



# Etude HMUC SAGE LRA



Présentation des méthodes volet  
« Hydrologie »

# Déroulé de la présentation



Rappels et éléments de contexte



Méthodes eau superficielles  
Méthodes fonctionnement des barrages  
Méthodes eaux souterraines



Prochaines étapes

# Rappels et éléments de contexte

---



# Qu'est-ce qu'une étude HMUC ?

Etude conduite en 3 phases :

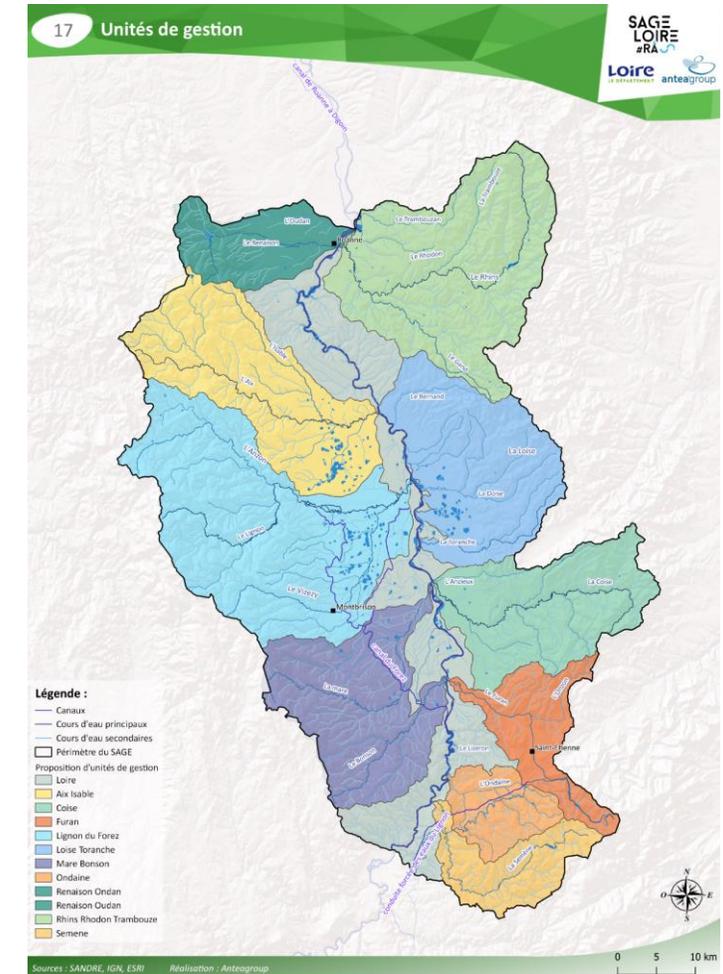
- 1 Etat des lieux et synthèse des 4 volets HMUC
- 2 Diagnostic et croisement des 4 volets
- 3 Perspectives et scénarios de gestion



Menée à l'échelle du SAGE LRA, en travaillant par « unité de gestion »



