

Avec le soutien de :



# COLLOQUE GESTION DES EAUX SOUTERRAINES

Du 15 au 17 février 2023  
à l'ENSEGID - Bordeaux INP

## L'apport des statistiques dans l'identification de l'influence des eaux souterraines dans le régime thermique de rivières en Normandie

N. Moulin<sup>1</sup>, F. Gresselin<sup>3</sup>, F. Kauffmann<sup>2</sup>, H. Le Lay<sup>1</sup>, B. Dardaillon<sup>3</sup> et Z. Thomas<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Institut Agro Rennes-Angers, UMR 1069 SAS

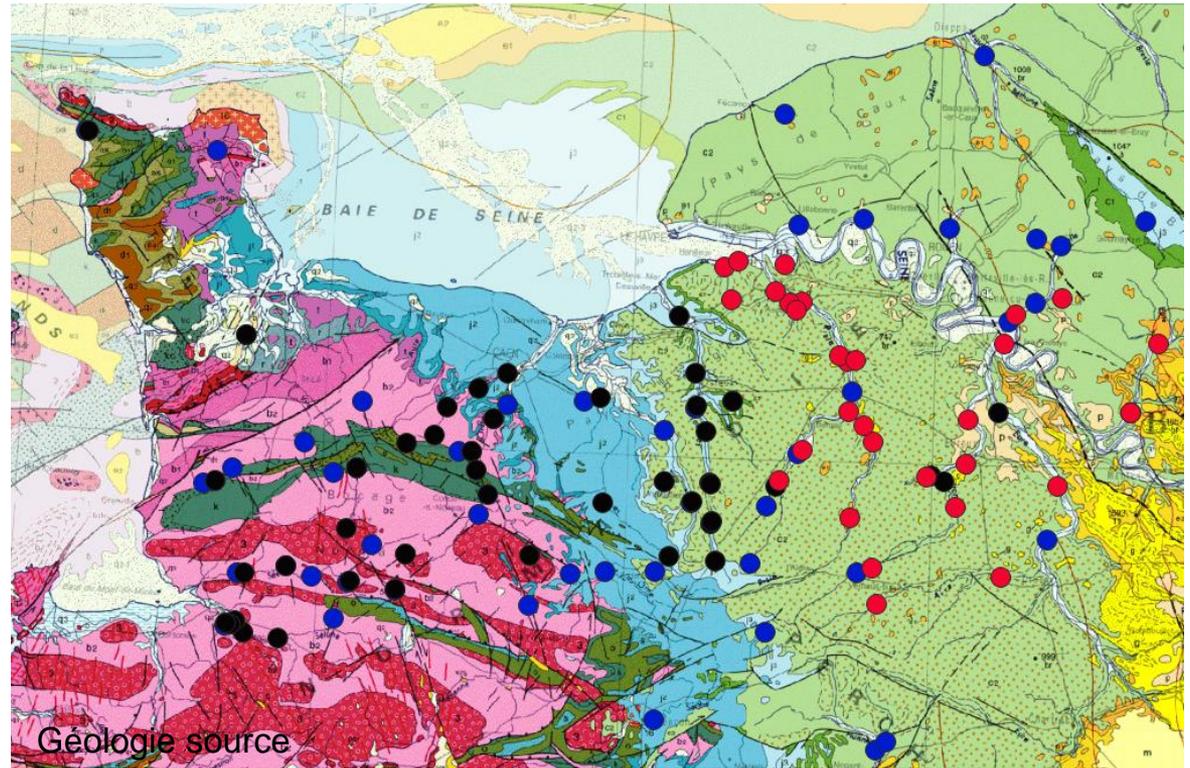
<sup>2</sup> LMNO, UMR 6139, Université de Caen-Normandie

