



@Pellerin

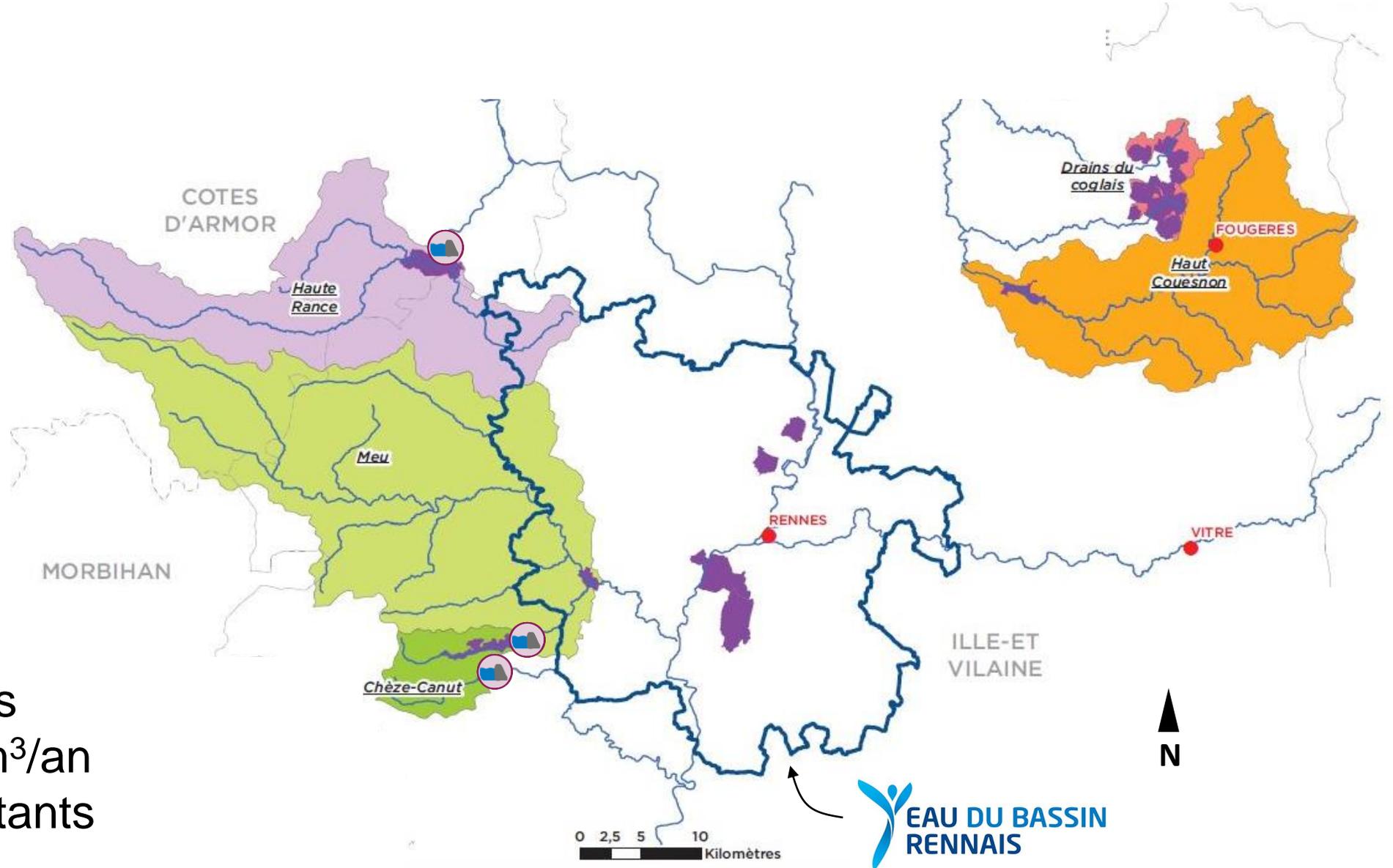
Matthieu PECHARD – FDPPMA35
Ronan ABHERVE – OSUR Géosciences Rennes



Sommaire de la présentation

- 1) Localisation du territoire et contexte de la chaire Eaux et Territoires
- 2) Évolution historique des ressources à l'échelle du bassin rennais
- 3) Développement d'une démarche de modélisation hydro(géo)logique
- 4) Exemple de prédictions des débits

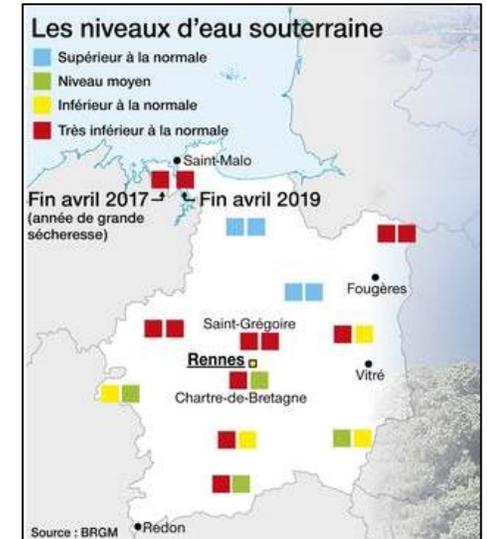
La production d'eau potable d'Eau du Bassin Rennais



- 13 ressources
- 26 300 000 m³/an
- 543 000 habitants

Contexte de la chaire et objectifs

- *Face à la sécheresse, Rennes puise dans ses réserves en eau potable (2017)* 
- *Ille-et-Vilaine. En manque d'eau, les nappes phréatiques sous surveillance (2019)* 
- *L'Ille-et-Vilaine en « vigilance sécheresse » (2021)* **Le Télégramme**
- *Les sécheresses extrêmes de 2018 et 2019 appelée à se répéter en Europe* 
(Hari et al., 2020)



Quelle évolution futur des débits et plus généralement du stock d'eau à l'échelle du bassin rennais ?

Comment les caractéristiques du paysage contrôlent la capacité de stockage en eau et la dynamique hydrologique des bassins-versants ?

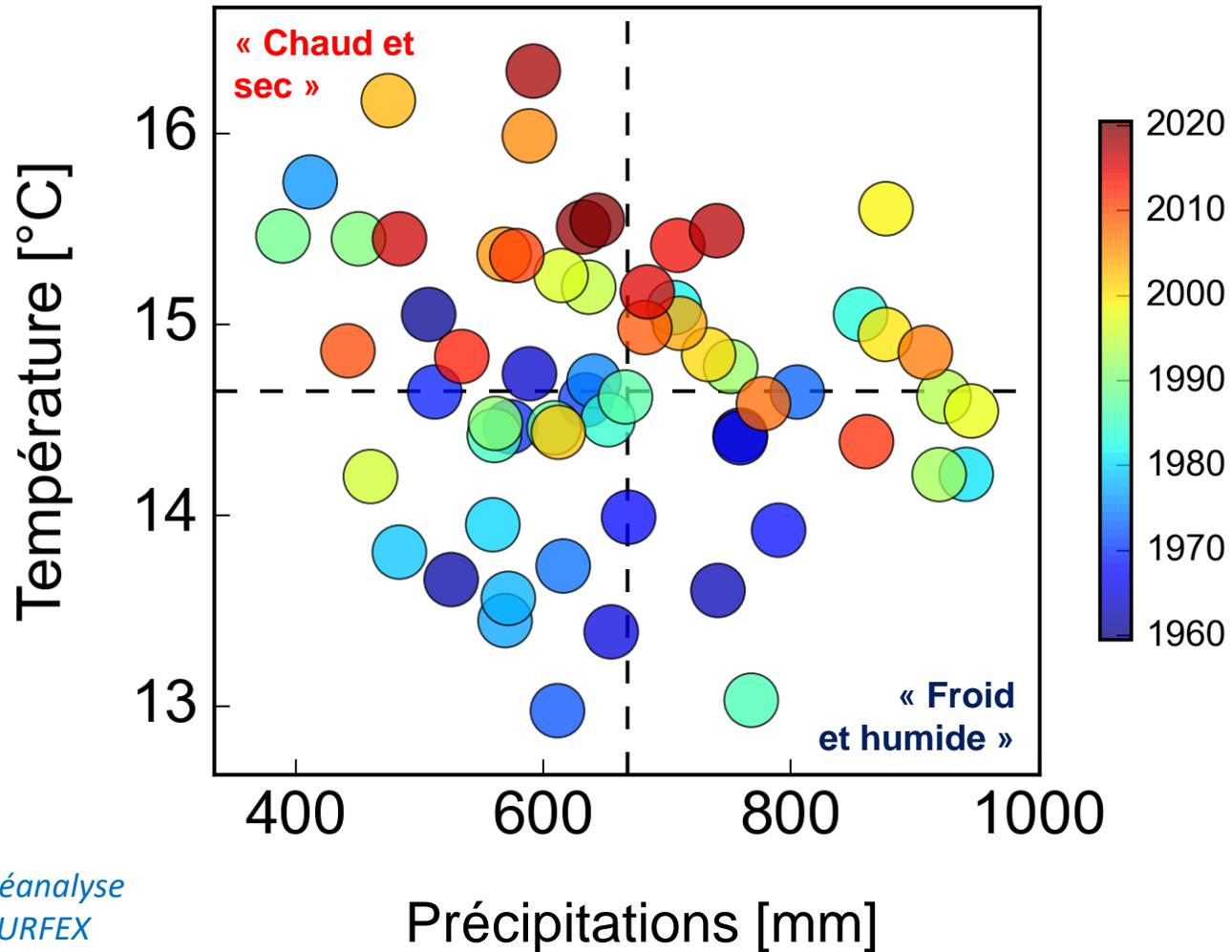
Vers un système durable qui tient compte de la nouvelle redistribution de la quantité d'eau dans l'espace et le temps

Sommaire de la présentation

- 1) Localisation du territoire et contexte de la chaire Eaux et Territoires
- 2) Évolution historique des ressources à l'échelle du bassin rennais**
- 3) Développement d'une démarche de modélisation hydro(géo)logique
- 4) Exemple de prédictions des débits

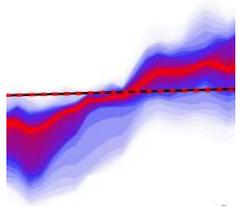
Analyse du climat passé à l'échelle du bassin rennais

Période de « basses eaux »
avril à septembre



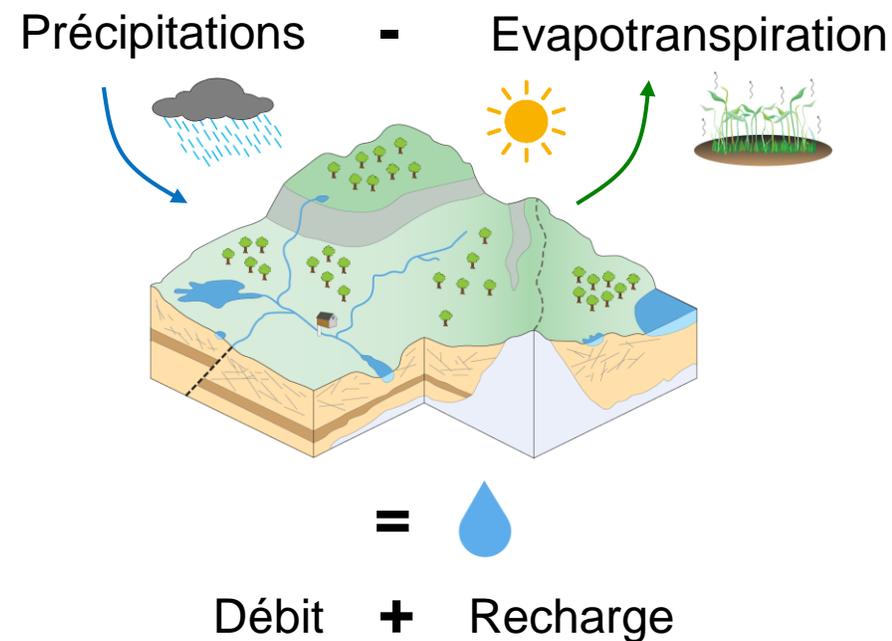
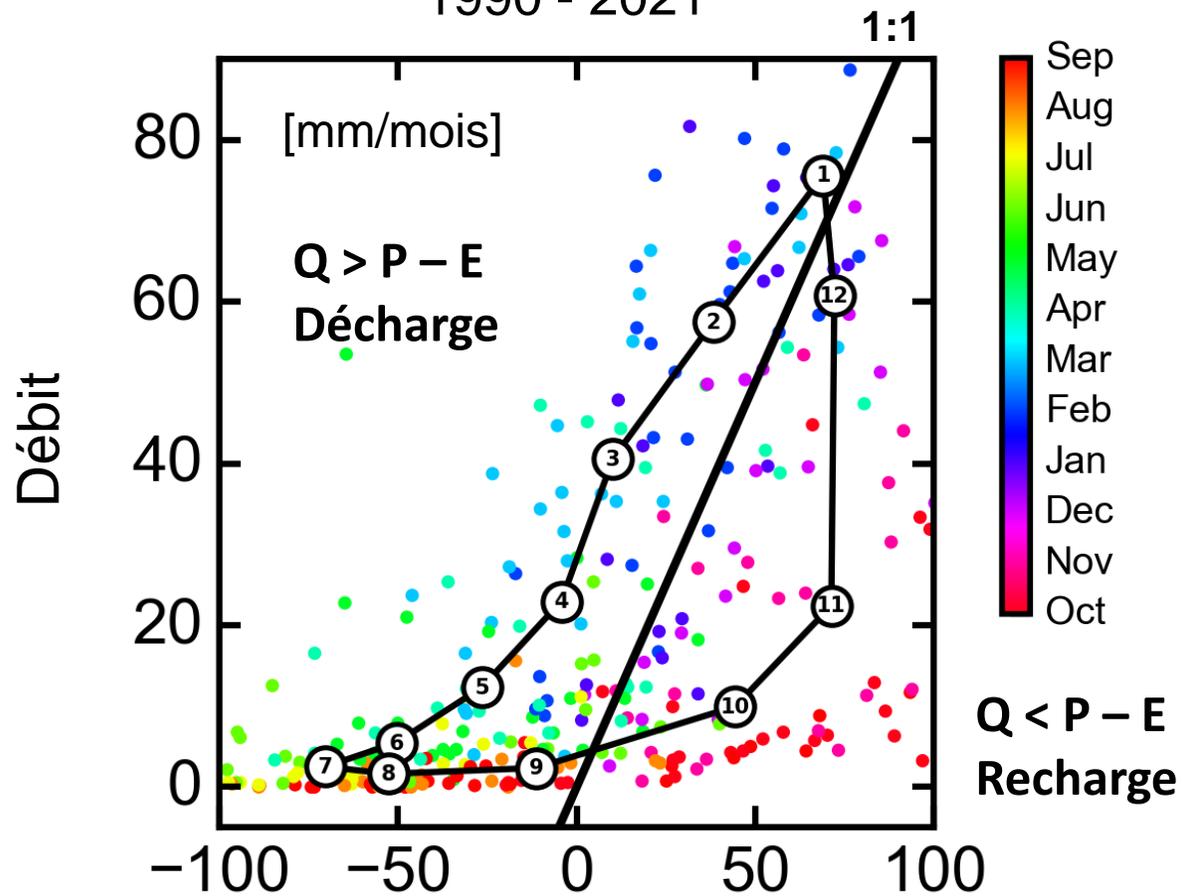
Conclusions similaires aux travaux antérieurs sur le changement climatique en Bretagne :
(Dubreuil et al., 2018, Lamy 2013)