Durée de l'étude : 2 ans



# Phase 1 : Etat des lieux des 4 volets HMUC

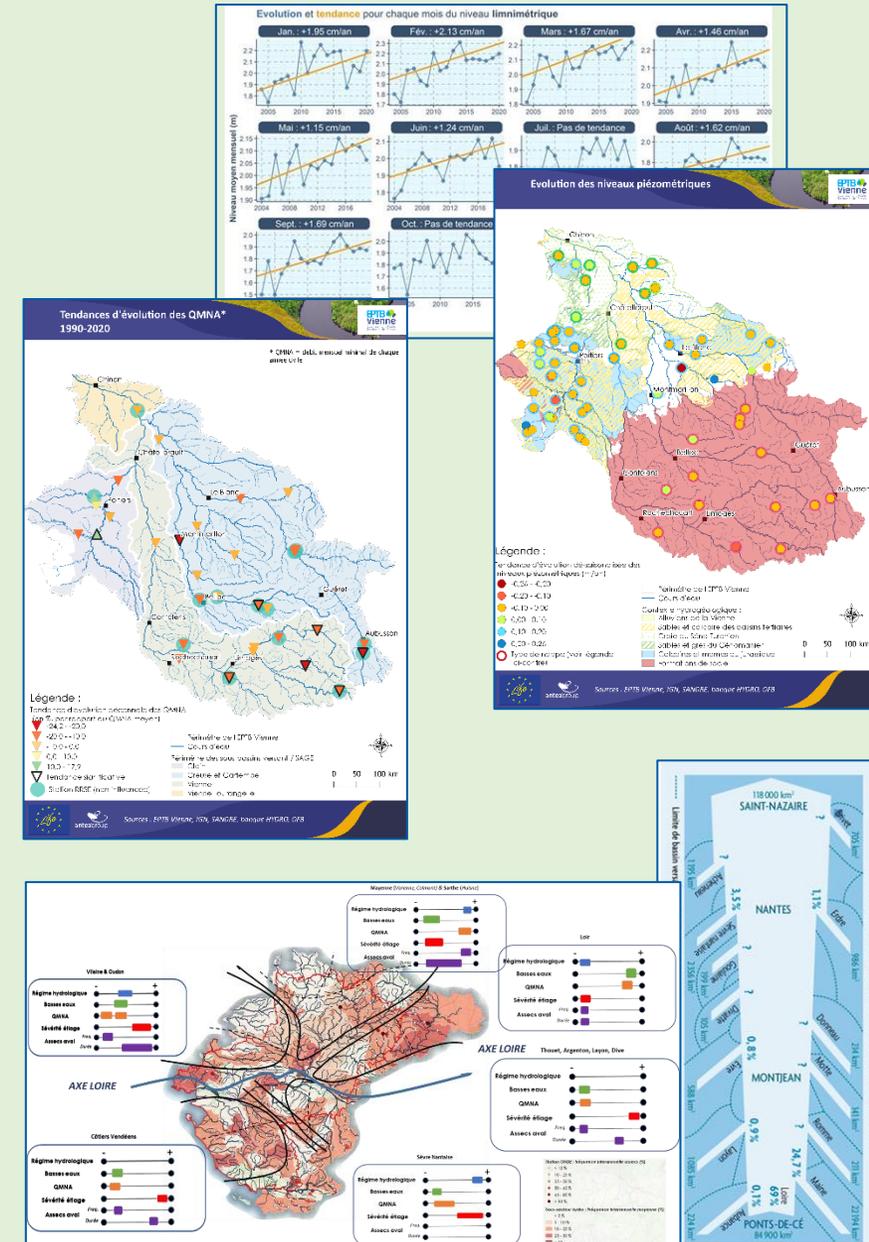
H

## Volet hydrologie

*Comment fonctionne le bassin versant ?*

*Comment a évolué la ressource ces dernières décennies ?*

- Caractérisation du fonctionnement hydrologique de tous les cours d'eau du bassin disposant d'un suivi / modélisation en l'absence de suivi
- Description des aquifères
- Focus sur les indicateurs caractérisant l'étiage
- Examen des tendances d'évolution des débits et des piézométries
- Schématisation du fonctionnement du bassin versant, y compris la Loire



### Dans un premier temps

1

**Caractériser le contexte hydrologique** et la **répartition des ressources en eau du territoire** à travers une analyse :

- ✓ Des niveaux hydrologiques
- ✓ Des niveaux piézométriques

2

Analyser de façon détaillée **l'évolution de cette ressource en période d'étiage** notamment en termes de :

- ✓ Calcul d'indicateurs spécifiques (durée, sévérité, déficit, ...) et l'analyse des tendances d'évolution des étiages et de la recharge des aquifères
- ✓ Franchissement de seuils de gestion (débitmétriques / piézométriques)

### Dans un second temps

3

Préparer les données qui permettront de **reconstituer des régimes hydrologiques désinfluencés (naturels) par croisement avec les résultats du Volet « Usages »**.

4

Modéliser - avec calage sur débits renaturalisés - les débits **en conditions climatiques futures**

**Rappel :**

**L'objectif de l'étude HMUC est, en phase 3, de proposer des indicateurs de gestion, à suivre dans le temps. Il est donc important de travailler au maximum à l'échelle des stations hydrométriques.**

**Nous travaillerons donc :**

- ✓ A l'échelle de stations hydro et des bassins de station hydro pour proposer des indicateurs de gestion
- ✓ A l'échelle des bassins versants homogènes, pour la connaissance et la compréhension du bassin car les débits seront théoriques (recalculés). Si proposition d'indicateurs de gestion, il faudra instrumenter pour suivre ces indicateurs



Rappel :

**Pour le volet hydrologie, il s'agit de décrire et d'analyser :**

- ✓ Les débits dits « **influencés** », mesurés au droit des stations hydro et qui traduisent le régime hydrologique naturel influencé par les divers prélèvements, rejets et barrages en amont du point de mesure
- ✓ Les débits dits « **désinfluencés** » ou naturels, il s'agit de l'hydrologie naturelle telle qu'elle pourrait être mesurée en l'absence d'impacts anthropiques (prélèvements, rejets, barrage)



*On mentionne également au cours de la présentation des débits « **pseudo naturels** », il s'agit de débits modélisés, naturels en théorie (car dépendent de la pluie), mais en partie callés sur des chroniques destations hydrométriques, par nature influencées.*

