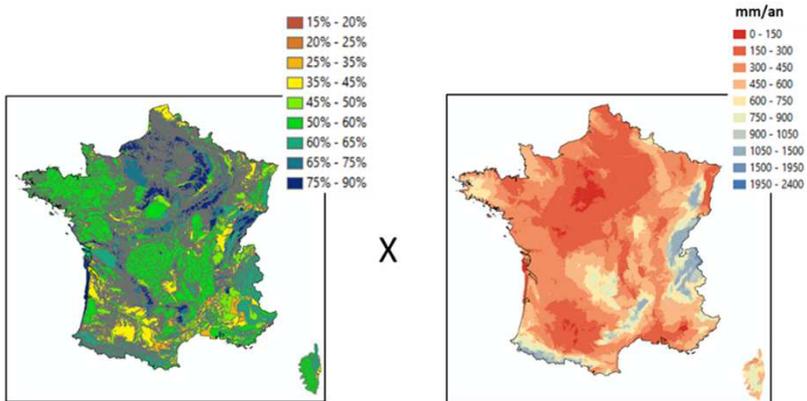
- ↳ indice cartographique décrivant le caractère +/- filtrant du sol
- ↳ $0 < IDPR < 2\ 000 \rightarrow$ 100% d'infiltration à 100% de ruissellement
- ↳ Disponible sur tout le territoire (résolution 25 m)

Relation thématique entre IDPR et RIPE pour différentes lithologies



Formations lithologique	Formule de calcul du RIPE
Sédimentaire, alluviale ou volcanique	RIPE = $-0.0004 * IDPR + 0.9517$ pour $200 < IDPR \leq 2000$ RIPE = 0.9 si $IDPR < 100$
Karstique	RIPE = $-0.0004 * IDPR + 0.9517$ pour $200 < IDPR < 1200$ RIPE = 0.9 si $IDPR < 100$ et RIPE = 0.5 si $IDPR \geq 1200$
Socle	RIPE = 0.55
Plissées	RIPE = 0.65

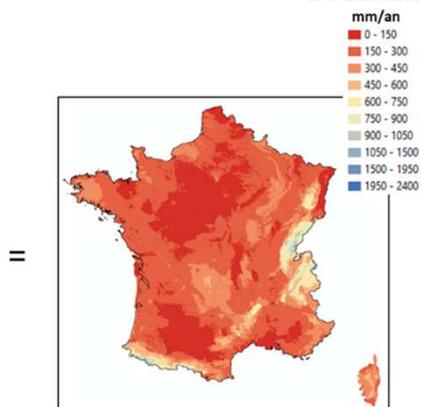
DE LA PLUIE EFFICACE À LA RECHARGE POTENTIELLE



Ratio d'infiltration de la pluie efficace (RIPE)

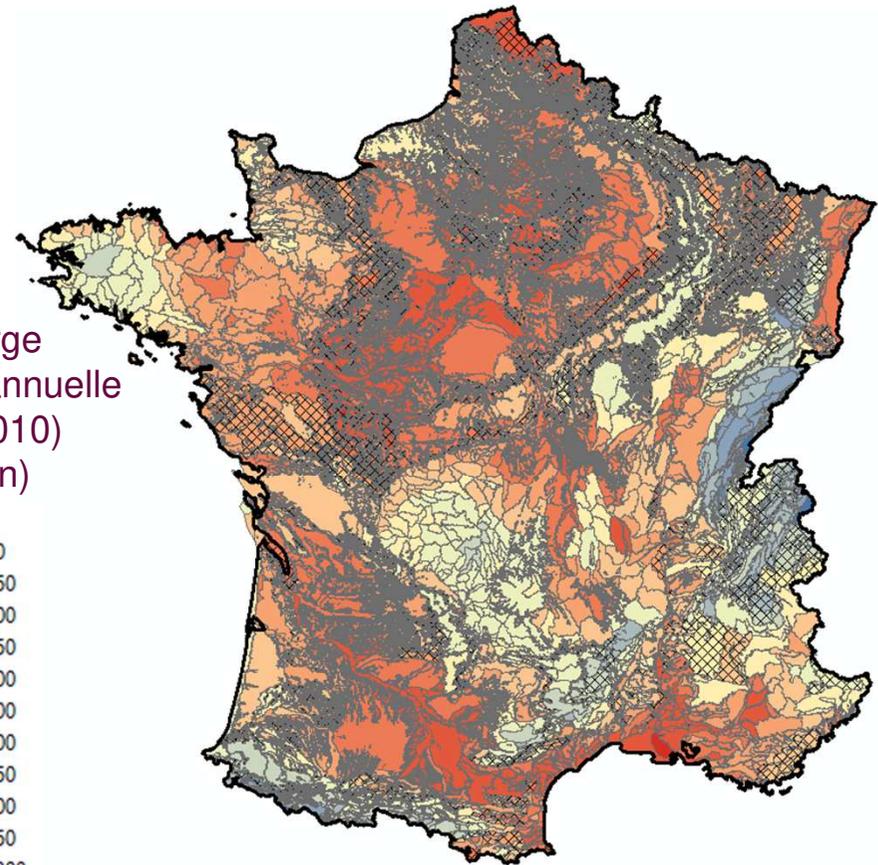
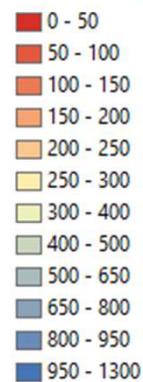
X