- **Températures**
Nette augmentation
- **Évapotranspiration**
+ 10% à l'échelle mondiale de 2003 à 2019
(Pascolini-Campbell et al., 2021)
- **Précipitations**
Baisse en basses eaux
Augmentation en hautes eaux
Modification des régimes
- **Saisonnalité**
Allongement de la saison estivale
Décalage des saisons dans le temps



Analyse rétrospective de la dynamique hydrologique

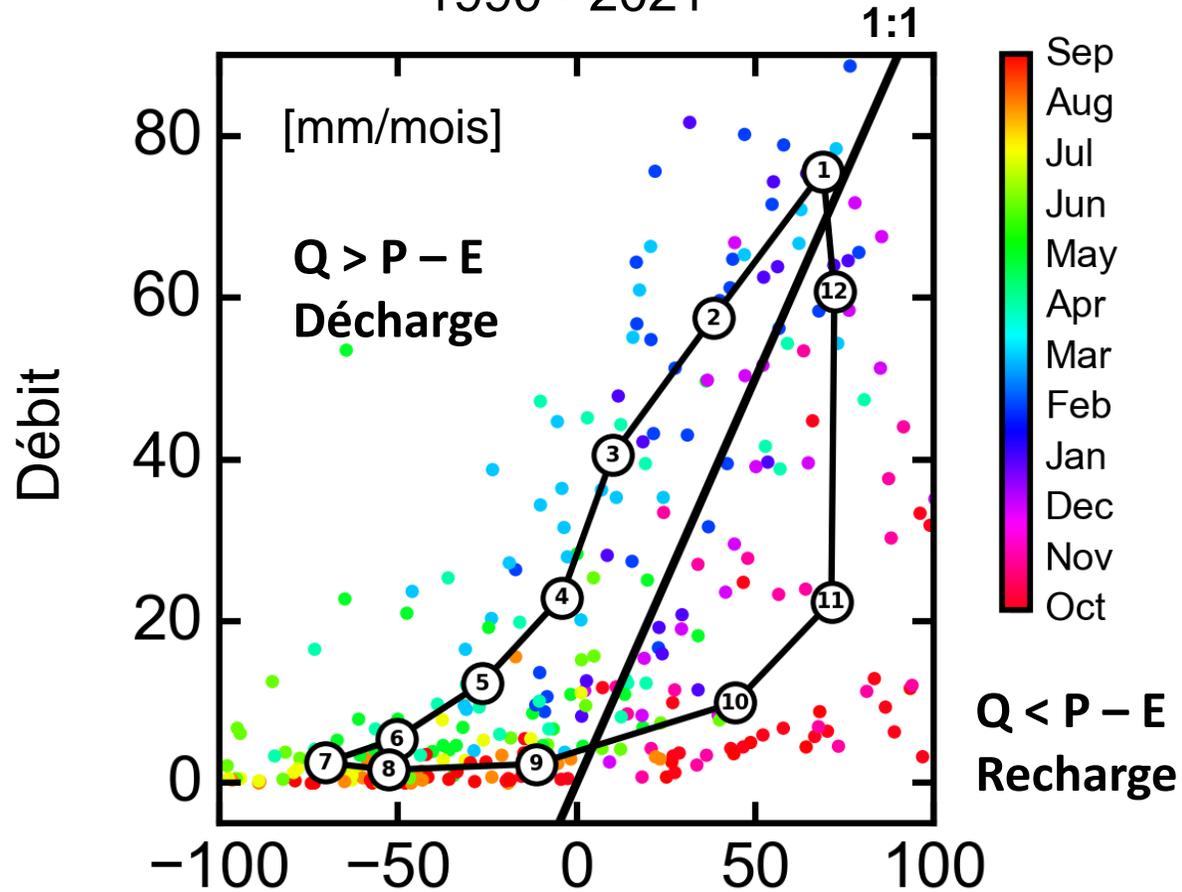
Station en amont du barrage
1990 - 2021



Précipitations - Évapotranspiration

Analyse rétrospective de la dynamique hydrologique

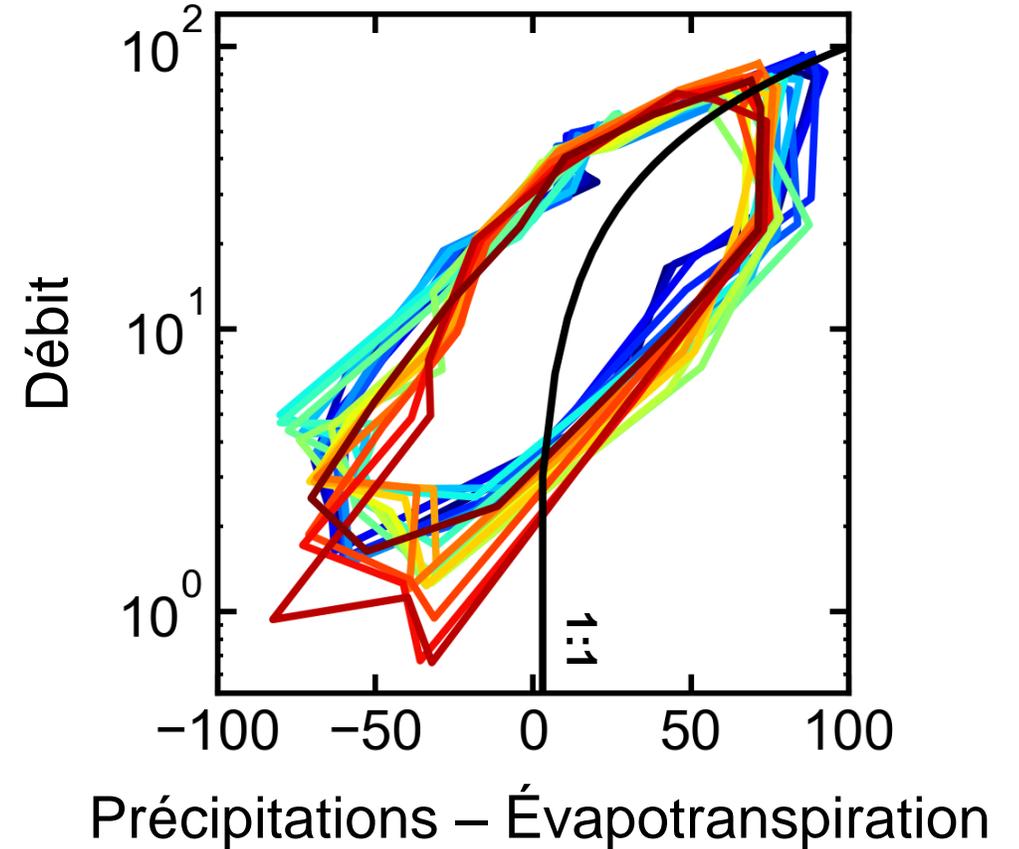
Station en amont du barrage
1990 - 2021



Précipitations – Évapotranspiration

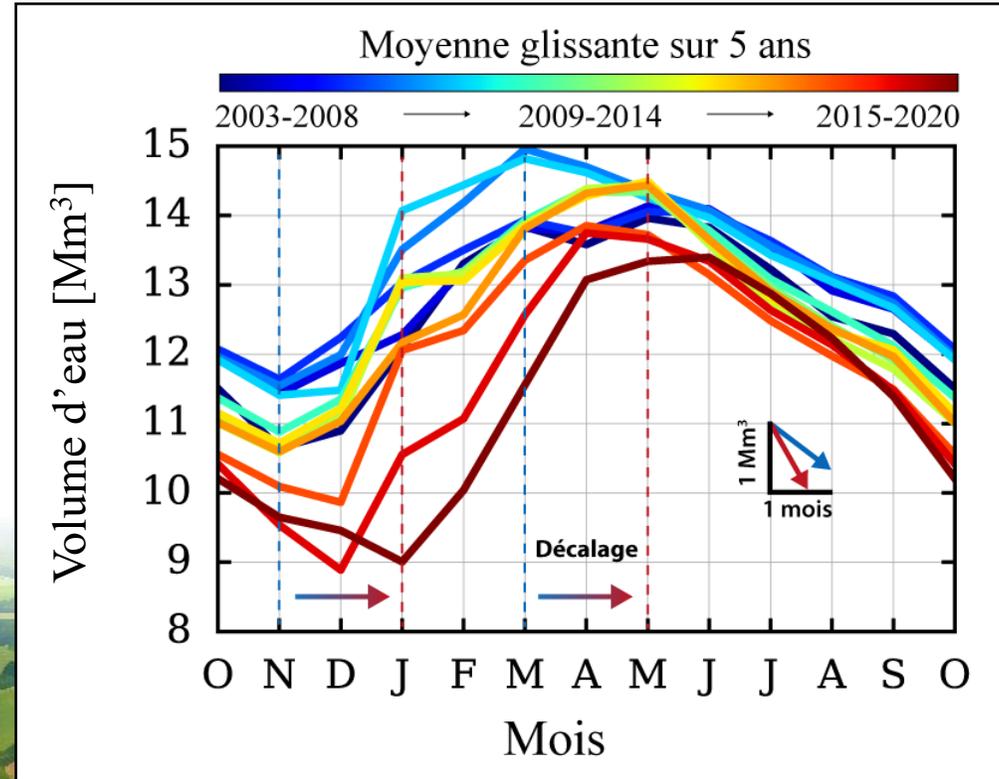
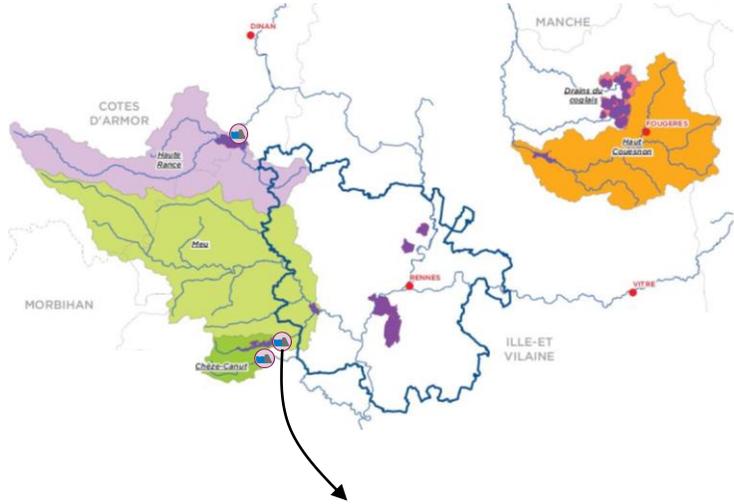
Moyenne glissante : 10 ans