# Présentation des méthodologies

---

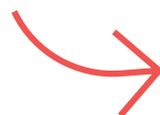
Eaux superficielles - hydrologie



Les données mobilisées doivent répondre à plusieurs critères :

## ✓ *Critères temporels*

---



Période d'analyse devant répondre à 2 grands objectifs :

1. **Analyse des régimes hydrologiques** et des périodes d'étiages : *Chroniques journalières robustes, continues et relativement longues (> 20 ans voire 30 ans dans l'idéal)*
2. **Caractérisation de la ressource** avec ou sans impact des activités anthropiques : *Données disponibles sur la période d'analyse des usages (a minima dernière décennie)*

## ✓ *Critères spatiaux*

---

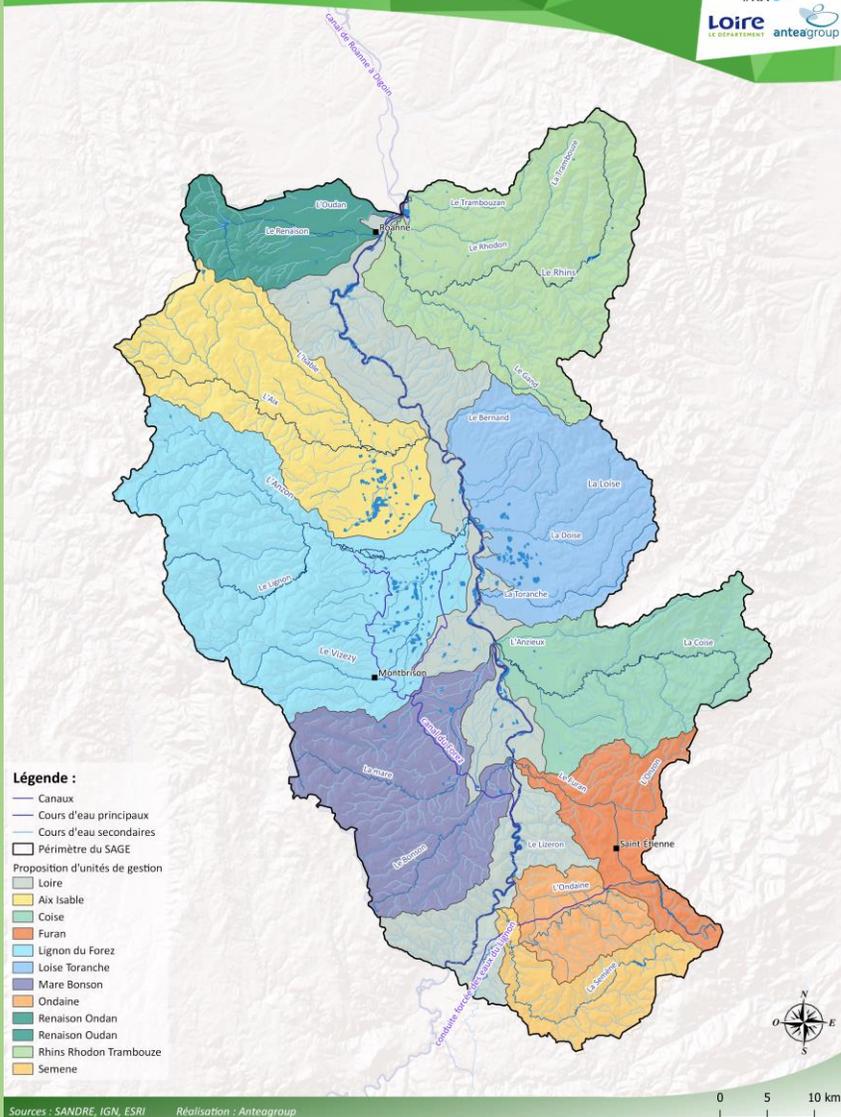


Chroniques analysées doivent être représentatives des unités de gestion :

- >> Caractérisation du fonctionnement hydrologique
- >> Confrontation aux usages exercés



La localisation recherchée correspondra donc à l'**exutoire** des UG



**Les 11 unités de gestion, subdivisées en sous bassins versants homogènes, présentent une diversité de fonctionnement hydrologique**