<sup>3</sup> DREAL Normandie



# Les réseaux de suivi de la température des rivières de Normandie

- DREA
- L  
● Fédé pêche Eure
- OF
- B

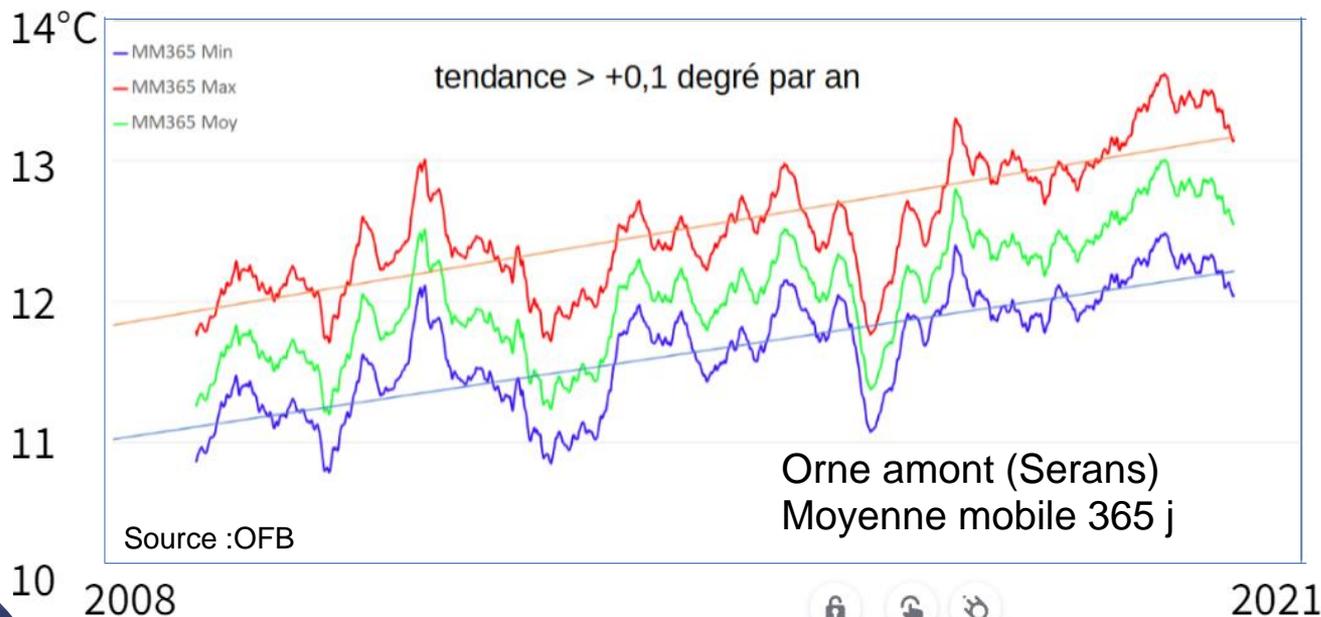


# La température des rivières de Normandie est orientée à la hausse

L'Orne à Serans est la plus longue chronique disponible en Normandie

Tendance à la hausse d'environ 1,5°C sur 12 ans

Tendance hautement significative sur un plan statistique

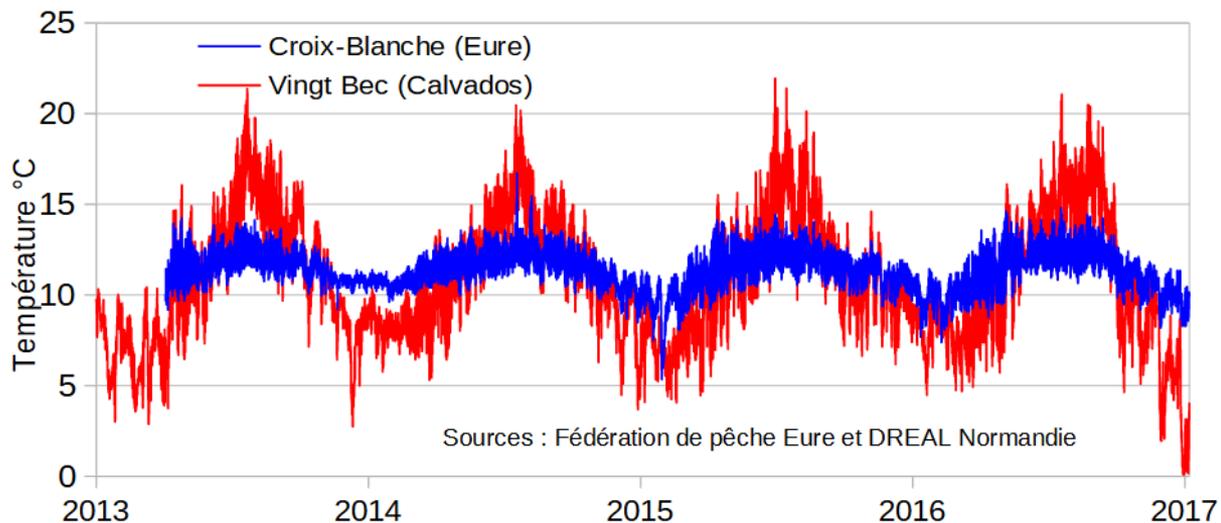


Analyser les facteurs de contrôle de la température par lesquels il est possible d'agir afin de limiter les effets du changement climatique

Les rivières fortement influencées par les eaux souterraines ont une signature thermique très particulière, surtout près des sources.

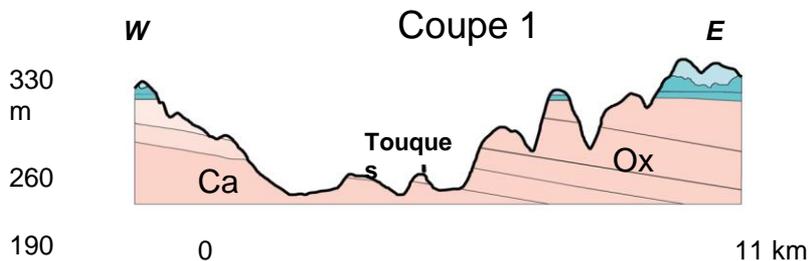
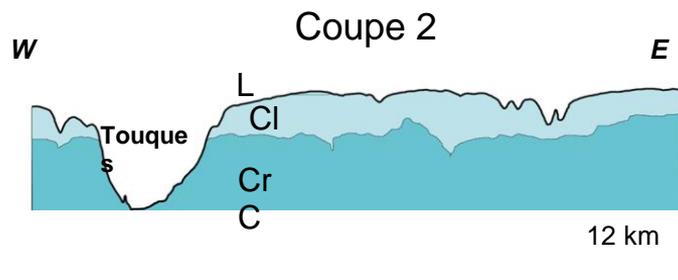
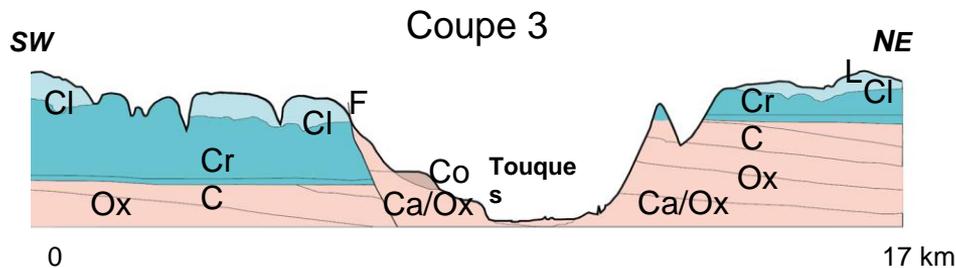
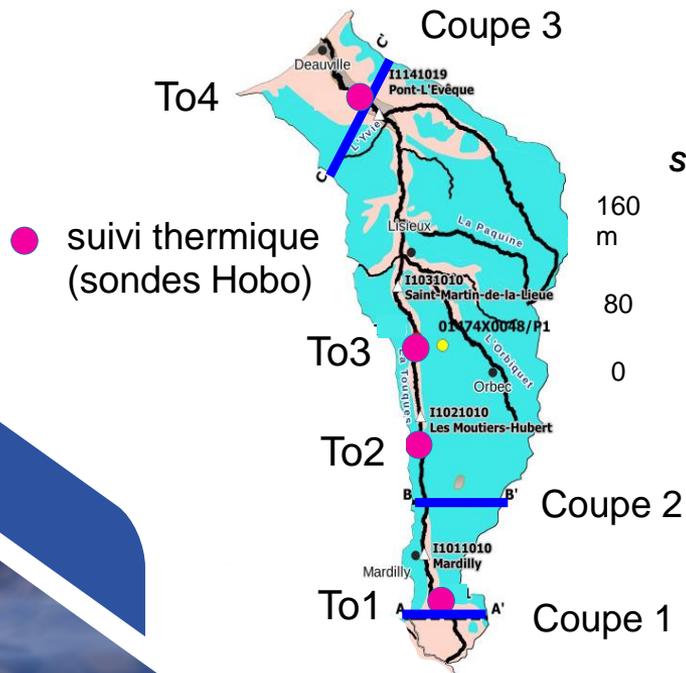
Leur signal est mal corrélé à celui de la température de l'air, avec peu de variation thermique entre l'hiver et l'été