1990 - 2000 → 2011 - 2021



- Baisse des débits et étiages plus sévères
- Modification de la dynamique de stockage

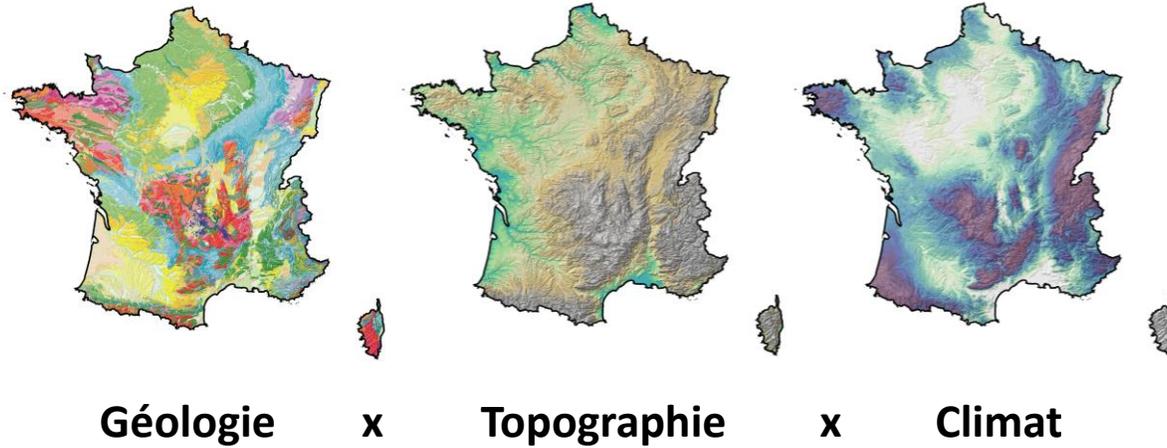
Évolution du niveau du barrage de la Chèze



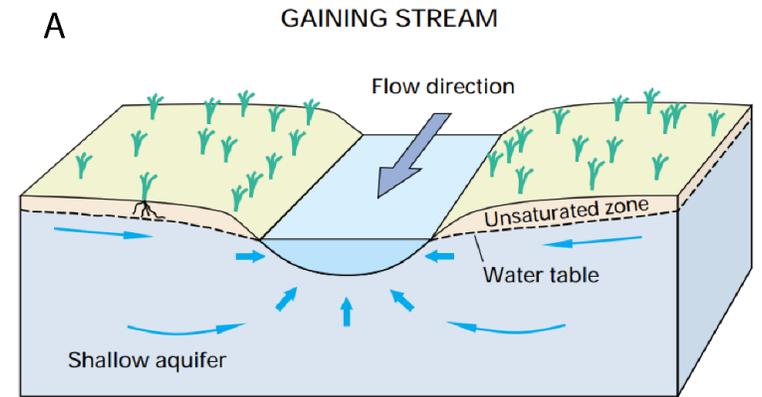
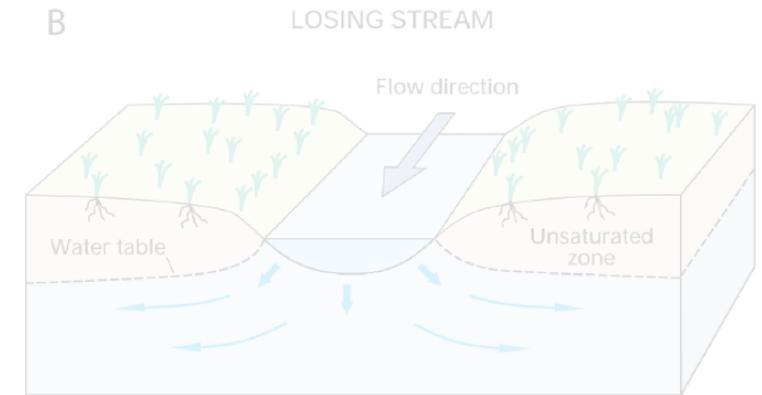
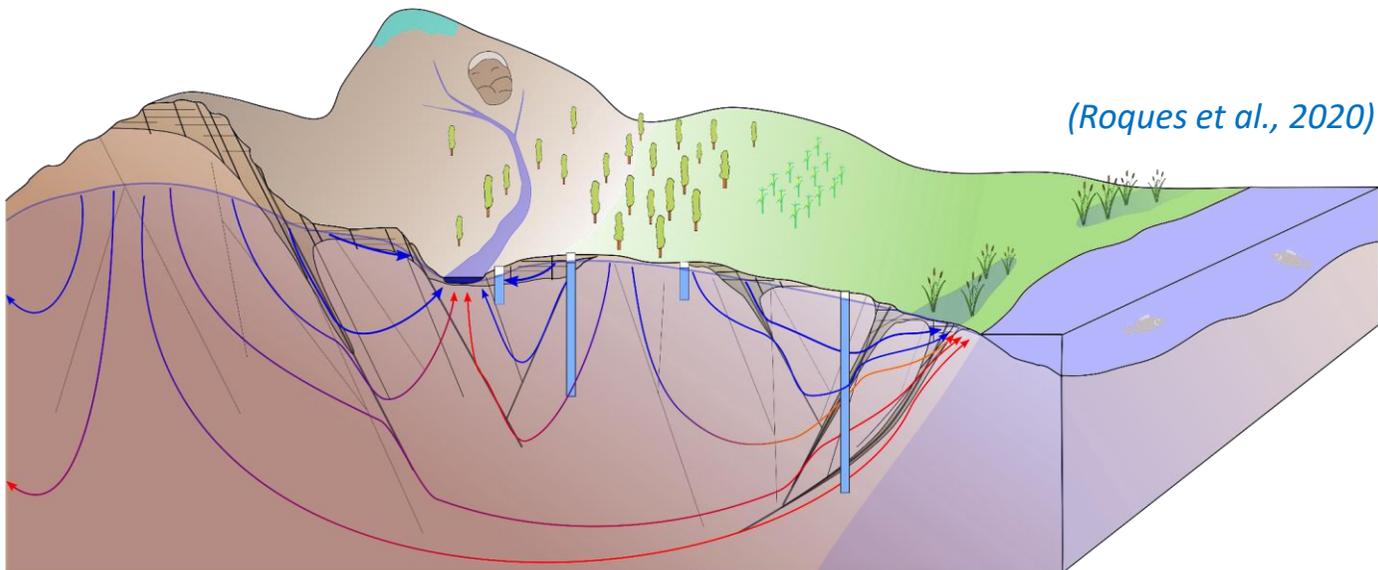
Sommaire de la présentation

- 1) Localisation du territoire et contexte de la chaire Eaux et Territoires
- 2) Évolution historique des ressources à l'échelle du bassin rennais
- 3) Développement d'une démarche de modélisation hydro(géo)logique**
- 4) Exemple de prédictions des débits

L'hydrogéologie du Massif Armoricain : les interactions surface-subsurface



Aquifères fracturés peu profonds



(Winter et al., 1998)

**La nappe proche de la surface
alimente les cours d'eau**

L'importance des têtes de bassin versant

Le linéaire des cours d'eau en TBV

Les cours d'eau en tête de bassin versant représentent environ 70 à 85 % de la longueur totale du réseau hydrographique (Benda *et al.*, 2005 ; Meyer *et al.*, 2007)

9600 km CE dpt35 -> 6800 km de TBV -> 71% (traitement SIG)

La qualité d'eau en TBV

Les CE en TBV hébergent la plupart des processus biogéochimiques d'autoépuration, qui contribuent à la qualité de l'eau en aval (Datry *et al.*, 2008 ; Oraison *et al.*, 2011)

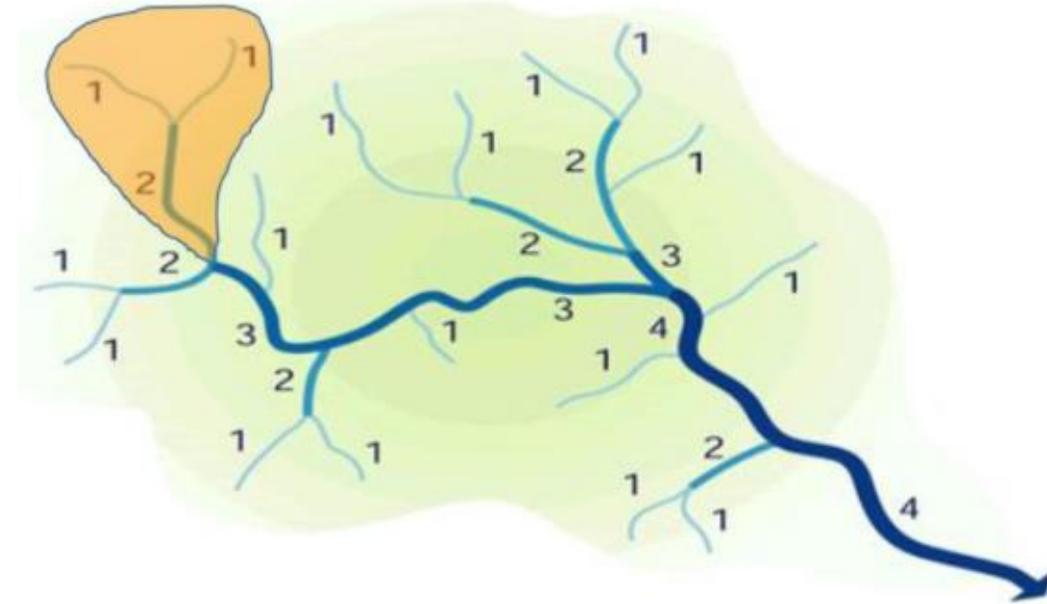
La contribution en eau des TBV



Les TBV conditionnent quantitativement les ressources en eau : **50 à 70% de l'alimentation en eau des cours d'eau d'ordre supérieur** (ordre 3 et plus) provient des TBV (ordre 1 et 2) (Alexander *et al.*, 2007)

Multipl. zones humides de superficie souvent < 1000 m² (Janisch *et al.*, 2011)

« capital hydrologique »

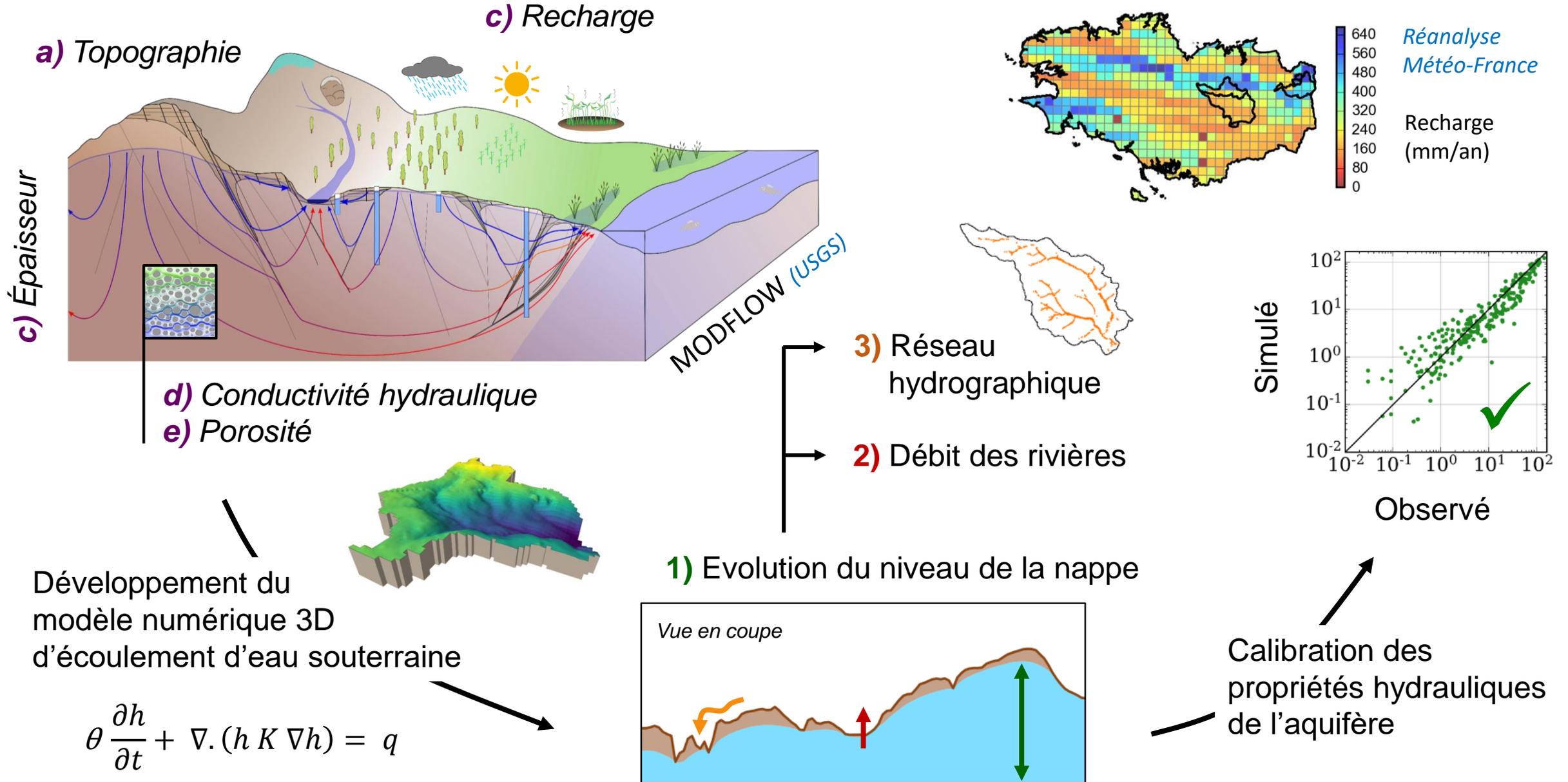


TBV = rang 1 et 2

Classification du réseau hydrographique selon l'ordre de Strahler (Environmental Protection Agency, 2009)