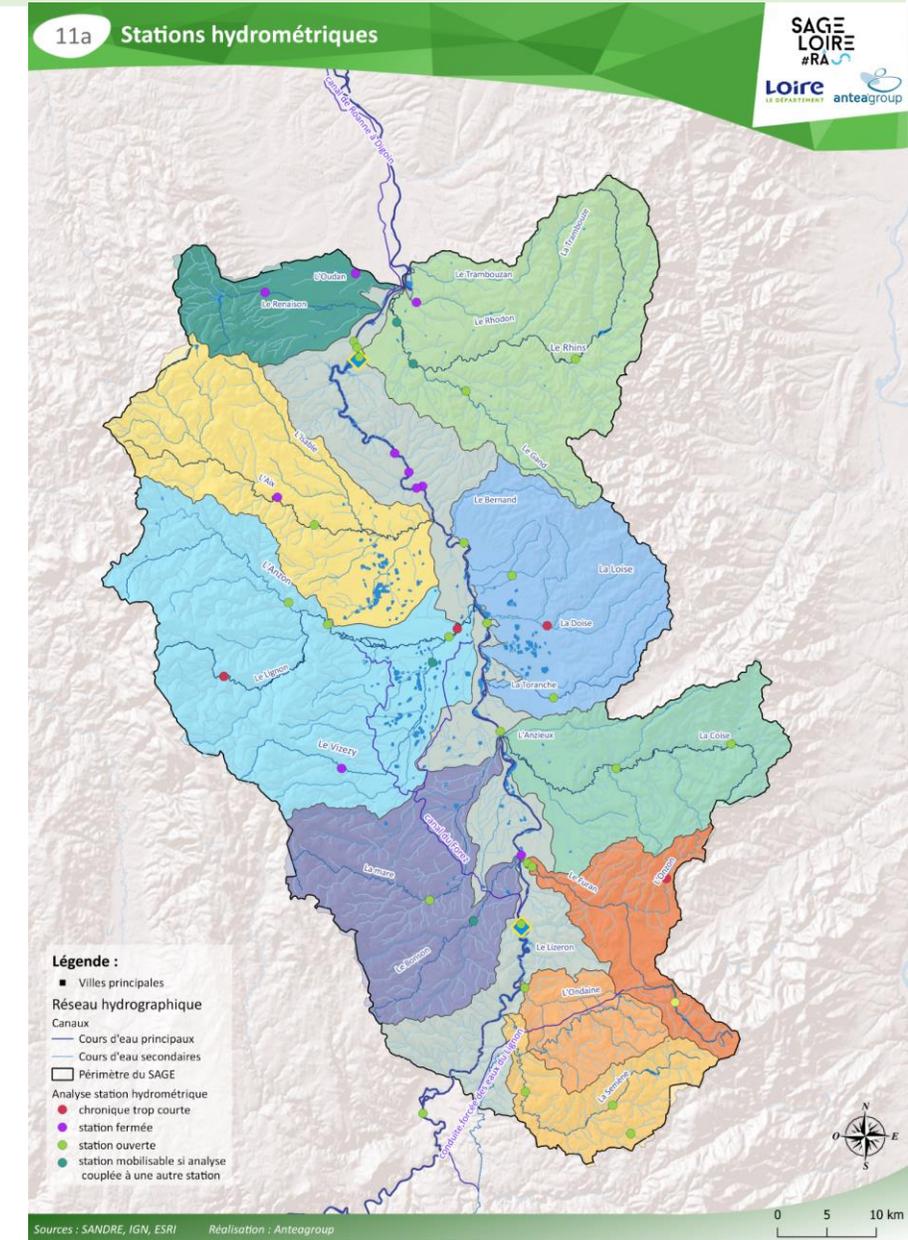
- ✓ Pour chaque sous-unité, l'objectif consiste à reconstituer un régime hydrologique au droit de son exutoire et sur la plus longue période
- ✓ La disponibilité des données hydrologiques conditionnent le niveau d'analyse qui pourra être effectué pour chaque entité

## 1 Les stations hydrométriques

- 25 stations hydrométriques en activité
- > Chroniques de débits influencés

## 2 Les débits modélisés

- Les débits consensus IRSTEA
- Les chroniques LOIEAU (en cours de récupération)
- > Débits « pseudo-naturels »





## Plusieurs solutions envisageables pour reconstituer les régimes hydrologiques\* au droit des exutoires des UG

Cours d'eau instrumenté

1

Analyse des chroniques des stations hydrométriques

2

Production de chroniques de débits à l'exutoire des bassin par méthode de transfert de bassin (extrapolation)



À titre descriptif pour obtenir un « débit théorique » et non pas pour produire des indicateurs de gestion

3

Pour les cours d'eau orphelins de stations :

- > Soit méthode de transfert de bassin (extrapolation des chroniques) avec une station voisine si contexte similaire
- > Soit mobilisation des chroniques hydrologiques LOIEAU



Les différentes sources de données seront systématiquement comparées

\* Reconstitution de débits influencés + désinfluencés

## Qu'est-ce que la méthode de transfert de bassin ?

Méthode simple et régulièrement utilisée pour reconstituer un débit à l'exutoire d'un bassin versant . Applicable dans les cas suivants :