Pluie efficace à l'échelle de EH BDLisav3



Recharge à l'échelle des EH BDLisav3

Recharge potentielle annuelle (1980-2010) (mm/an)



Formations « non aquifère » (BDLISA_V3)

PROJECTIONS FUTURES?



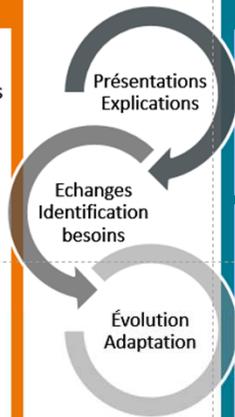
Volet « Scientifique »

Consortium scientifique

- Projections climatiques et hydrologiques en Métropole
- Estimation des incertitudes
- Zoom OM, évaluation des aléas, structuration pour des prochains exercices nationaux

Animation : INRAE

Membres : BRGM, CNRS (IGE, IPSL, Sorbonne Université), EDF, ENS, INRAE, IRD (HSM), Météo-France



Volet «Accompagnement des utilisateurs»

Comité des utilisateurs OM (2/an)

- Définit les besoins de données et échange sur les perspectives

Animation : OIEau

Membres : DEAL, DEB, OFB, INRAE, ODE, MTE, MOM

Comité des utilisateurs (2/an)

- Définit les besoins de données et leurs usages, format des livrables
- Participe au transfert des données

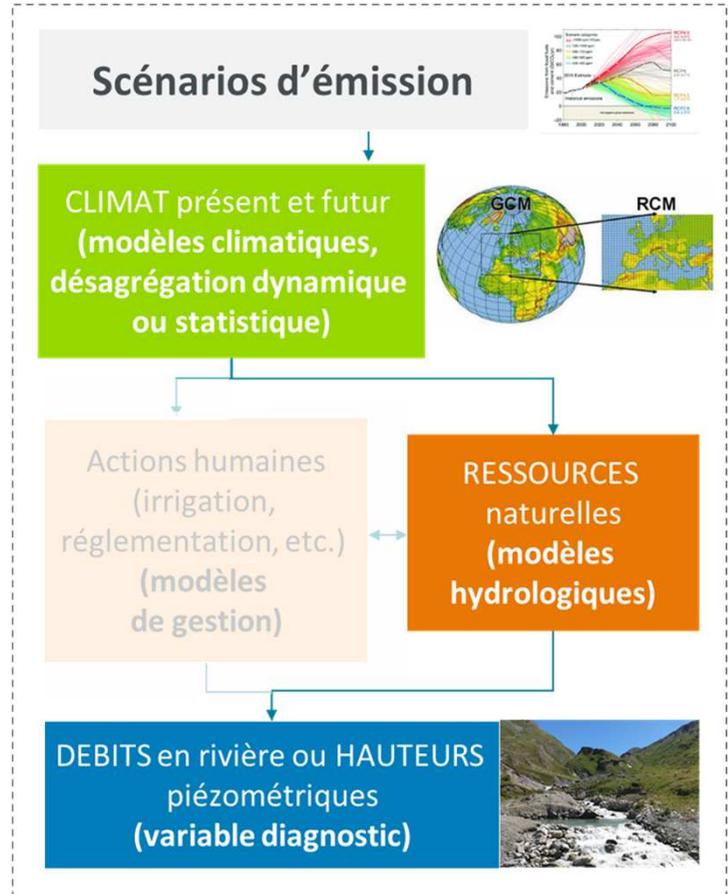
Animation : OIEau

Membres : Agences de l'eau, services déconcentrés (DREAL, DDT), collectivités territoriales, bureaux d'étude, MTE, MAA, OFB, INRAE