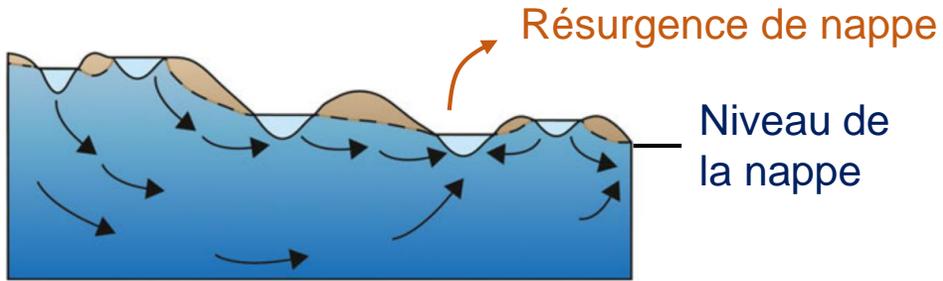
Le Bihan, 2013

L'approche générale de modélisation hydrogéologique appliquée



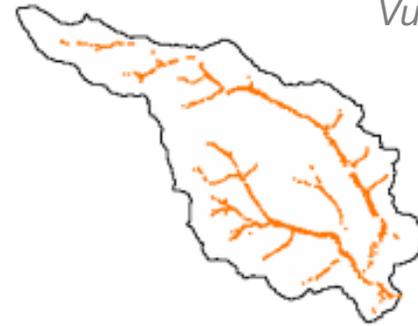
Méthode de calibration innovante à partir du réseau de cours d'eau

Vue en coupe



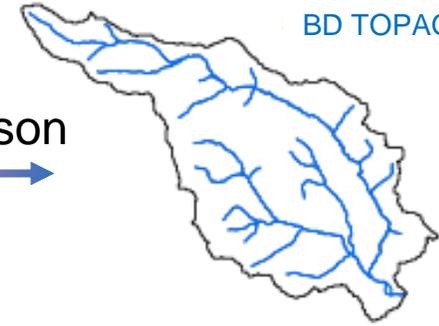
Leibowitz et al., 2018

Vue du dessus



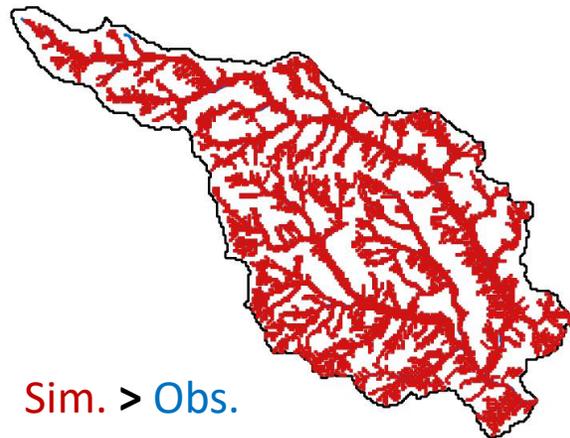
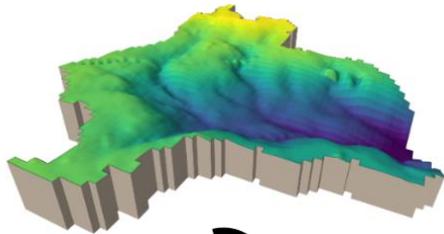
Zones de résurgence simulées

BD TOPAGE®



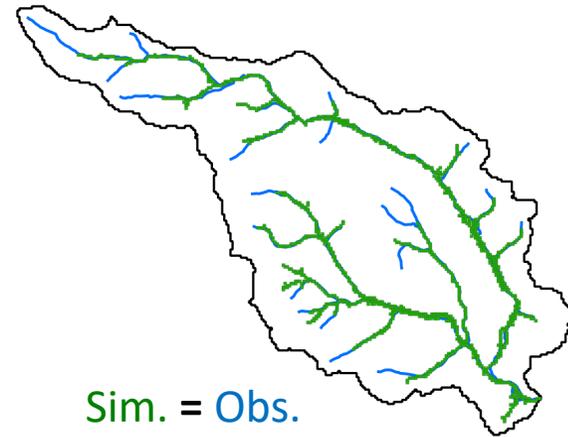
Réseau hydrographique observé

Comparaison



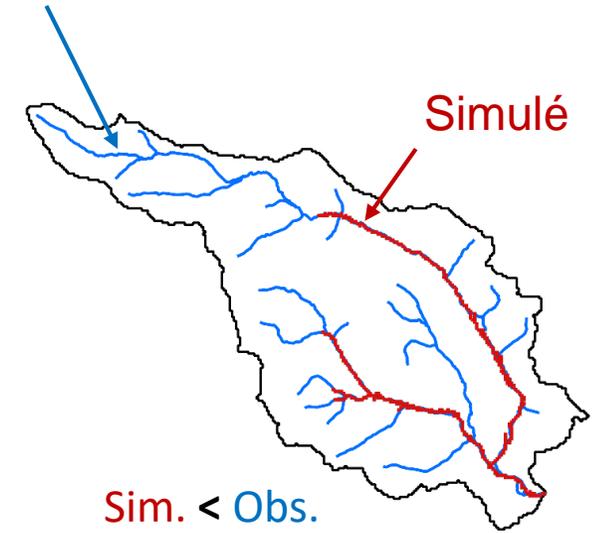
Sim. > Obs.

K_{faible}



Sim. = Obs.

K_{optimale}



Sim. < Obs.

$K_{\text{élevée}}$

```
if Sim. < Obs.:  
    decrease K  
if Sim. > Obs.:  
    increase K  
if Sim. = Obs.:  
    stop  
print('Objectif atteint !')
```

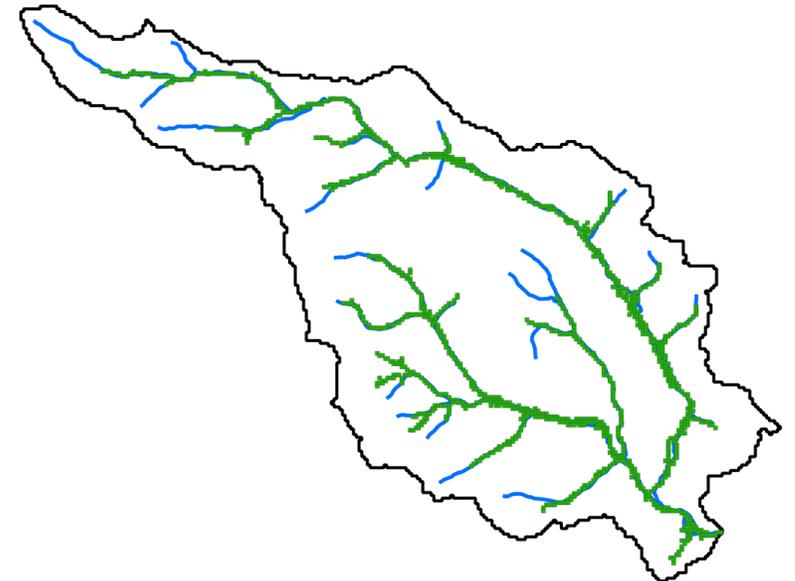
Conductivité hydraulique (K) appliquée au modèle

Exemple d'application sur un site pilote

$K / R = 100.0$



$K = 6.37e-07 \text{ [m/s]}$



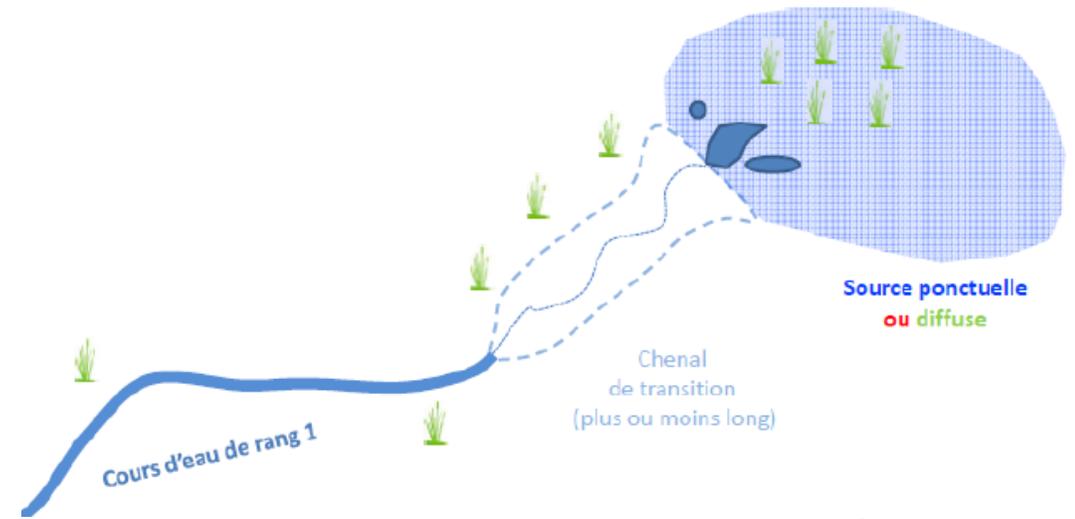
$K_{\text{optimale}} = 4 \times 10^{-6} \text{ m/s}$

La prise en compte des « rang 0 »

Définition au sein des réseaux hydrographiques

Les rangs zéro sont définis comme les surfaces à l'extrême amont des TBV où apparaissent les premiers écoulements superficiels sans lit à berges distinctes, dits « achenalisés » (Benda *et al.*, 2005 ; Gomi *et al.*, 2002 ; Grieve *et al.*, 2018)

Ce sont les aires d'alimentation directes des cours d'eau
Meyer *et al.*, 2007



Le Bihan, 2019

La restauration des rangs 0

La plupart des rangs 0 du territoire sont dégradés par drainage (Galineau, 2020)



@Péchar

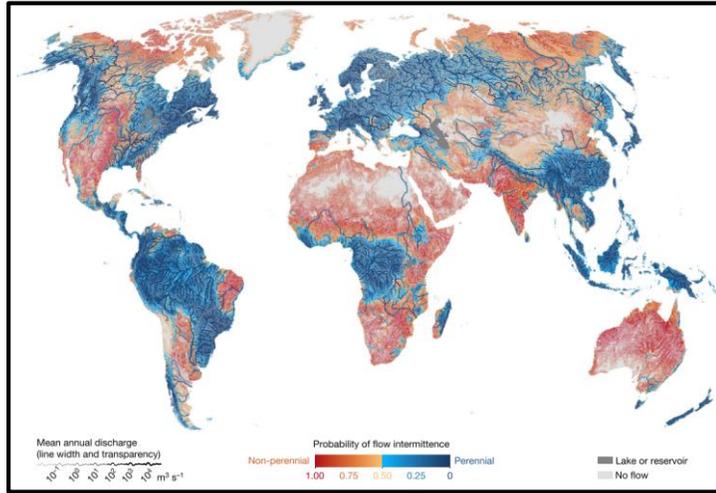


@Péchar

Méthodes récentes encore en expérimentation

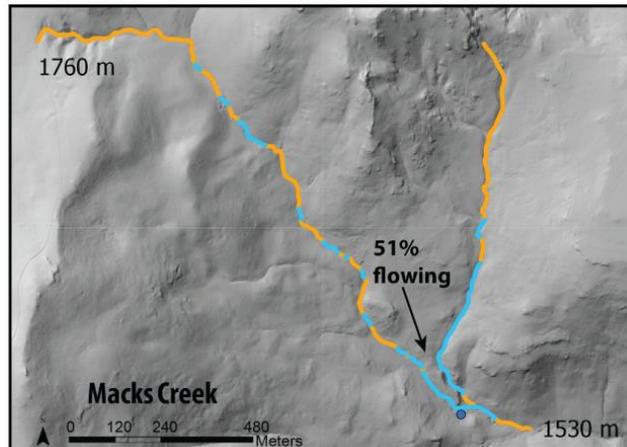
Les méthodes de restauration à employer pour ces rangs 0 sont différentes que pour des cours d'eau "normaux"

Coupler la méthode aux données d'intermittence des cours d'eau



« **60%** des cours d'eau de la planète ne s'écoulent pas pendant au moins 1 jour dans l'année »

(Messenger et al., 2021)



(Warix et al., 2021)