- ✓ Existence de stations hydro mais positionnées en amont de l'exutoire du bassin
- ✓ Bassin non instrumenté mais voisin d'un bassin instrumenté présentant des caractéristiques morphologiques similaires (surface, géologie, climat)

 Calcul reposant sur une **transposition directe du débit** d'une station voisine avec un ajustement correspondant au **ratio des surfaces** respectives des bassins :

$$Q_{non\ jaugé} = Q_{jaugé} \times \frac{Surface\ BV_{non\ jaugé}}{Surface\ BV\ jaugé}$$

Avec :  $Q$  en  $m^3/s$  et  
 $Surface\ BV$  en  $km^2$

Résultats très satisfaisants si bassins versants **proches** et de **réaction similaire aux pluies** (*Andréassian et al., 2012*).

### Limites de la méthode :

- >> Hypothèse implicite que les pluies diffèrent peu d'un bassin à l'autre, de même que la structure de l'hydrogramme unitaire (réponse hydrologique du bassin à la pluie) ;
- >> Ne prend pas en compte l'atténuation ou le décalage des pointes de crues ce qui peut poser problème si les surfaces sont trop différentes



Qu'est-ce que la méthode de transfert de bassin ?



1.

Pour respecter le calendrier les transferts débits-débits (extrapolation) devraient être réalisés **à partir des données mesurées aux stations (donc influencées)**

>> il faudra veiller à ce que tant la station servant à l'extrapolation que le cours d'eau extrapolé ne soient pas trop influencés

Choix alternatif : attendre d'avoir désinfluencé les débits au droit des station pour réaliser les transferts / bcp plus solide



2.

**Le choix du bassin versant voisin mobilisé** pour le transfert débit-débit est important :

>> grâce aux données SAFRAN nous pourrions vérifier si le signal pluviométrique correspond bien





## Qu'est-ce que les débits LOleau ?

- Travail de recherche de l'INRAE pour caractériser des indices statistiques d'étiage, de bilan et de saisonnalité & Estimation des indices statistiques sur des territoires orphelins
- Modèle pluie-débit GRLoieau2 et transfert de paramètres / régionalisation ;

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>-Chroniques journalières avec incertitude</li> <li>-Chronique longue permettant une analyse des tendances</li> <li>-Densité importante</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Incertitude forte sur la période d'étiage démontrée sur d'autres secteurs (à vérifier)</li> <li>-Validité des résultats sur certains secteurs</li> </ul>

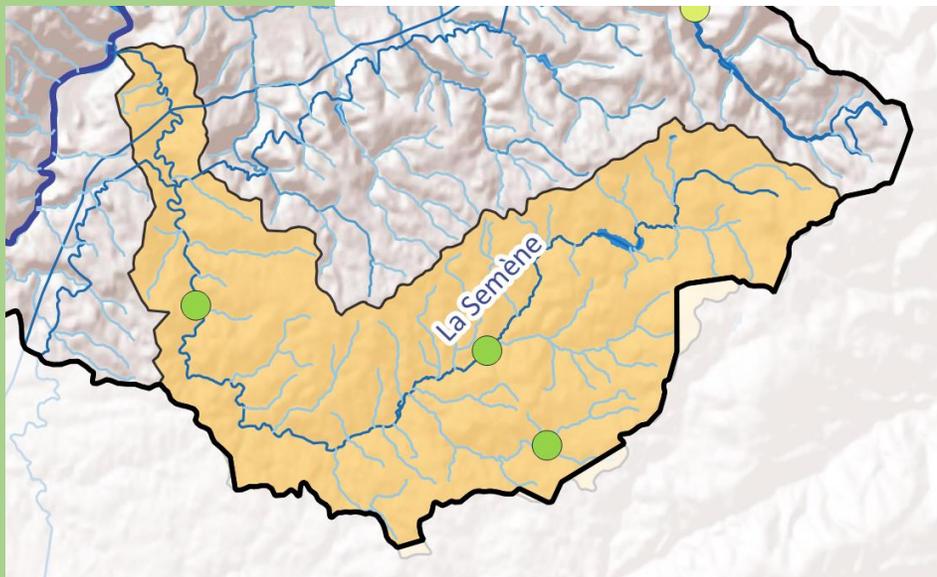
Description des principaux éléments de construction	
Date de parution des résultats	2018
Données d'entrée nécessaires	Chroniques de Pluies et d'Evapotranspiration SAFRAN [1958—2004] Chroniques hydrologiques sur bassins « donneurs »
Période de référence [hydro]	690 bassins instrumentés sur la période 1970—2013
Stratégie de modélisation	Modèle Pluie -Débit GRLoieau2
Méthode de spatialisation	Transfert de paramètres / Régionalisation
Représentation des processus	Conceptuel
Représentation de l'espace	Global

Caractérisation des débits simulés	
Pas de temps	Journalier / Mensuel / 9 indicateurs statistiques
Période simulée	1970—2020
Prise en compte de la robustesse	Codes de confiance vis-à-vis des principales contraintes de méthode
Prise en compte de l'incertitude	Quantifiée à 90 %
Nature des débits simulés	Débits pseudo-naturels
Référentiel hydrographique	Assimilé CARTHAGE (2017 ?)