Durée :
3 ans
(2021-2024)

Coût total :
2,2 M€

Financement : partenaires du projet, MTE (DGEC, DGPR, DGALN), OFB

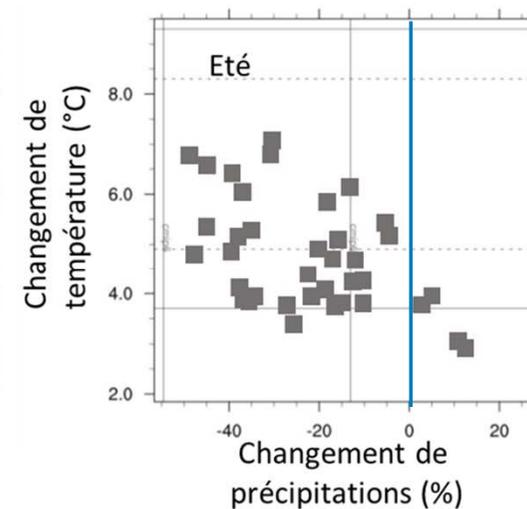
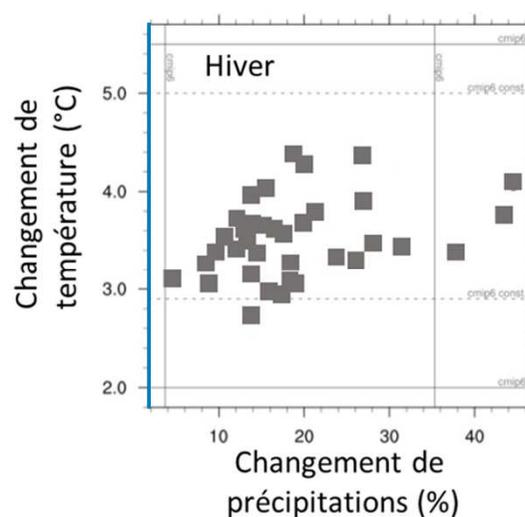
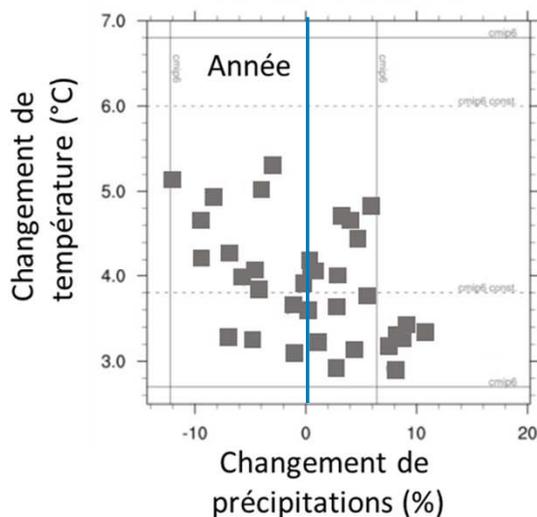
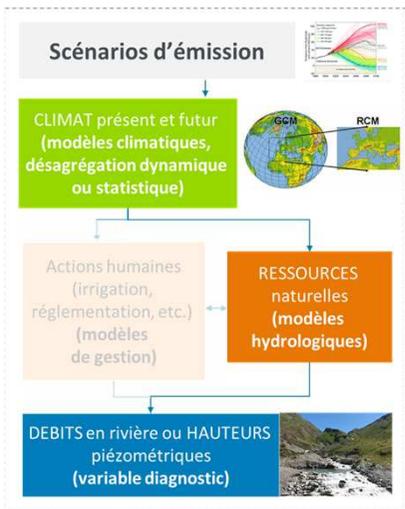