Cours d'eau intermittents

Définition : assèchement dans le temps

Mars

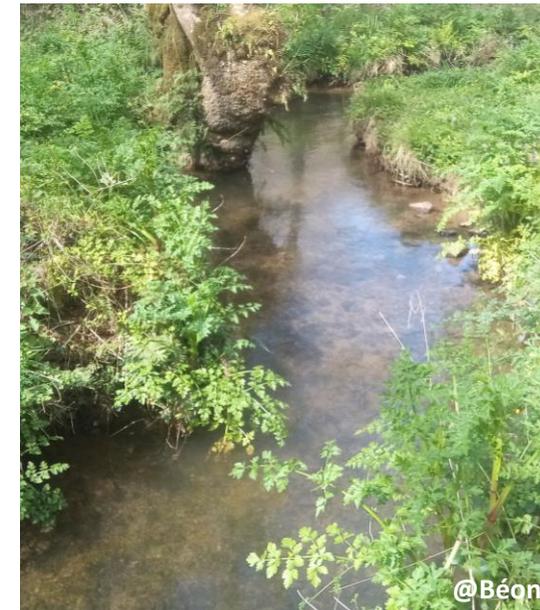
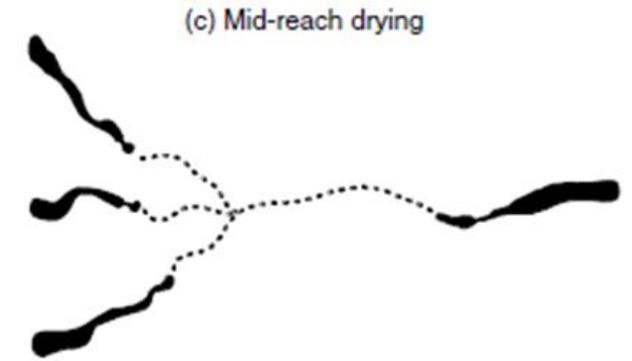
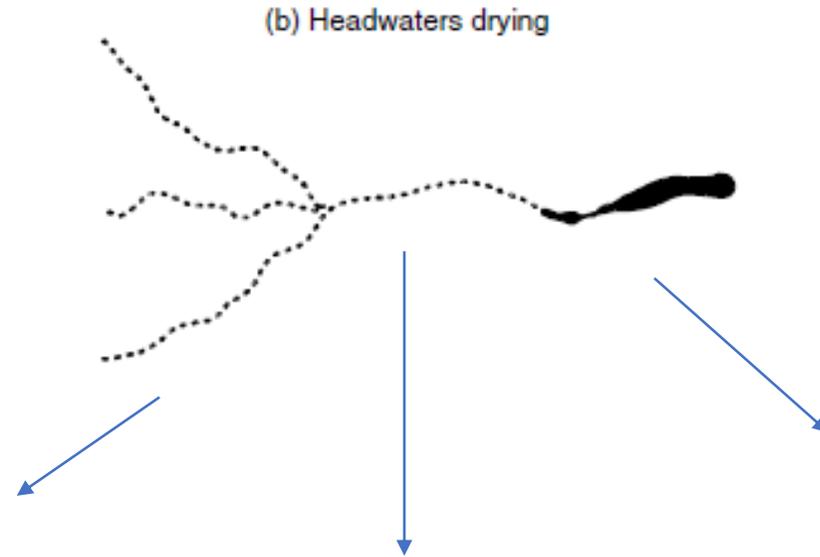
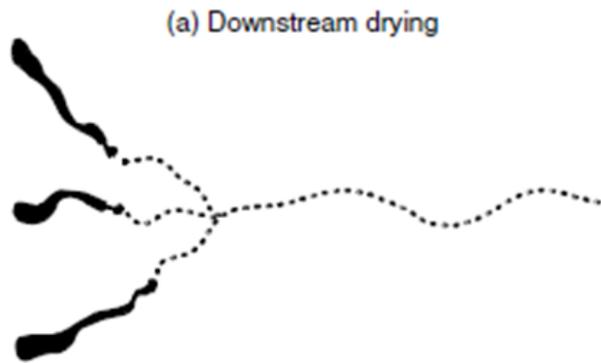
Mai

Juillet

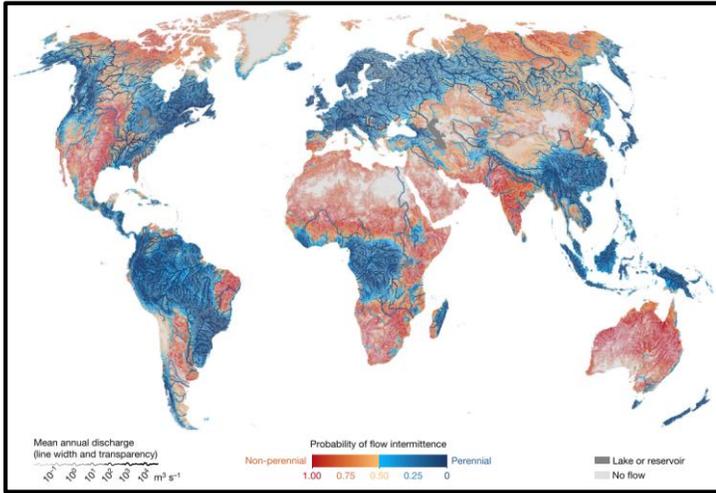


Cours d'eau intermittents

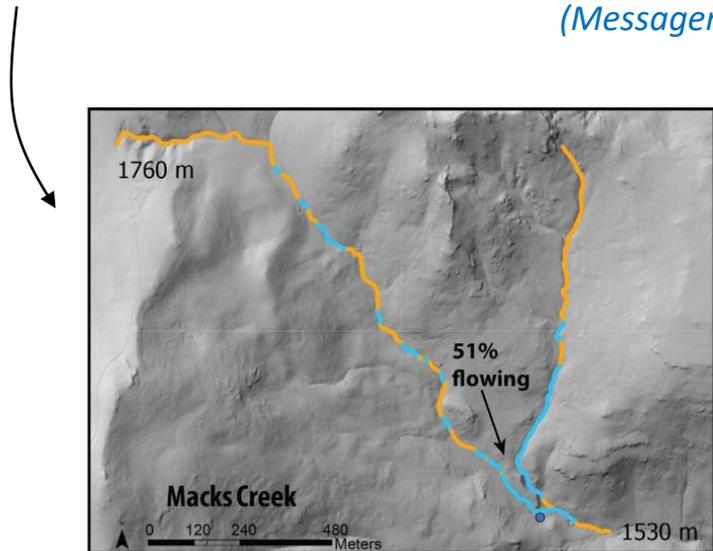
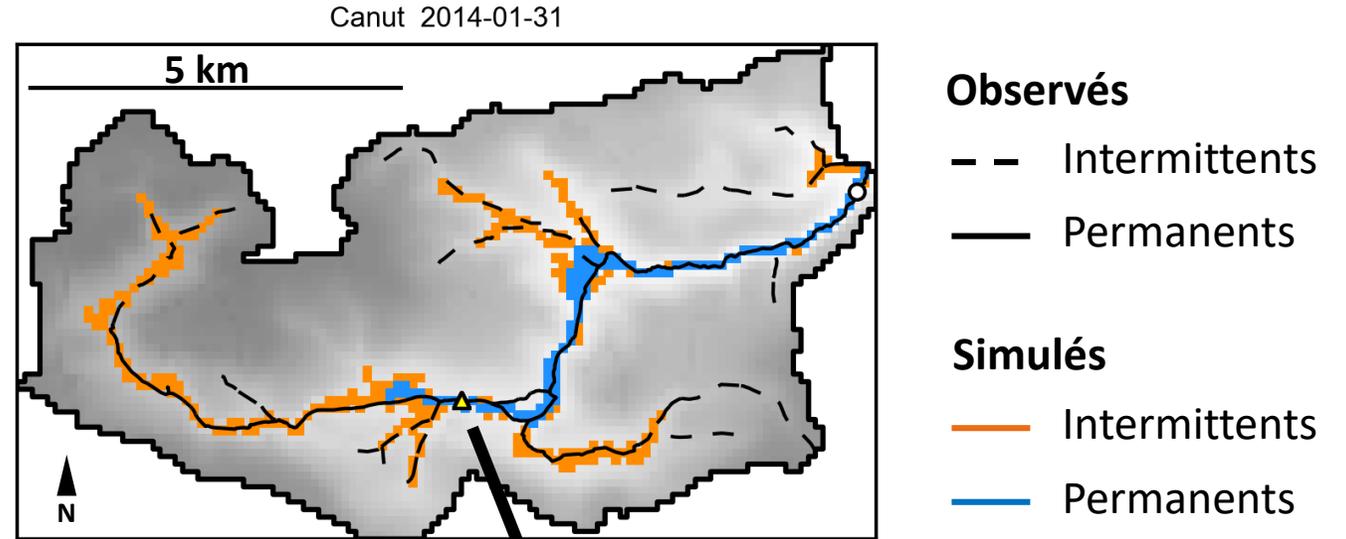
Définition : assèchement dans l'espace (Lake, 2003)



Coupler la méthode aux données d'intermittence des cours d'eau



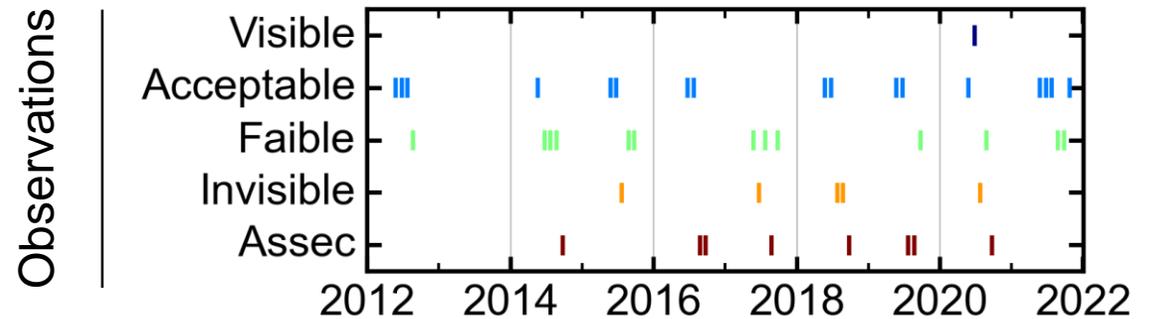
« 60% des cours d'eau de la planète ne s'écoulent pas pendant au moins 1 jour dans l'année »
 (Messenger et al., 2021)



(Warix et al., 2021)

BD ONDE®

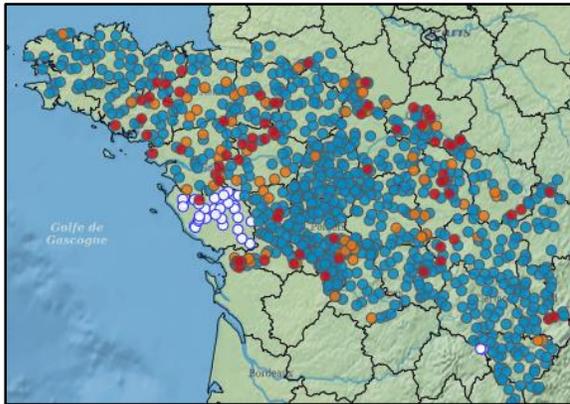
J7513011 - Le Canut Nord



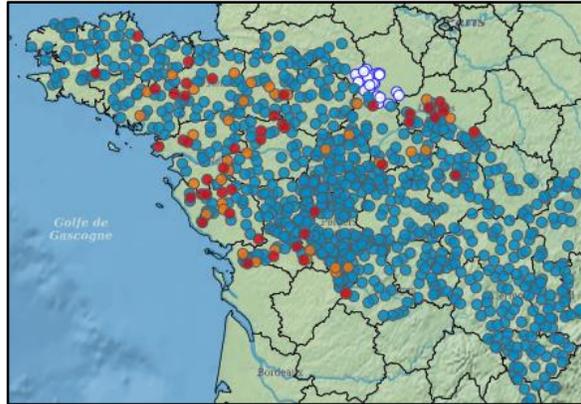
✓ Le modèle reproduit l'intermittence observée