Comparaison entre la température d'une rivière très influencée par les eaux souterraines (la Croix-Blanche) et celle d'une rivière peu influencée (le Vingt-Bec)





# Géologie des sites du suivi thermique



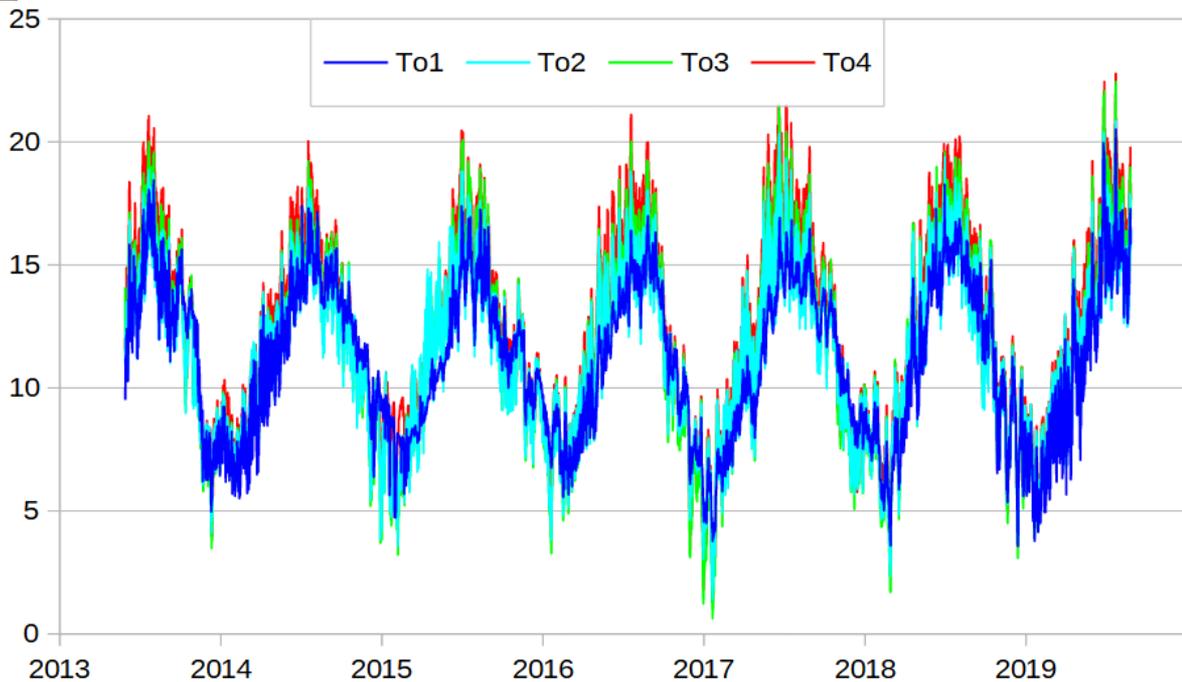
Co : colluvions  
 L : limons  
 Cl : argiles à silex  
 CrC : craie  
 Ox : marnes calcaires  
 Ca : marnes

Station	T°C moy	T°C min	T°C max
To1	11,1	3,6	20,5
To2	11,4	1,4	20,8
To3	11,6	0,6	22,4
To4	12,2	1,5	23,0