<https://professionnels.ofb.fr/fr/node/1244>

PROJECTIONS FUTURES DE LA PLUIE EFFICACE



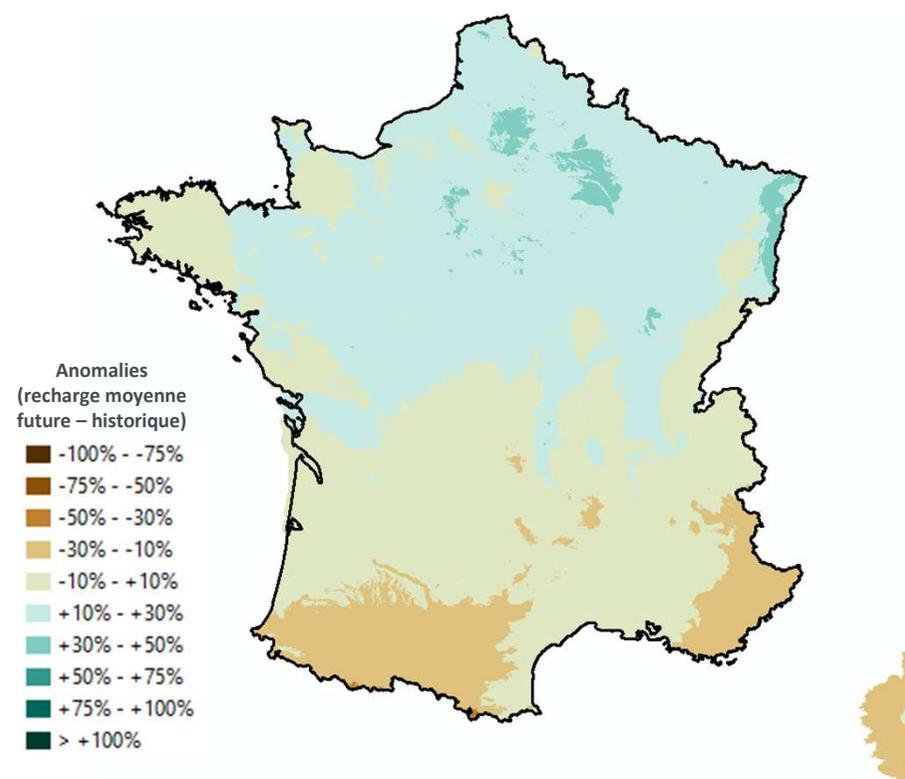
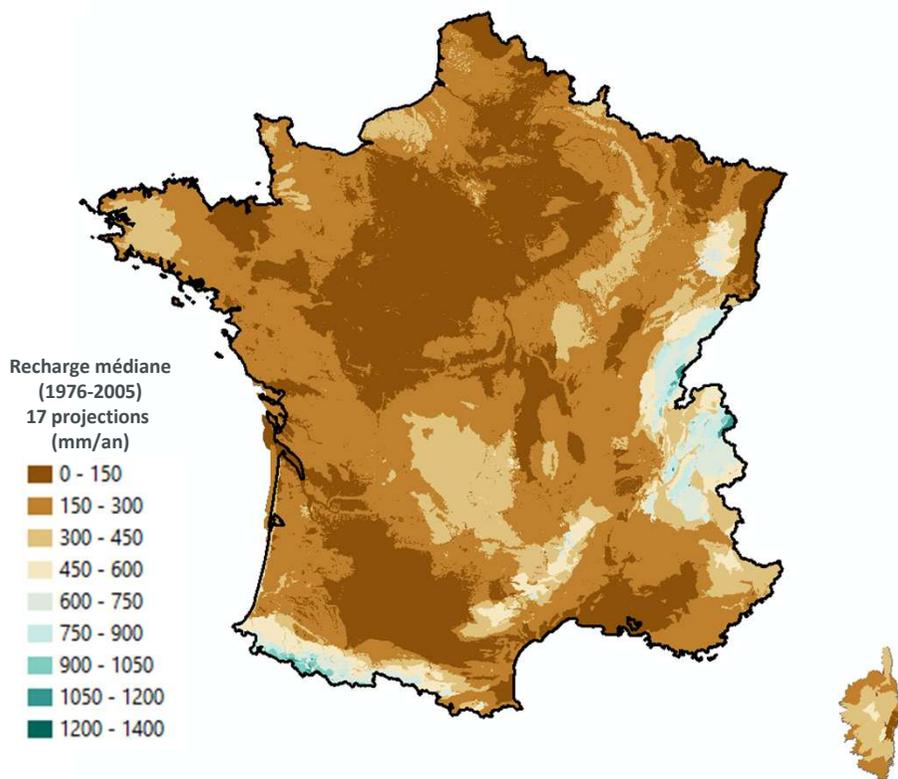
17 couples GCM/RCM sous RCP8.5, RCP4.5 et RCP2.6, corrigés des biais avec la méthode ADAMONT