septembre

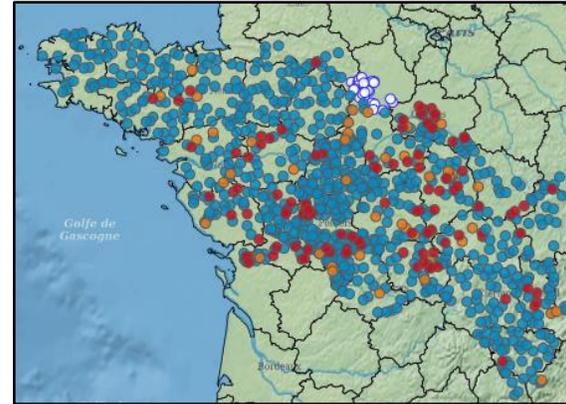
2014



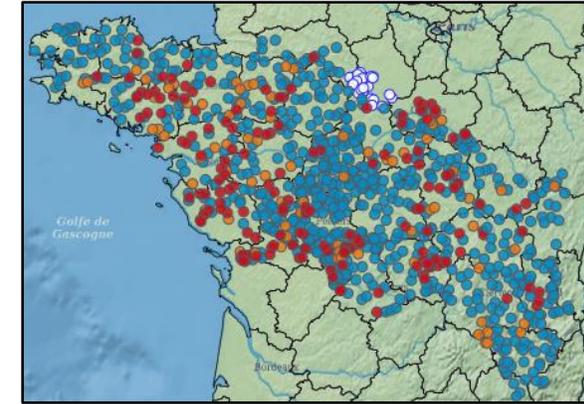
2015



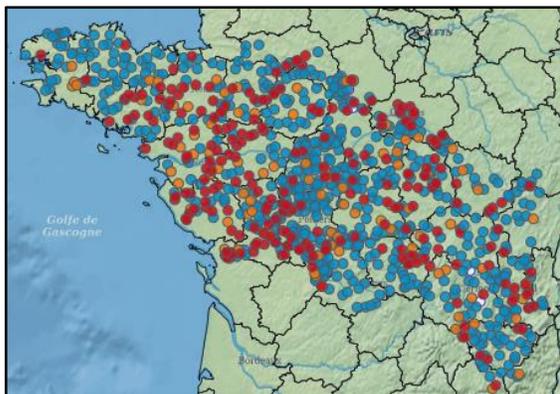
2016



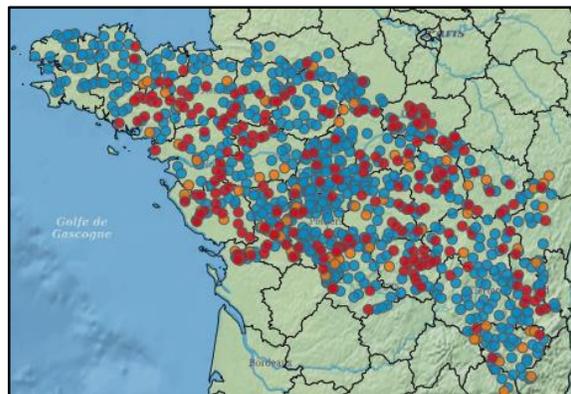
2017



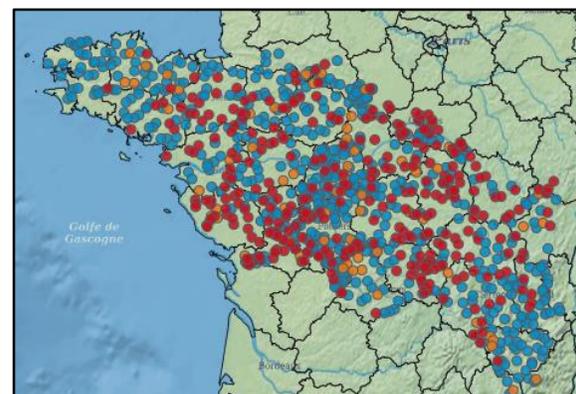
2018



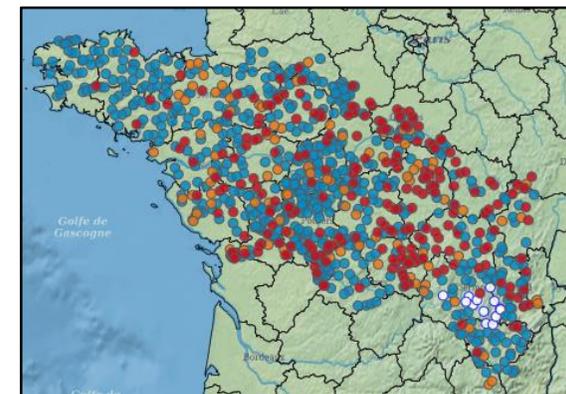
2019



2020



2021

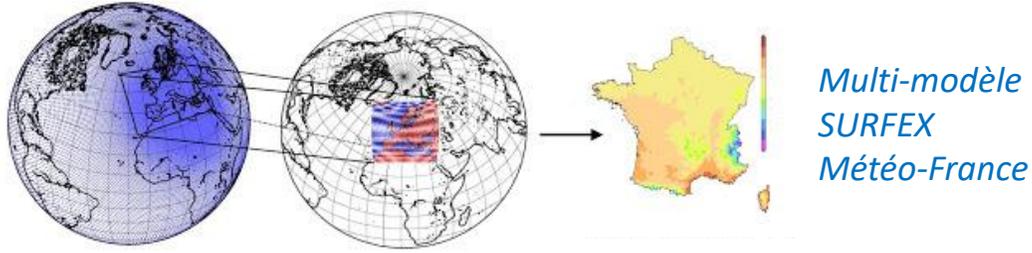


Sommaire de la présentation

- 1) Localisation du territoire et contexte de la chaire Eaux et Territoires
- 2) Évolution historique des ressources à l'échelle du bassin rennais
- 3) Développement d'une démarche de modélisation hydro(géo)logique
- 4) Exemple de prédictions des débits

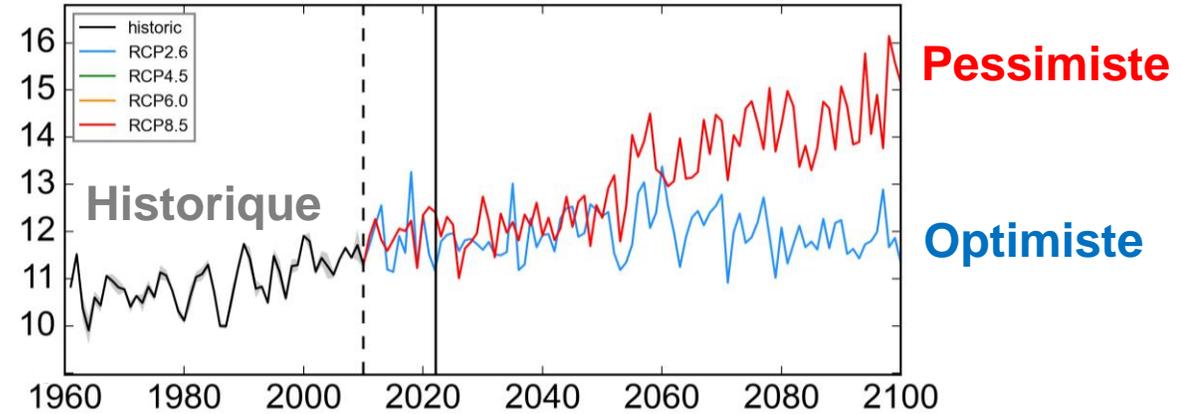
Scénarios et projections climatiques

CMIP5 : intercomparaison multi-modèles (GIEC, 2014)

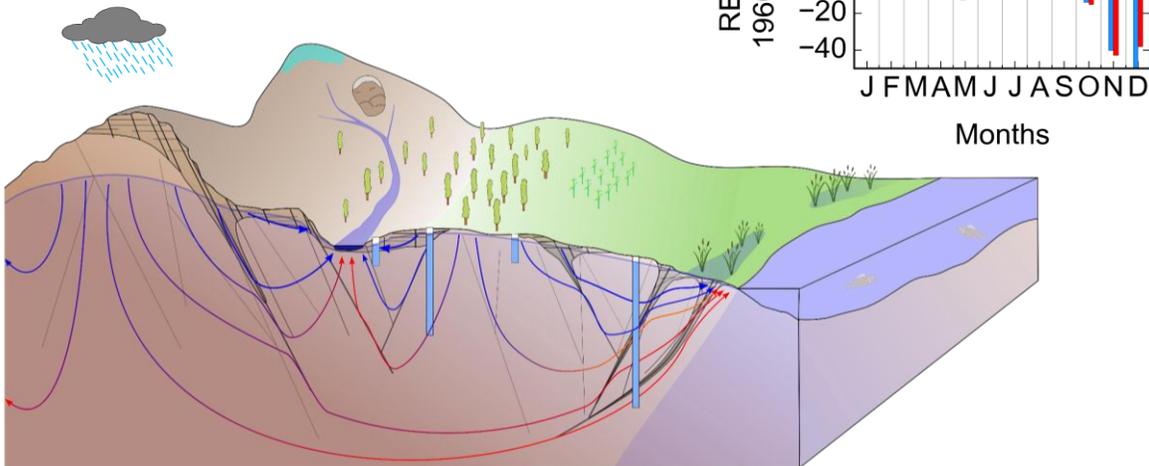


4 scénarios RCPs d'émission de gaz à effet de serre

Modèle IPSL + PPT, ETR, RUN, REC

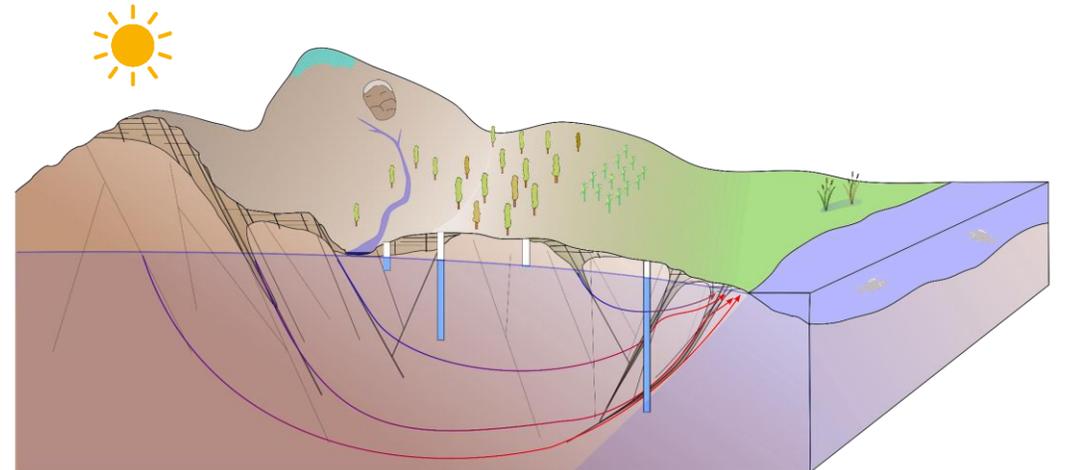


Recharge historique



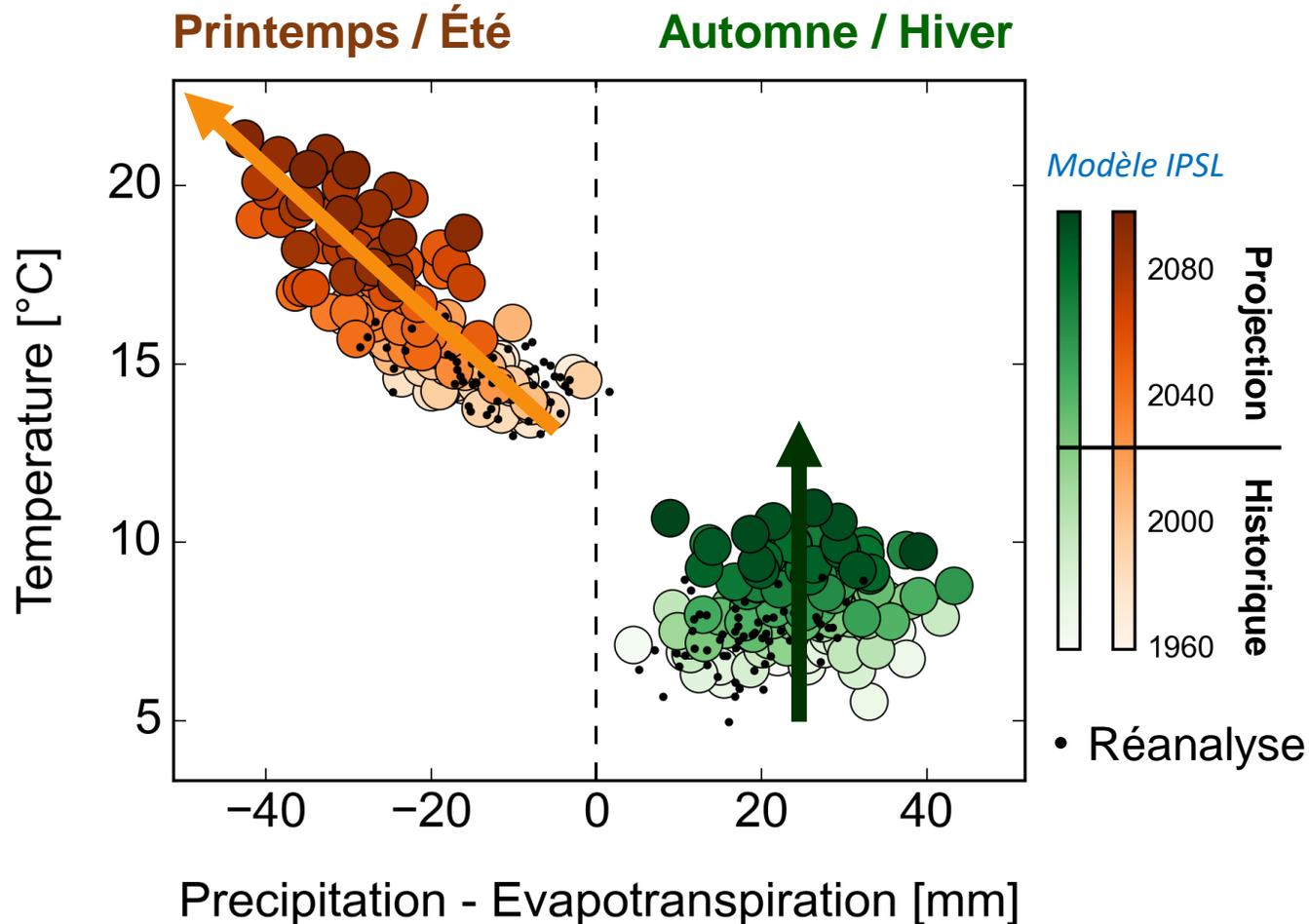
Modèle hydrogéologique du bassin versant calibré