Compte tenu de la diversité des contextes, le choix de la méthode retenue doit être adapté à chaque UG

## 1. SEMÈNE



Contexte :

2 stations hydro sur la Semène (40 et 60 ans)

1 station sur l'Ecotay (44 ans)



Proposition méthodo :



Analyse des chroniques hydro des stations, recul important



Méthode de transfert pour les débits théoriques à l'exutoire du bassin (station proche de l'exutoire)

## 2. ONDAINE



Contexte :

1 station hydro (Vigicrue) à l'exutoire

✗ MAIS seulement 4 ans de données...

*Plusieurs barrages sur les affluents de l'Ondaine*



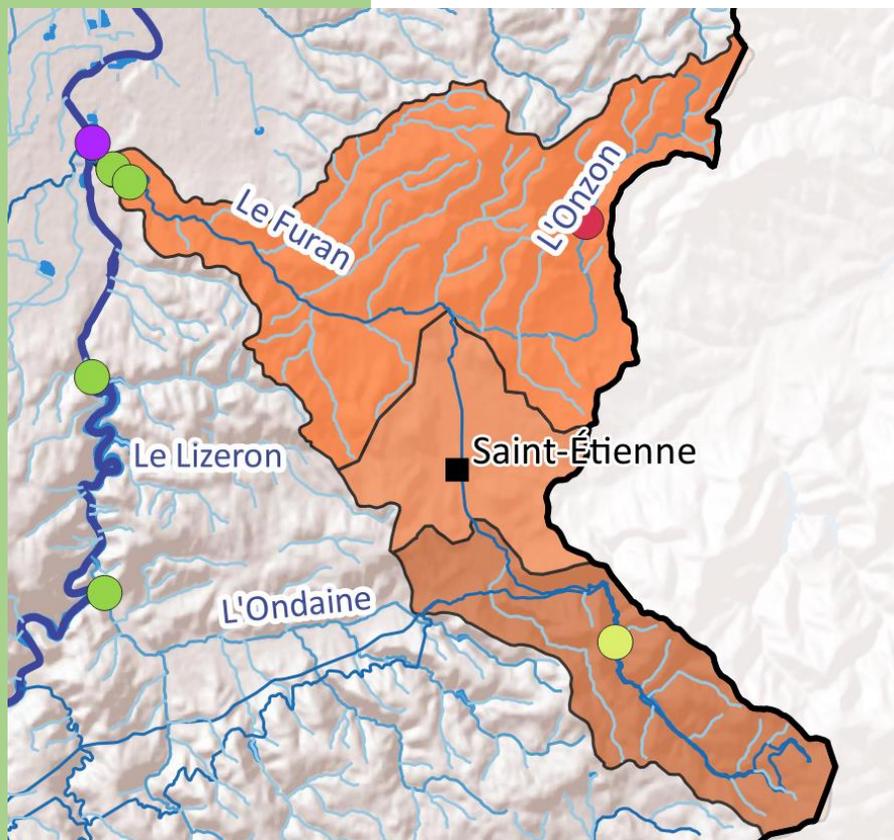
Proposition méthodo :

❓ Méthode de transfert de bassin avec la Semène ?  
ou le Furan ?

*Mise en perspective des chroniques renaturalisées des 4 dernières années avec les stations voisines (comparaison des hydrogrammes unitaires)*

*Comparaison avec LOleau*

## 3. FURAN



Contexte :

1 station (déplacée) à l'exutoire du BV du Furan (55 ans données)

✗ 1 station fermée sur l'Onzon (4 ans de données)

*Plusieurs barrages sur l'amont du Furan (Gouffre de l'Enfer, Pas du Riot) + aqueduc des eaux du Lignon / aqueduc des fontaines*  
A noter = 1 station hydro en aval du Gouffre d'Enfer (22 ans)