ANOMALIES DE RECHARGE POTENTIELLE FUTURES

Médiane des cumuls annuels de recharge potentielle

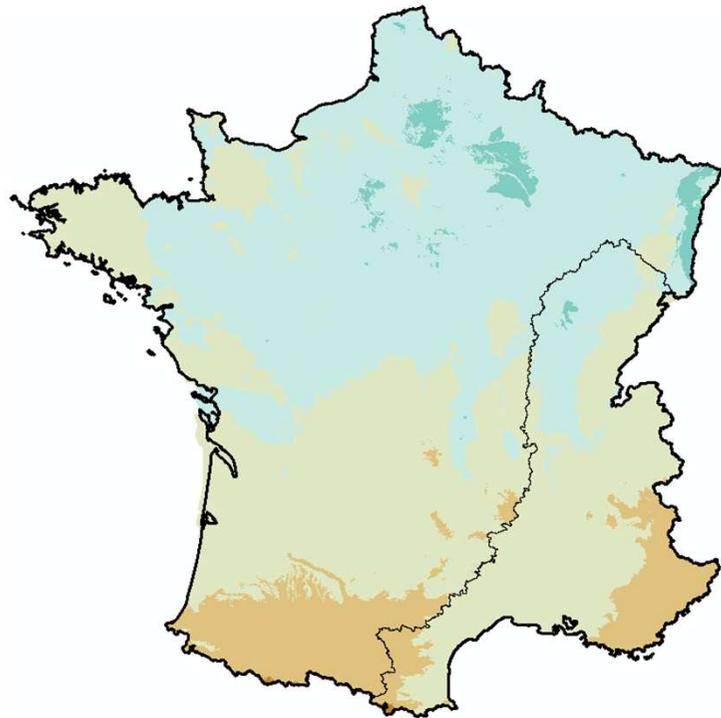
Anomalies de recharge potentielle annuelle
(2071-2100 % 1976-2005)
RCP 8.5



ANOMALIES DE RECHARGE POTENTIELLE FUTURES (EXPLORE II vs. AERMC 2021)

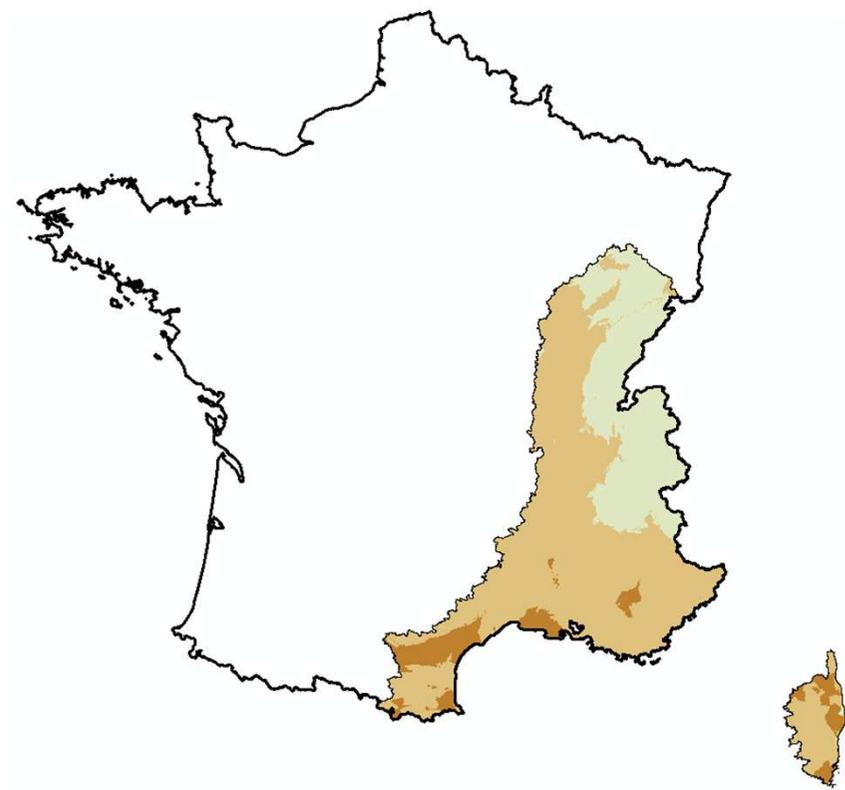
EXPLORE II

Anomalies de recharge potentielle annuelle
(2071-2100 % 1976-2005)
RCP 8.5 / 17 GCM/RCM / ADAMONT