# La température de la Touques

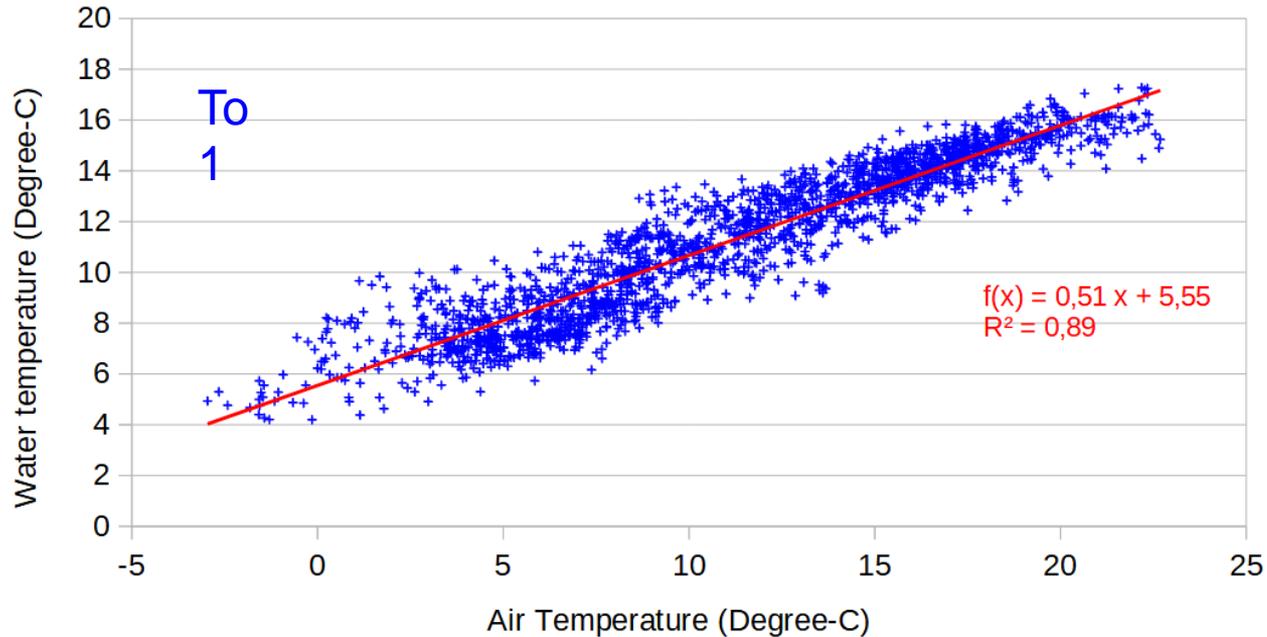
4 séries temporelles s'étendant de 2013 à 2019  
Cyclicités annuelle et journalière

- .Distance à la source
- .Distance à la mer
- .Autres facteurs



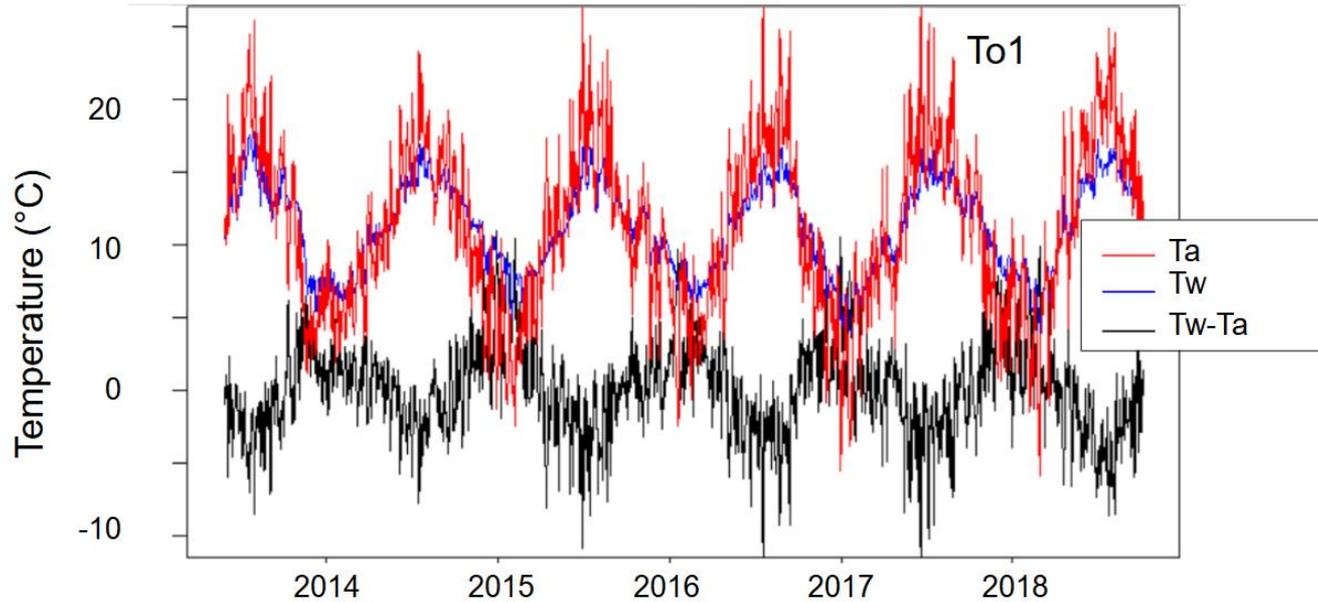
La température de la Touques est modérément corrélée à celle de l'air, surtout en amont

Ta = safran



La corrélation s'accroît d'amont en aval, en lien avec l'augmentation du temps de résidence de l'eau dans le fleuve qui laquelle favorise les échanges thermiques avec l'atmosphère.

La différence entre la température de l'air et celle de l'eau est un signal périodique. Quels en sont les facteurs de contrôle ?



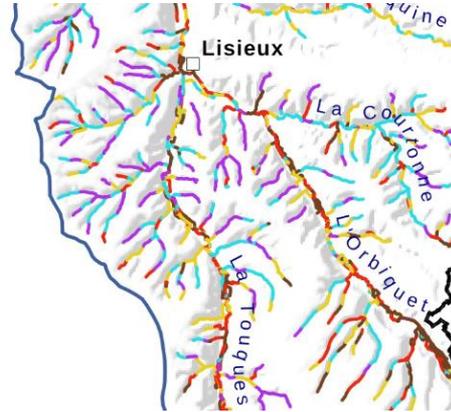
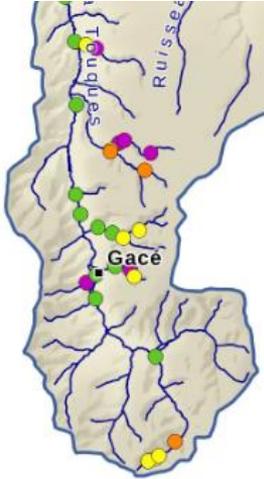
Ce signal signifie qu'un (au moins) des facteurs de contrôle du régime thermique de la Touques pondère son refroidissement hivernal et son réchauffement estival.