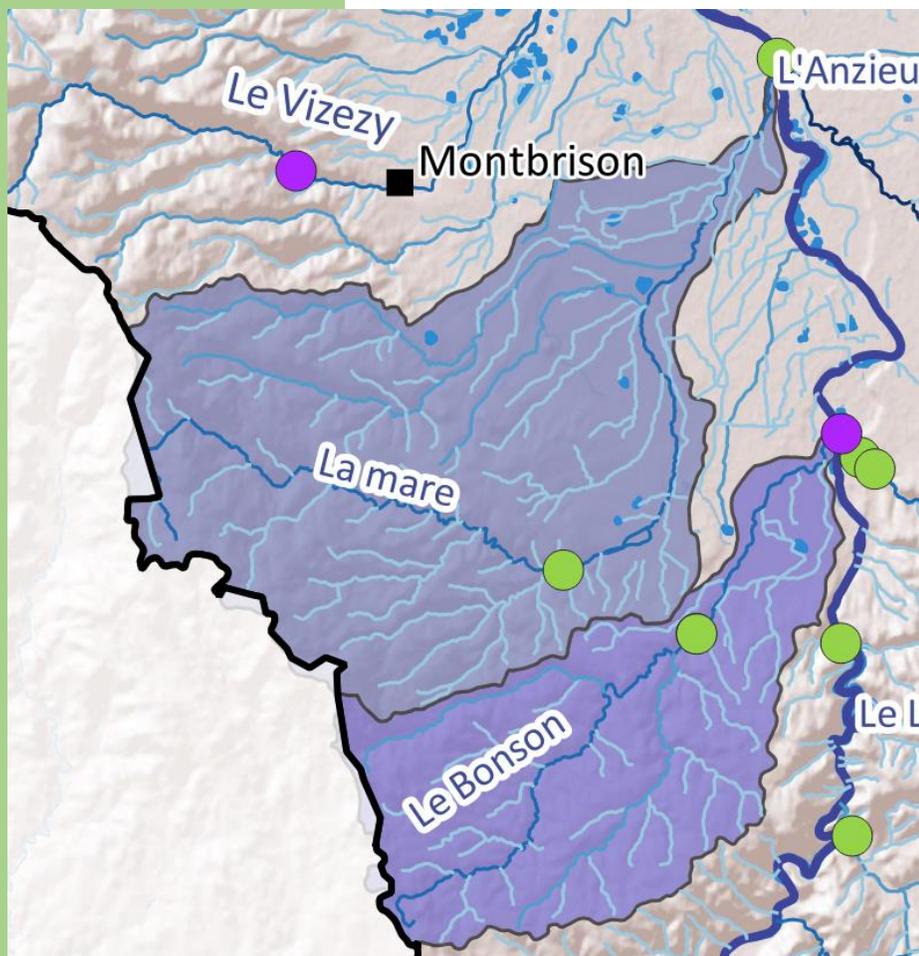


Proposition méthodo :



Analyse des chroniques hydro de la station aval, recul important et située à l'exutoire donc inclusive de tout le bassin

## 4. MARE BONSON



Contexte :

1 station hydro sur le Bonson (50 ans)

1 station hydro sur la Mare (50 ans)

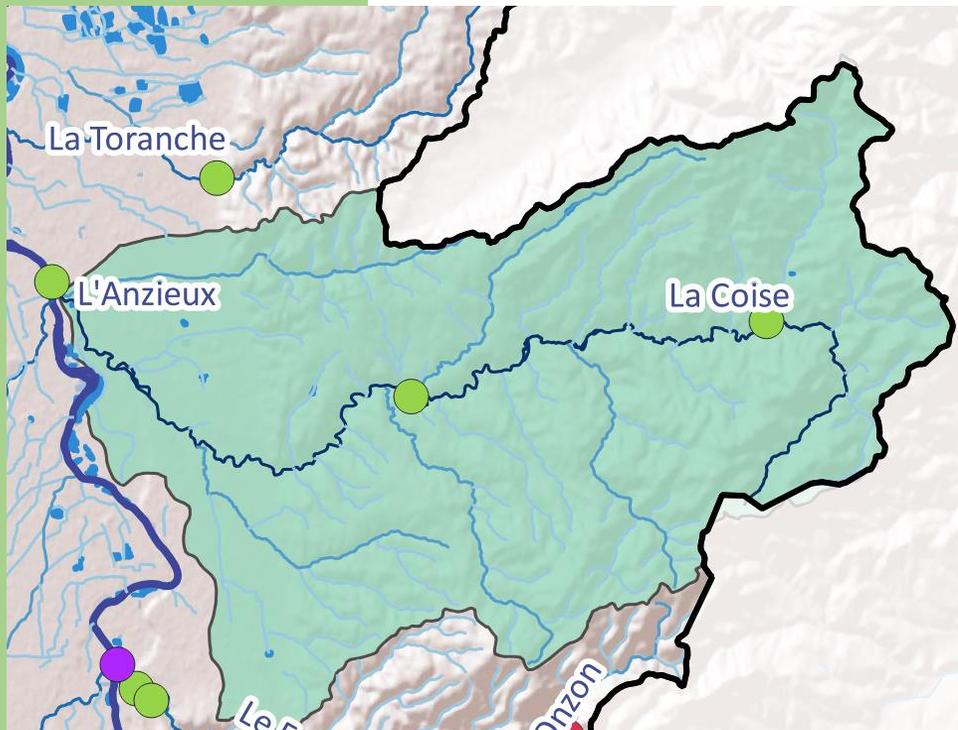
*Alerte sur la fiabilité en étiage*



Proposition méthodo :