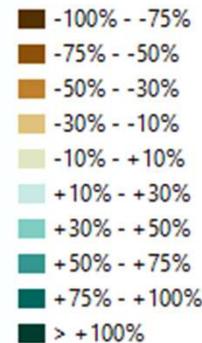


BRGM/AERMC 2021

Anomalies de recharge potentielle annuelle
(2071-2100 % 1980-2010)
RCP 8.5 / 5 GCM / DAYON-DSCLIM

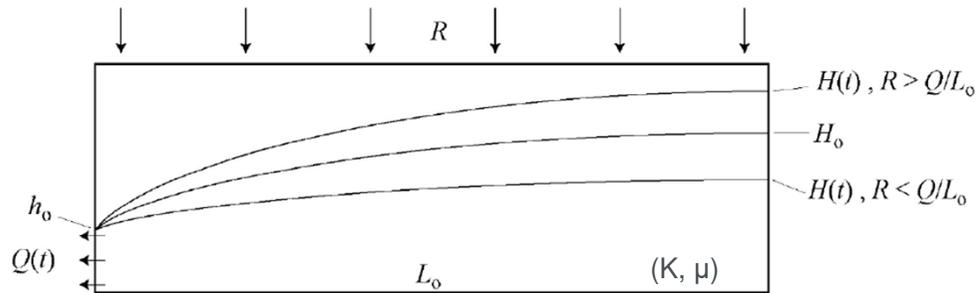


Anomalies
(recharge
moyenne future
- historique)



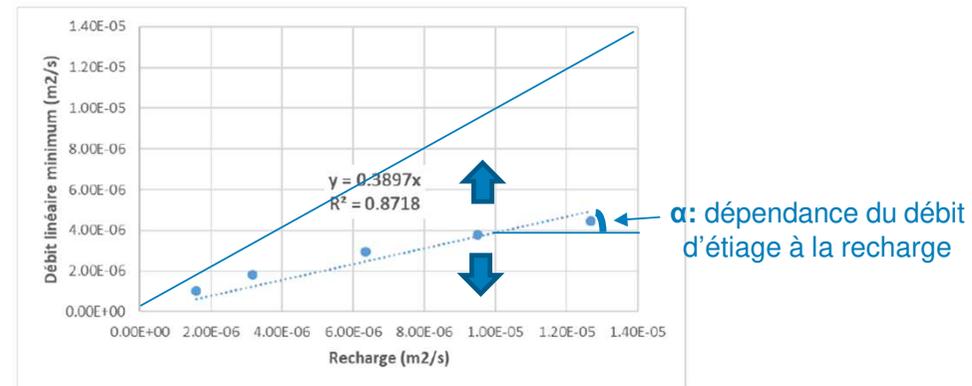
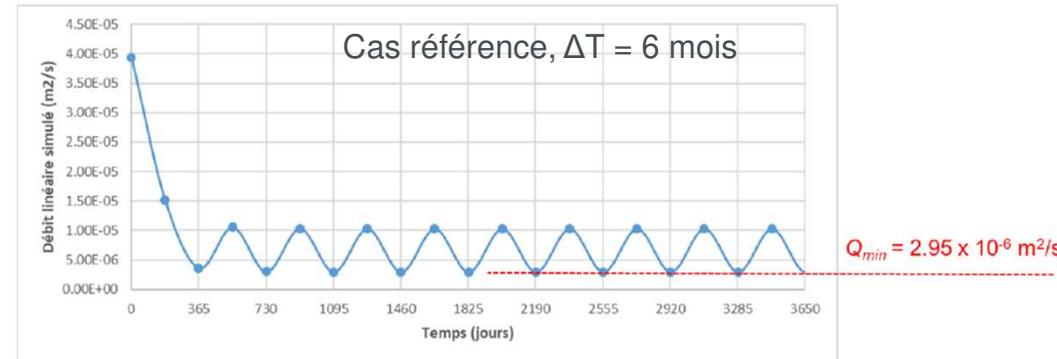
DÉPENDANCE DU DÉBIT D'ÉTIAGE D'UN COURS D'EAU À LA RECHARGE POTENTIELLE

Approche analytique



Résolution d'équation de Darcy pour un aquifère libre, isotrope, avec les caractéristiques suivantes:

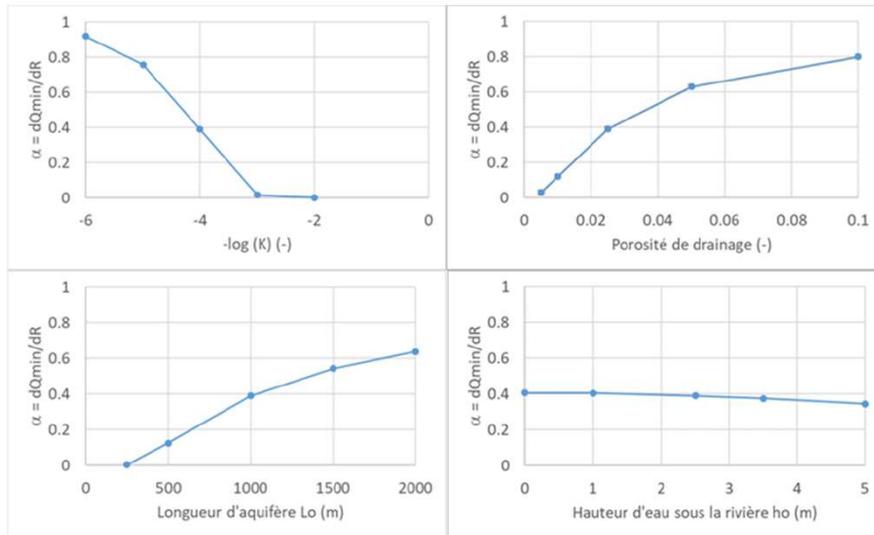
Paramètre	Unité	Valeur minimale	Valeur référence	Valeur maximale
Perméabilité K	m/s	10^{-6}	10^{-4}	10^{-2}
Porosité de drainage μ	-	0.005	0.025	0.10
Longueur d'aquifère L_0	m	250	1000	2000
Hauteur d'eau à la rivière h_0	m	0	2.5	5
Hauteur d'eau initiale à l'amont H_0	m	Condition initiale non impactante		
Recharge R	mm/an	50	250	400



DÉPENDANCE DU DÉBIT D'ÉTIAGE D'UN COURS D'EAU À LA RECHARGE POTENTIELLE

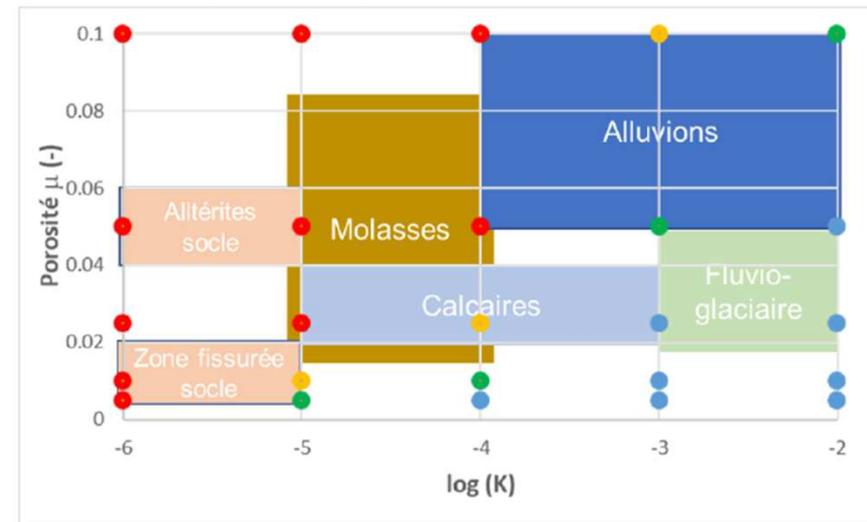
Approche analytique

Sensibilité de α aux variations de K , μ , L_0 et h_0



Classe de dépendance	Valeur de α	Couleur
Dépendance faible	$\alpha < 0.25$	Bleu
Dépendance modérée	$0.25 < \alpha < 0.50$	Vert
Dépendance moyenne	$0.50 < \alpha < 0.75$	Orange
Dépendance élevée	$\alpha > 0.75$	Rouge

Dépendance à la variation de recharge (grands aquifères, $L_0 = 2000$ m)



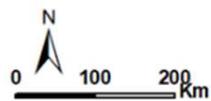
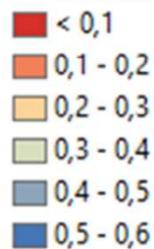
Journée « Eau & Connaissance », Lyon, 11 décembre 2023