# Les facteurs de contrôle de la température de l'eau sont multiples : climatiques et autres

Des facteurs biologiques

## Des facteurs anthropiques

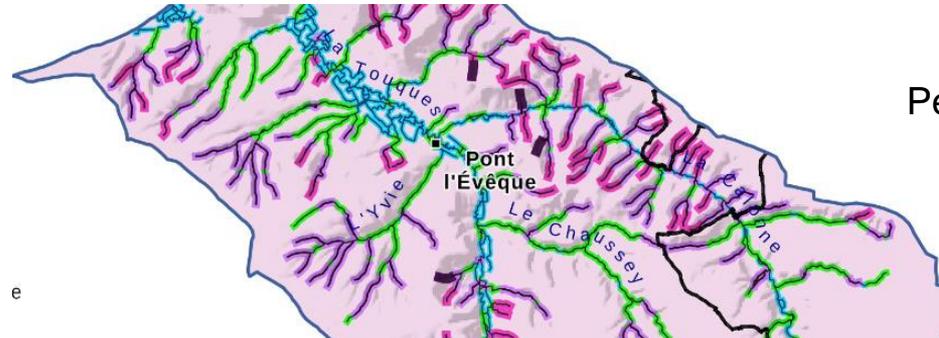
- Barrages, retenues
- Seuils
- Digues
- Buses
- Autres



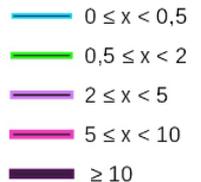
## % de ripisylve



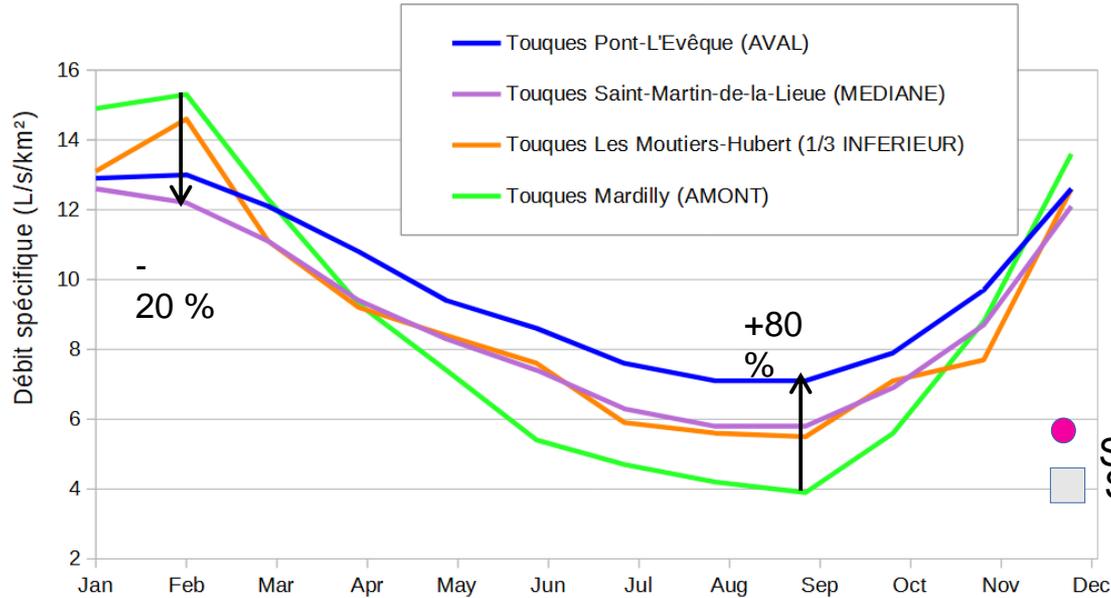
## Des facteurs physiques



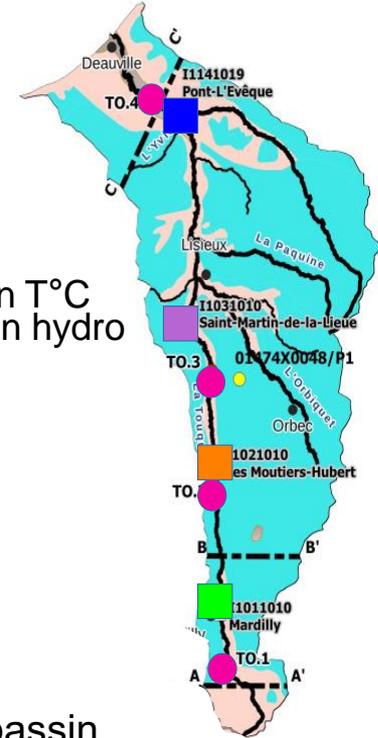
## Pente en %



# Le débit est un des facteurs de contrôle de la température des cours d'eau



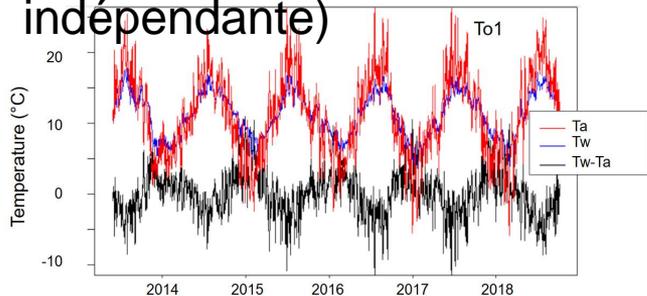
Station T°C  
Station hydro



- En hiver, le débit spécifique est plus élevé
- en amont qu'en aval
- En été, le débit spécifique est plus faible
- en amont qu'en aval
- Ces différences s'expliquent par la géologie du bassin (pentes et aquifères)