Recharge future **optimiste** et **pessimiste**

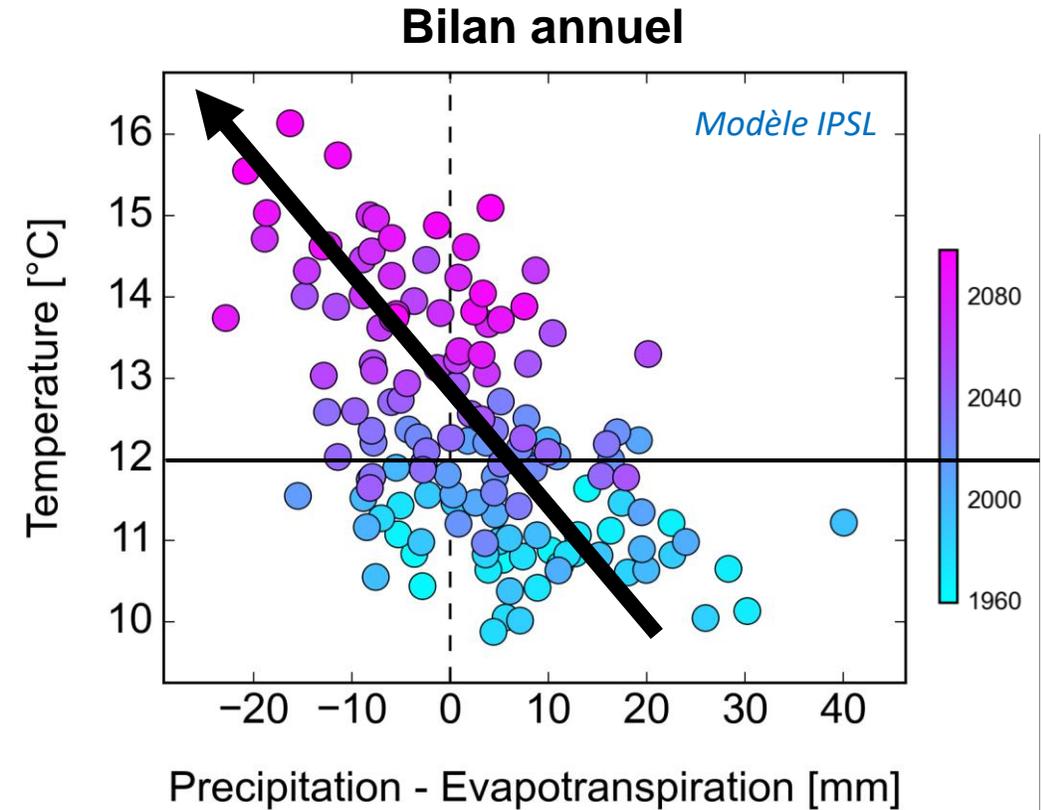


Prédiction de l'évolution des ressources en eau

Analyse des données prospectives : entrées des modèles hydrogéologiques



- Bilan constant en hautes eaux
- Bilan de plus en plus négatif en basses eaux



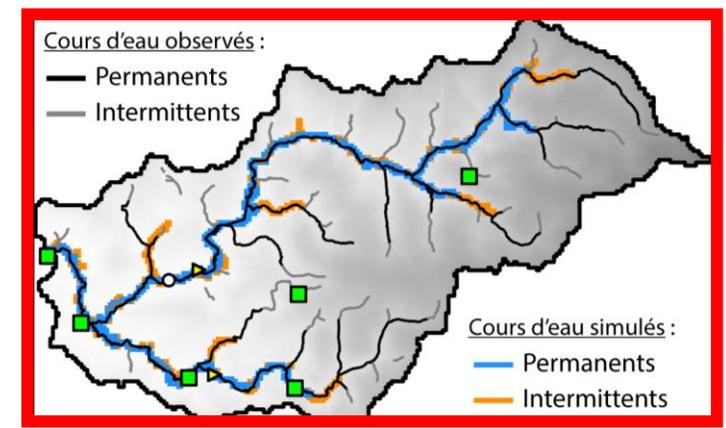
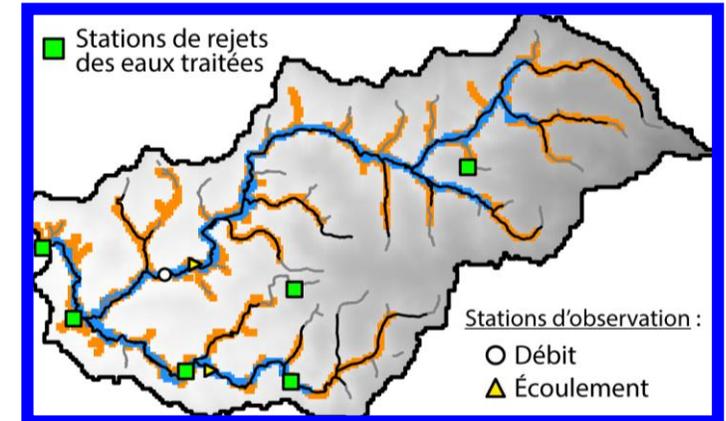
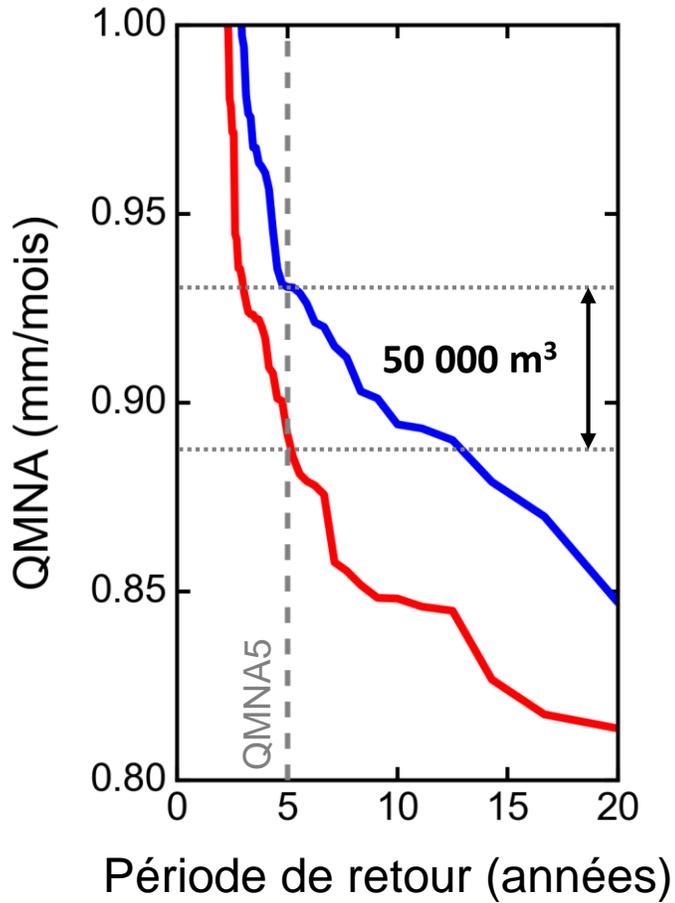
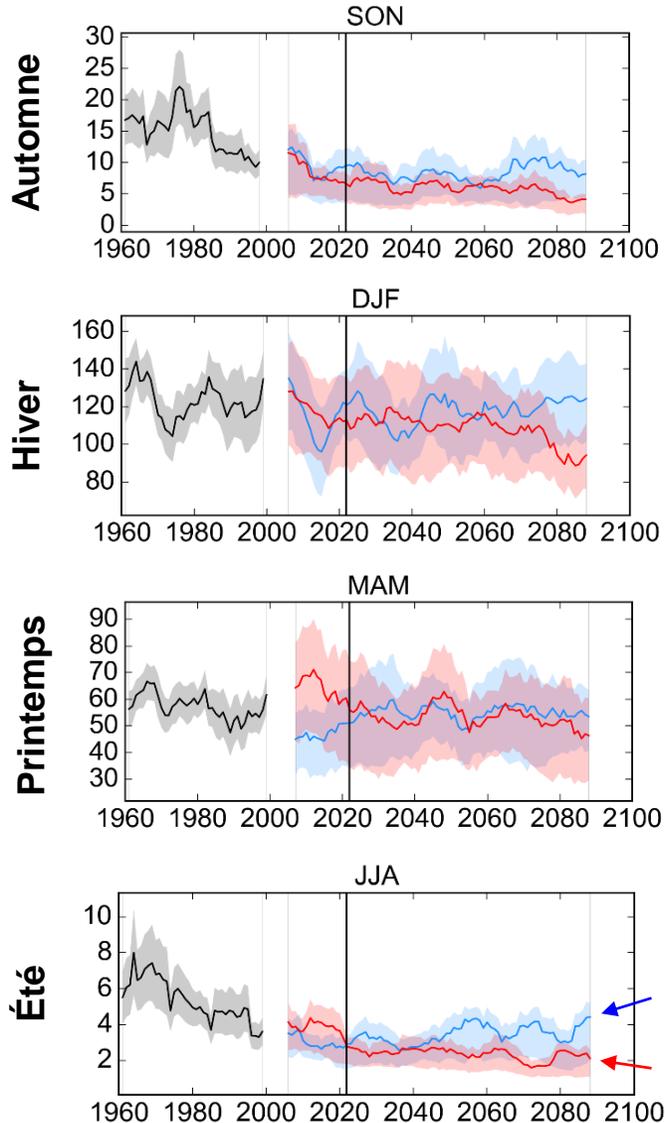
- Bilan annuel systématiquement négatif

Quel impact sur la répartition de la quantité d'eau dans l'espace et le temps ?

Modélisation de la quantité des ressources en eau dans le futur

Moyenne glissante sur 10 ans

Débit moyen (mm/mois)



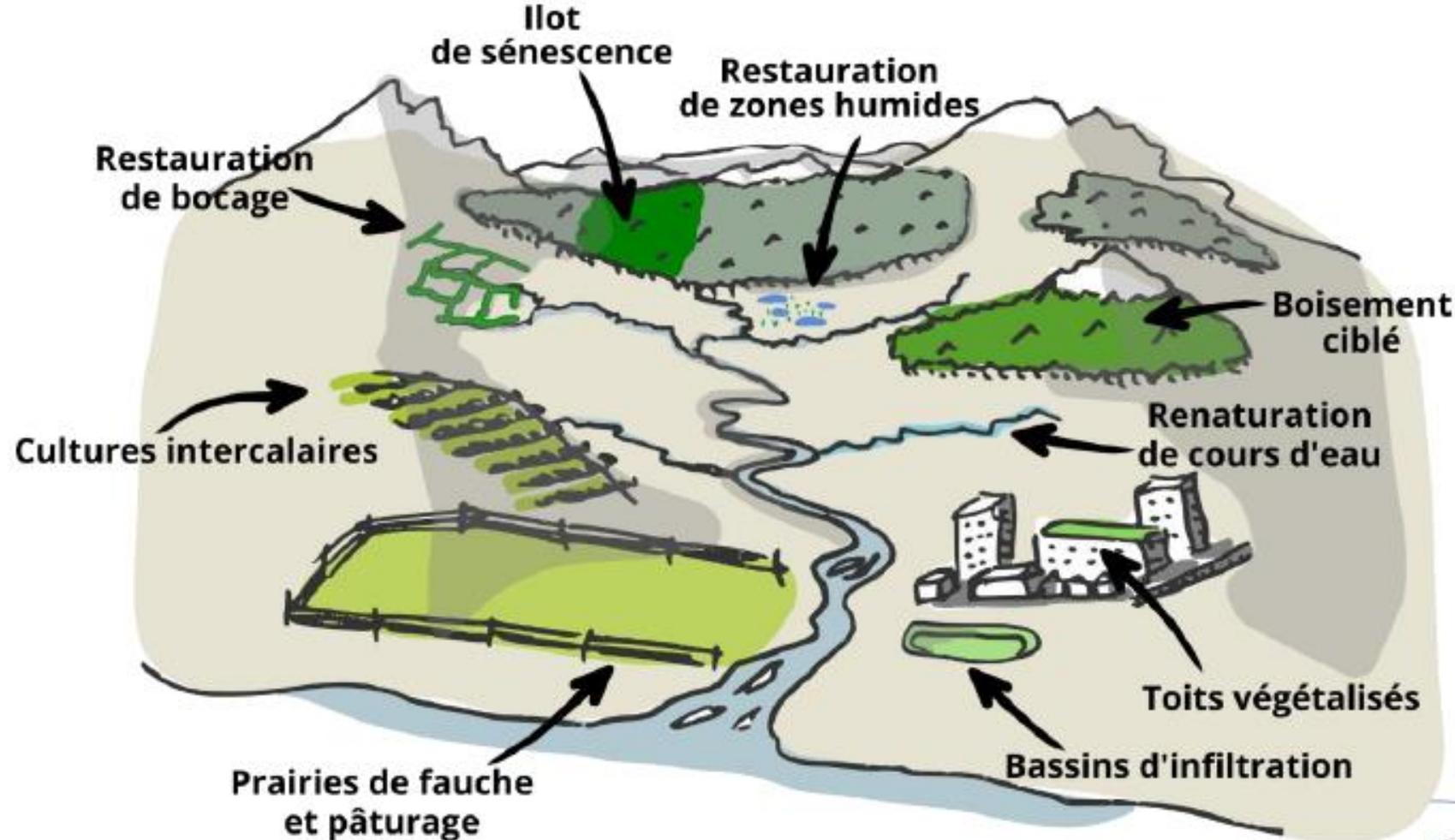
Hiver 2050

- Débits d'étiage et assecs plus intenses et plus fréquents

➤ **Modification spatio-temporelle de la distribution des ressources en eau**

MNRE : mesures naturelles de rétention d'eaux

Différentes natures de MNRE avec un même objectif : augmenter la capacité de rétention d'eau dans le BV