DÉPENDANCE DU DÉBIT D'ÉTIAGE D'UN COURS D'EAU À LA RECHARGE POTENTIELLE

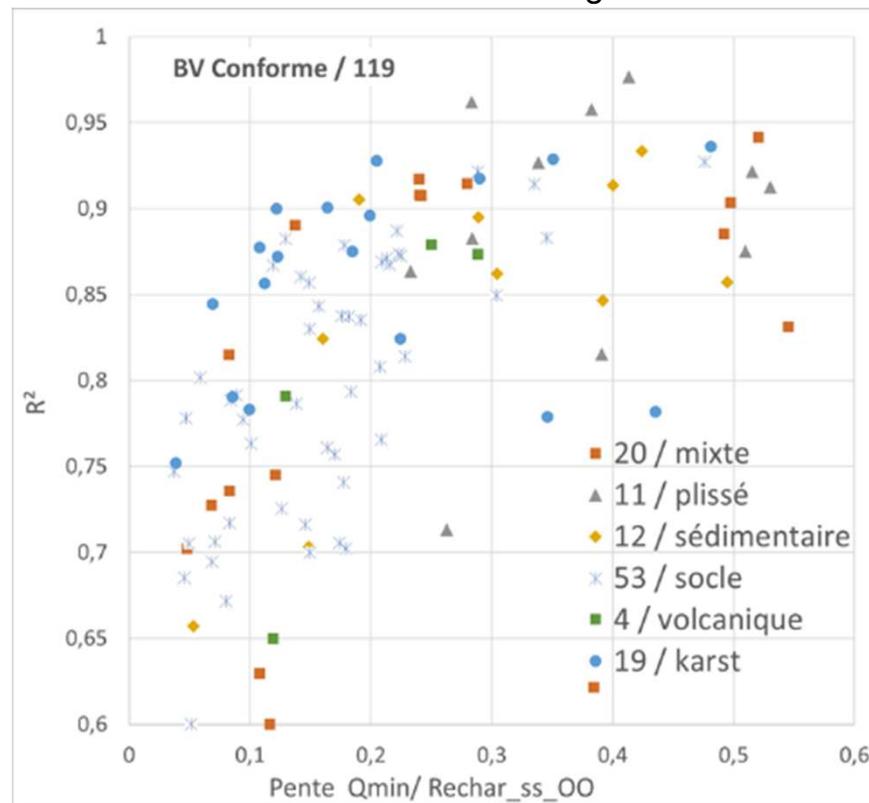
Approche empirique sur 119 bassins versants

$$0,053 \leq \alpha \leq 0,54$$

Valeur du coeff. α dans
 $Q_{min.} = \alpha \times \text{Rech. pot.}$



Influence lithologie?



CONCLUSIONS & PERSPECTIVES

50 ans de recharge potentielle apportée par les précipitations, à l'échelle des masses d'eau souterraine de la France → DRIAS Eau (été 2024, cartes annuelles et chroniques journalières)

Projections climatiques EXPLORE 2 → DRIAS Eau (été 2024): situations contrastées entre le nord et le sud (effet sur les niveaux des nappes? [AquiFR](#) sur une partie du pays)

Dépendance des débits d'étiage aux variations de recharge future d'autant plus forte que :

- La perméabilité des aquifères est faible
- Leur porosité de drainage est élevée
- Leur taille est importante

Cartographie de vulnérabilité des débits d'étiage des bassins versants au changement climatique = $\Delta\text{Recharge future} \times \alpha$ (que vaut α sur un bv?)

5. RÉFÉRENCES

Caballero Y., Lanini S., Lechevalier J., Maréchal J.-C. (2021), Caractérisation de la recharge des aquifères et évolution future en contexte de changement climatique - Application au bassin Rhône Méditerranée Corse - Phase 2. Rapport final. BRGM/RP-69217-FR, 155 p., 92 ill., 10 ann..

Mardhel, V., Pinson, S., Allier, D. (2021). Description of an indirect method (IDPR) to determine spatial distribution of infiltration and runoff and its hydrogeological applications to the French territory, Journal of Hydrology, 592, 125609, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125609>.

Nistor, M. M., Man, T.C., Benzaghta, M.A., Nedumpallile Vasu, N., Dezsi, S., Kizza, R. (2018). Land cover and temperature implications for the seasonal evapotranspiration in Europe. Geographica Technica, 13, 85-108, doi:10.21163/GT_2018.131.09.