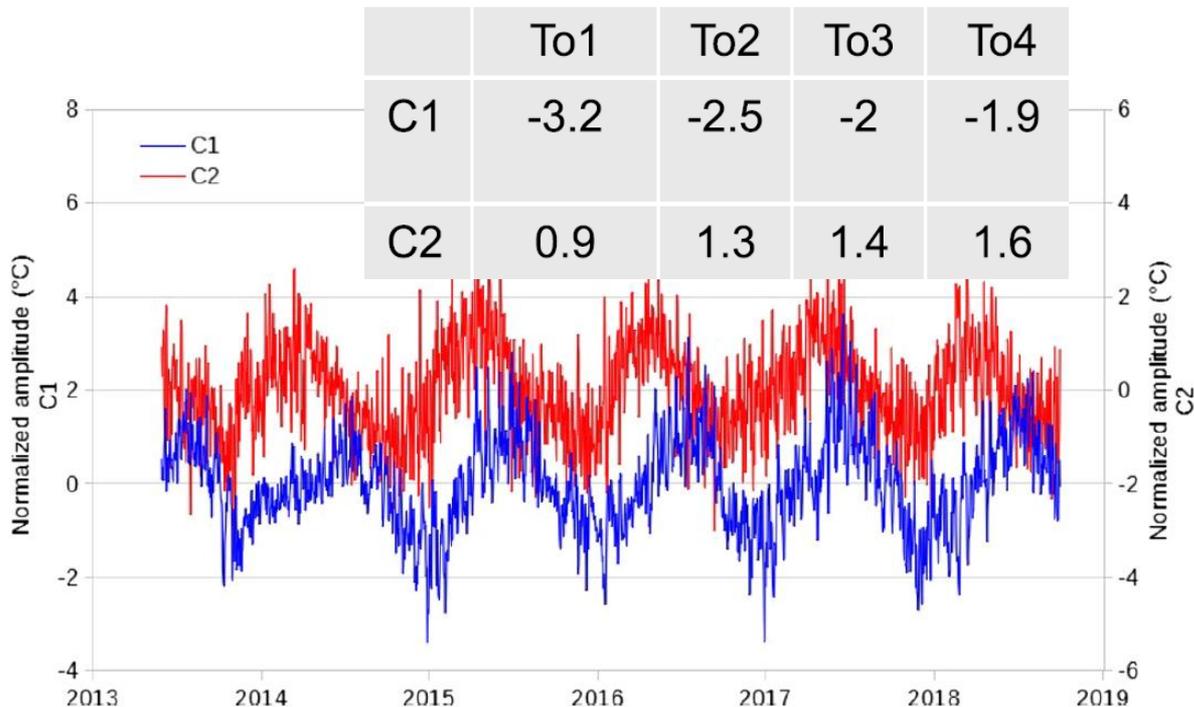
# Analyse des chroniques Tw-Ta pour les 4 stations thermiques

## Décomposition du signal par ACI (analyse en composante indépendante)



Deux composantes C1 et C2 ont été extraites par ACI

- Les deux signaux sont cycliques et en déphasage
- L'amplitude de C1 diminue d'amont en aval
- L'amplitude de C2 augmente d'amont en aval



## Approfondissement de l'analyse par ACP

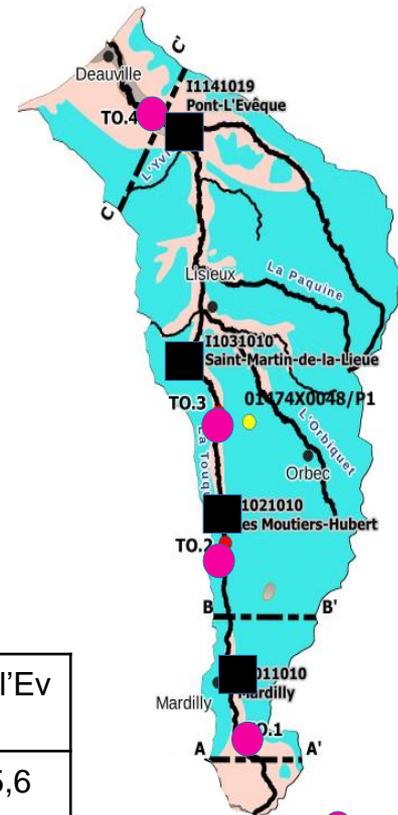
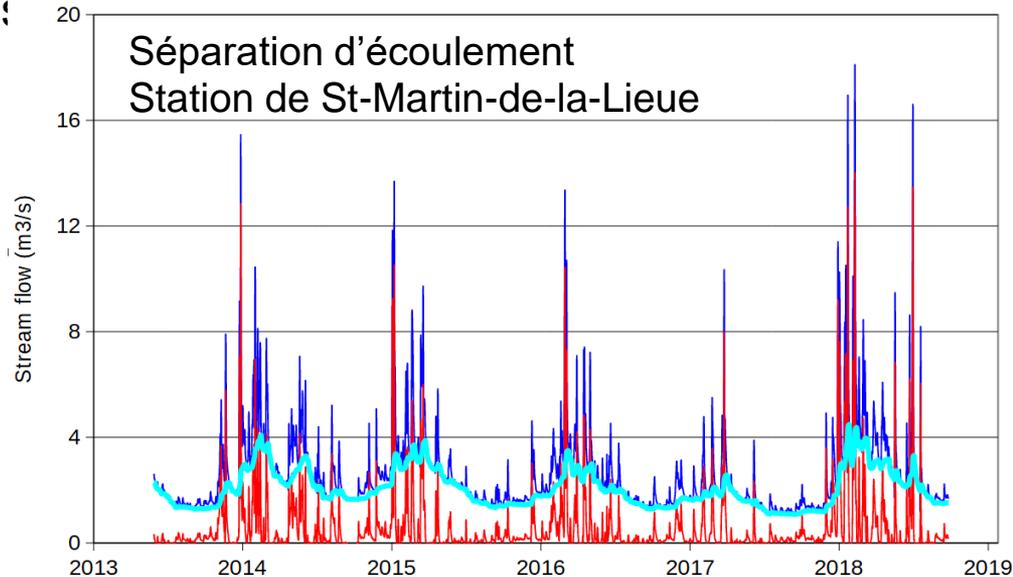
L'ACP a été construite à partir de 5 variables actives :