La multiplication des MNRE au sein d'un BV contribue simultanément à plusieurs objectifs :

- Prévenir les risques d'inondation ;
- Réduire les déficits quantitatifs ;
- Améliorer la qualité des eaux ;
- Restaurer des habitats aquatiques et humides

Une mesure peut apporter plusieurs bénéfices



Temps d'échanges

Attention : les graphiques sans auteurs mentionnés sont tous issus des travaux de thèse de Ronan Abhervé, merci de les citer comme suit

- **ABHERVÉ, R. 2019-2022.** Sujet de thèse : Intégration du changement climatique dans le gestion de la ressource en eau : exemple du bassin Rennais. Université de Rennes 1 - Eau du Bassin Rennais - Rennes Métropole : Chaire Eaux et Territoires.

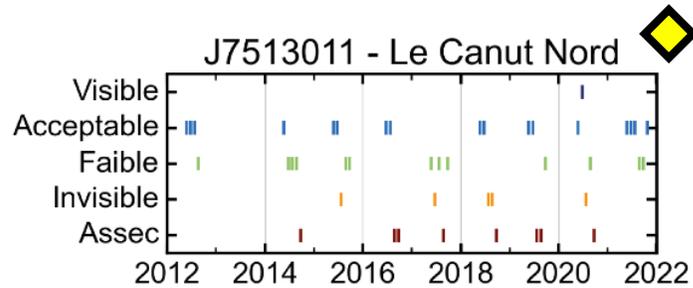
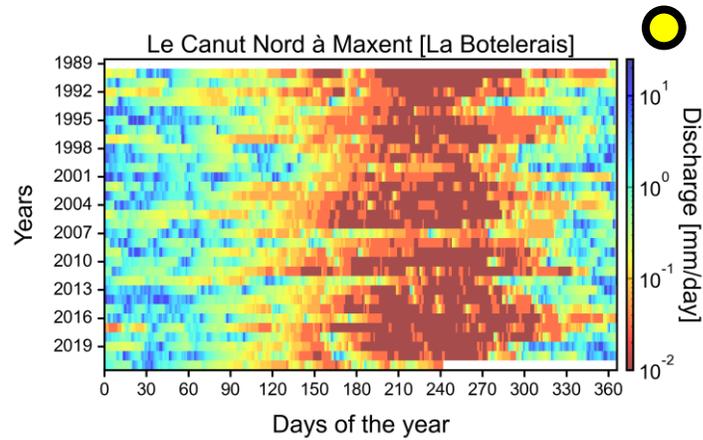
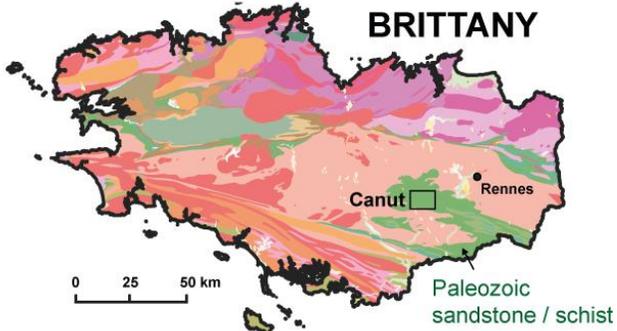
Références bibliographiques

- **ALEXANDER, G. G., & ALLAN, J. D. (2007).** Ecological success in stream restoration: case studies from the midwestern United States. *Environmental Management*, 40(2), 245-255.
- **BENDA L., HASSAN M.-A., CHURCH M. & MAY C.-L, 2005,** Geomorphology of steepland headwaters : the transition from hillslopes to channels, *Journal of the American Water Resources Association (JAWRA)*, 41 (4), 835-851.
- **DATRY T, MARMONIER P, LAFONT M (2008).** La zone hyporhéique, une composante à ne pas négliger dans l'état des lieux et la restauration des cours d'eau. *Ingeniries* 54 :3–18.
- **DUBREUIL, V., LAMY, C., & PLANCHON, O. (2018).** Les sécheresses à Rennes: passé, présent et futur. In *Les risques naturels dans le contexte de changement climatique*. (pp. 15-21).
- **GALINEAU, M., LE BIHAN, M., HUBERT, A. (2020).** Etude exploratoire des rangs 0 sur le territoire Bretagne et Pays de la Loire. DR OFB. Rapport de stage de fin d'études.
- **GOMI, T., SIDLE, R. C., & RICHARDSON, J. S. (2002).** Understanding processes and downstream linkages of headwater systems: headwaters differ from downstream reaches by their close coupling to hillslope processes, more temporal and spatial variation, and their need for different means of protection from land use. *BioScience*, 52(10), 905-916.

Références bibliographiques

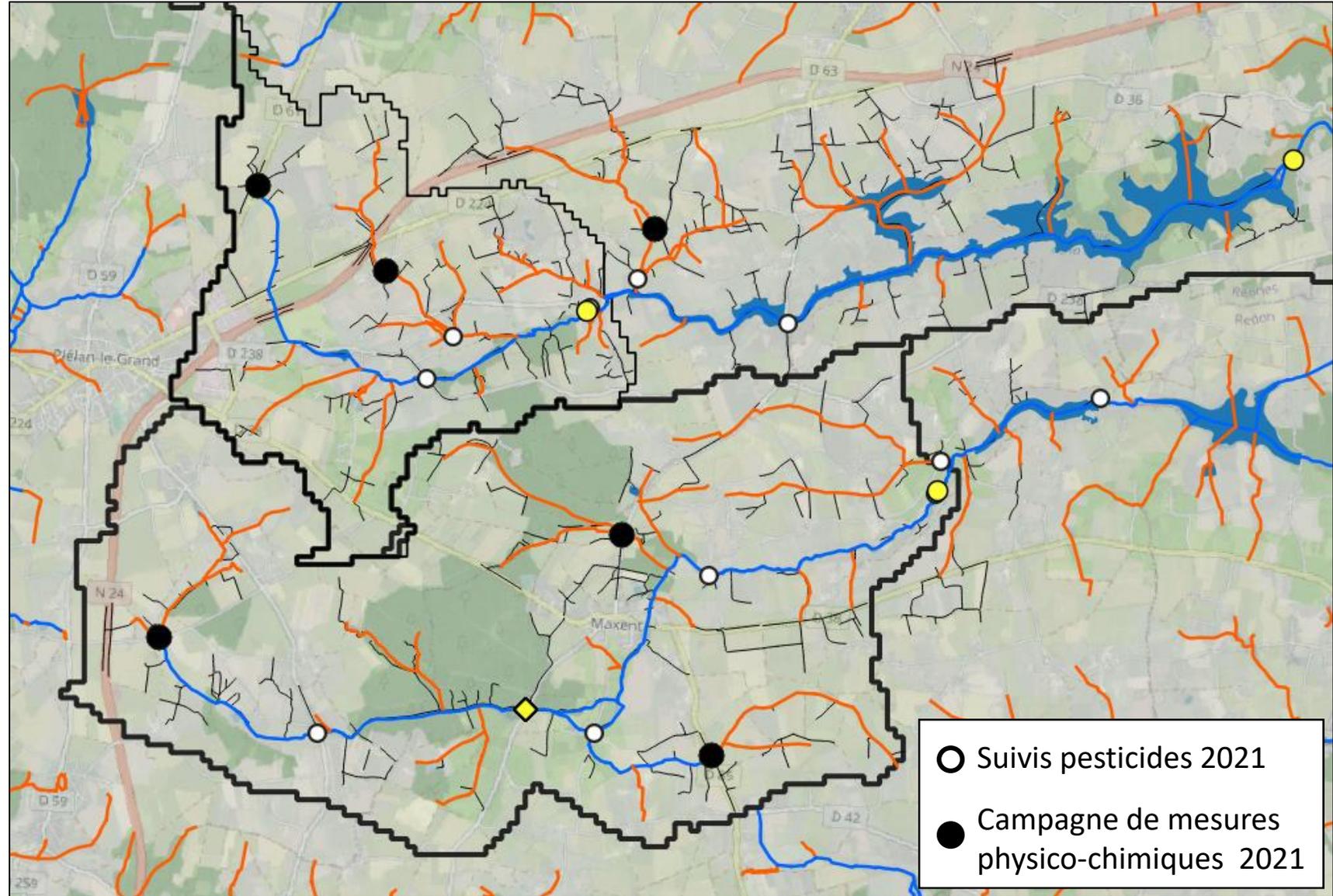
- **GRIEVE, S. W., HALES, T. C., PARKER, R. N., MUDD, S. M., & CLUBB, F. J. (2018).** Controls on zero-Order Basin morphology. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 123(12), 3269-3291.
- **HARI, V., RAKOVEC, O., MARKONIS, Y., HANEL, M., & KUMAR, R. (2020).** Increased future occurrences of the exceptional 2018–2019 Central European drought under global warming. *Scientific reports*, 10(1), 1-10.
- **JANISCH, J. E., FOSTER, A. D., & EHINGER, W. J. (2011).** Characteristics of small headwater wetlands in second-growth forests of Washington, USA. *Forest Ecology and Management*, 261(7), 1265-1274.
- **LAKE, P. S. (2003).** Ecological effects of perturbation by drought in flowing waters. *Freshwater biology*, 48(7), 1161-1172.
- **LE BIHAN, 2013,** Réunion d'information sur les têtes de bassin versant : connaissance, méthodes, outils et perspectives, Support de présentation, 185 pages.
- **LEIBOWITZ, S. G., LANE, C. R., AUTREY, B. C., LEDUC, S. D., & ALEXANDER, L. C. (2018).** Hydrological, physical, and chemical functions and connectivity of non-floodplain wetlands to downstream waters: A review. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 54(2), 346-371.
- **MESSAGER, M. L., LEHNER, B., COCKBURN, C., LAMOUREUX, N., PELLA, H., SNELDER, T., ... & DATRY, T. (2021).** Global prevalence of non-perennial rivers and streams. *Nature*, 594(7863), 391-397.
- **MEYER J.L., STRAYER D.L., WALLACE J.B., EGGERT S.L., HELFMAN G.S & LEONARD N.E., 2007,** The contribution of headwaters streams to biodiversity in river networks, *Journal of the American water resources association (JAWRA)*, 43 (1), 86-103.
- **ORAISON, F., SOUCHON, Y., VAN LOOY, K. (2011).** Restaurer l'hydromorphologie des cours d'eau et mieux maîtriser les nutriments: une voie commune?. *Pô Hydroécologie Cours Eau Onema-Irstea Lyon MAEPLHQ* 42p.
- **PASCOLINI-CAMPBELL, M., REAGER, J. T., CHANDANPURKAR, H. A., & RODELL, M. (2021).** A 10 per cent increase in global land evapotranspiration from 2003 to 2019. *Nature*, 593(7860), 543-547.
- **ROQUES, C., WEBER, U. W., BRIXEL, B., KRIETSCH, H., DUTLER, N., BRENNWALD, M. S., ... & KIPFER, R. (2020).** In situ observation of helium and argon release during fluid-pressure-triggered rock deformation. *Scientific reports*, 10(1), 1-9.
- **WARIX, S. R., GODSEY, S. E., LOHSE, K. A., & HALE, R. L. (2021).** Influence of groundwater and topography on stream drying in semi-arid headwater streams. *Hydrological Processes*, 35(5), e14185.

Instrumentation de site



Permanent

BD TOPO 2022 (peu fiable sur l'intermittence)



Intermittent