- .La chronique de température de l'eau, Tw
- .La chronique de température de l'air, Ta
- .La chronique de différence entre Ta et Tw, dénommée D
- .La chronique C1 (ACI sur D)
- .La chronique C2 (ACI sur D)

Des données hydrologiques supplémentaires sont représentées. Elles n'interviennent pas dans la fixation des axes

- .Le débit de base de la Touques, BF
- .Le débit de ruissellement de la Touques, RO
- .Le rayonnement solaire, SSI
- .La piézométrie de la nappe de la craie, P
- .L'évapo-transpiration, ER
- .Le baseflow index, BFI

La séparation d'écoulement a été conduite sur les 4 stations hydrométriques de la Touques les plus proches des sites thermique:



● Station T°C  
● Station hydro

% du débit	Mar	M-H	St-M	P-l'Ev
Runoff	30	23,6	22,1	5,6
Base flow	70	76,4	77,9	94,4

# Résultats de l'ACP : exemple pour la station To1, la Touques amont

5 variables actives

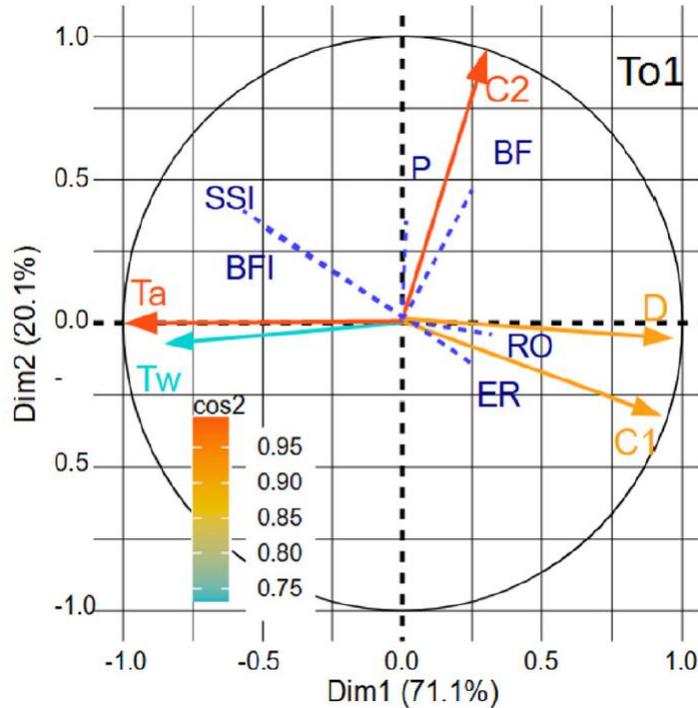
Ta = temp air

Tw = temp eau

D = Ta-Tw

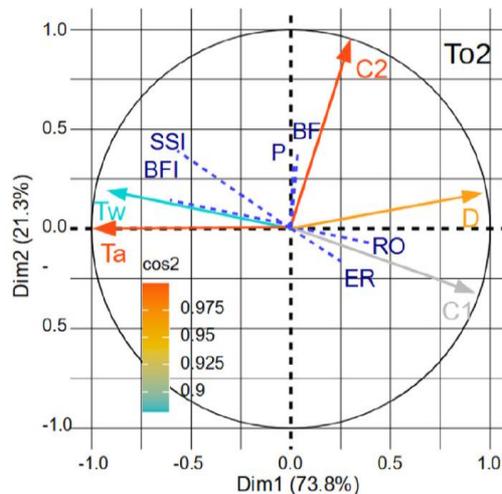
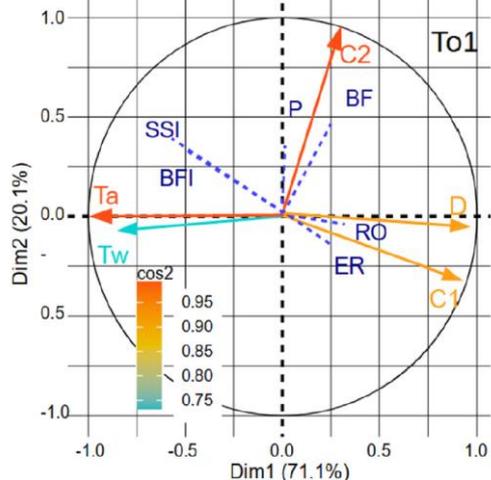
C1 = composante ACI

C2 = composante ACI



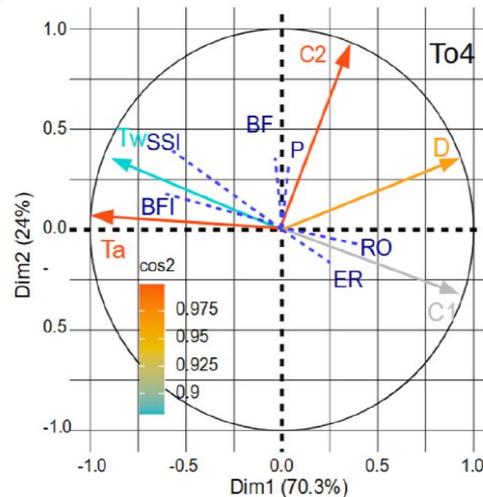
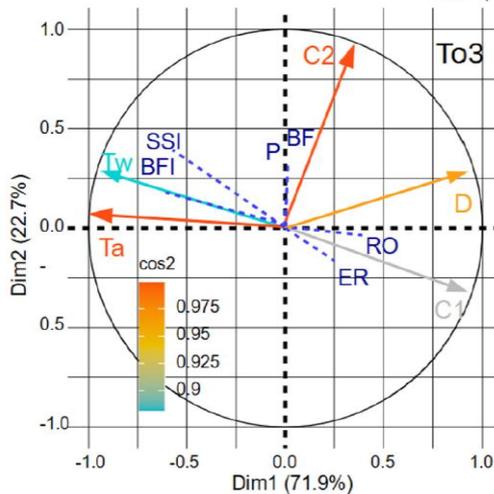
- .Les axes 1 et 2 expliquent 91 % de l'inertie totale de l'information
- .L'axe 1 (71,1%) est fixé par Ta, Tw, D et C1
- .L'axe 2 est fixé par C2
- .Ta et Tw sont liées
- .D est opposé à Ta
- .C1 et C2 sont indépendantes
- .C1 est liée au ruissellement RO
- .C2 est liée à la piézométrie P et au débit de base de la Touques

# Résultats de l'ACP : évolution d'amont en aval



- .D s'écarte progressivement
- .de C1 et se rapproche
- .de C2 d'amont en aval

- .Tw glisse légèrement vers SS1

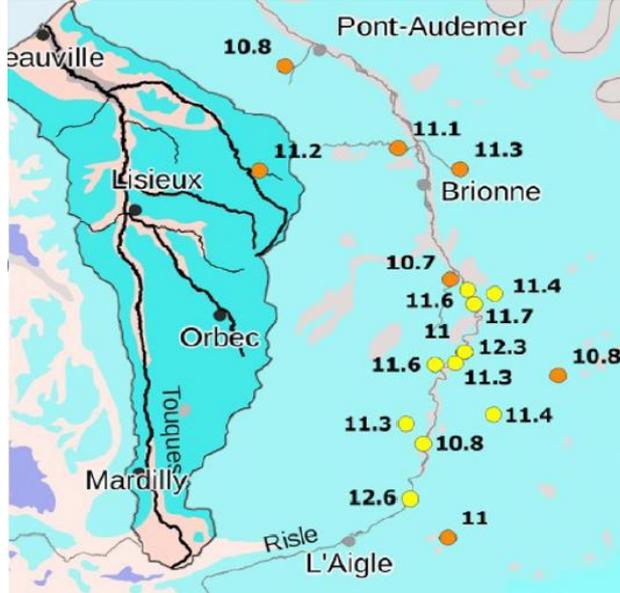


# Evaluation de la température des eaux souterraines s'écoulant dans la Touques

Température des eaux souterraines de l'aquifère de la craie

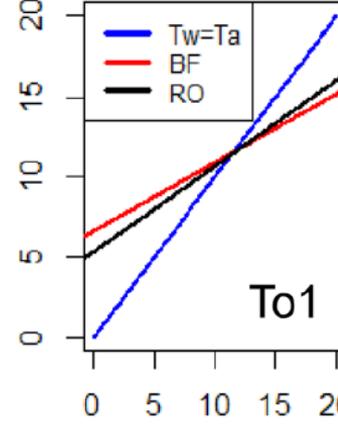
suivi

- DREAL
- BRGM



$T_w$ °C

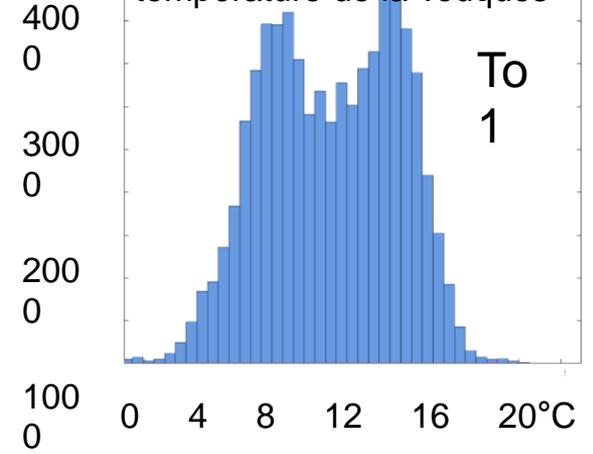
Modèle de mélange



$T_a$ °C

Distribution bi-modale de la

température de la Touques



# Conclusions

- La température de l'air est le facteur de contrôle principal de la température de la Touques. L'influence de ce facteur s'accroît d'amont en aval
- Le débit du fleuve est un facteur de pondération des effets du climat
  - Les eaux souterraines contribuent à réchauffer les eaux du fleuve lorsque la température de l'air est inférieure à 11-12°C et les refroidir au-delà. Elles jouent
    - via leur température fraîche et constant et via leur contribution au débit
  - Les eaux de ruissellement jouent un rôle équivalent mais plus discontinu.
    - L'effet des eaux souterraines s'intensifie d'amont en aval, au fur et à mesure que les eaux souterraines de la nappe de la craie alimente la Touques dans sa traversée du plateau crayeux qui l'entourne
    - L'effet ne permet pas de compenser intégralement celui des facteurs climatiques (Ta et radiation solaire)

La température des eaux souterraines, évaluée par un modèle de mélange, tourne autour de 11-12°C, ce que confirment les suivis

thermiques de la nappe de la craie. Des outils statistiques complémentaires sont en cours de développement pour analyser les impacts des eaux souterraines sur la composante journalière du cycle thermique des rivières