- ✓ Analyse des chroniques hydro des stations, recul important
- ✓ Méthode de transfert pour les débits théoriques à l'exutoire des deux sous bassins

## 5. COISE



Contexte :

2 stations sur la Coise, avec 60 ans de données

*Alerte sur la fiabilité en étiage*



Proposition méthodo :

- ✓ Analyse des chroniques hydro des stations, recul important
- ✓ Méthode de transfert pour les débits théoriques à l'exutoire du bassin à partir des chroniques de la station aval

## 6. LIGNON DU FOREZ



Contexte :

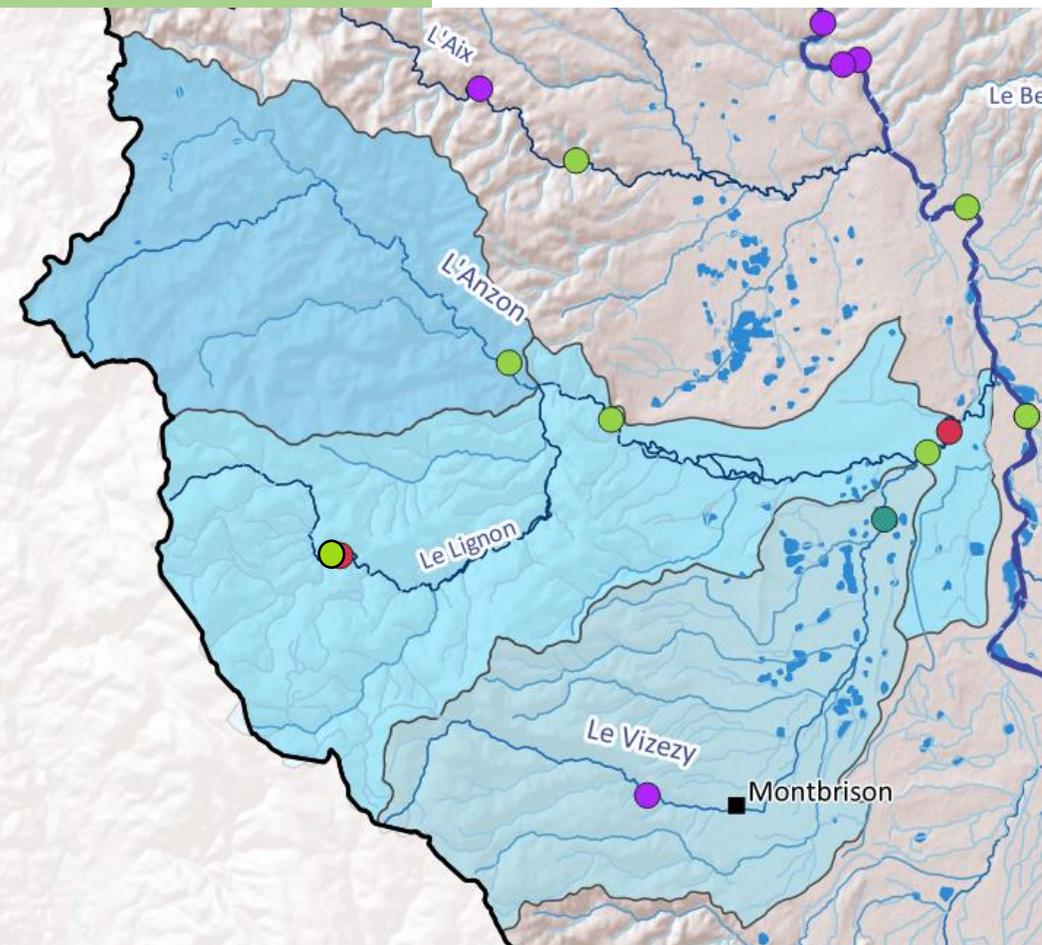
- 1 station à l'exutoire de l'Anzon (50 ans)
- 1 station fermée et une très récente sur le Vizezy
- 3 stations bien positionnées et anciennes (50 à 60 ans) sur le Lignon dont une à l'exutoire

*Prendre en compte les excédents du canal du Forez qui se jettent dans le Lignon*

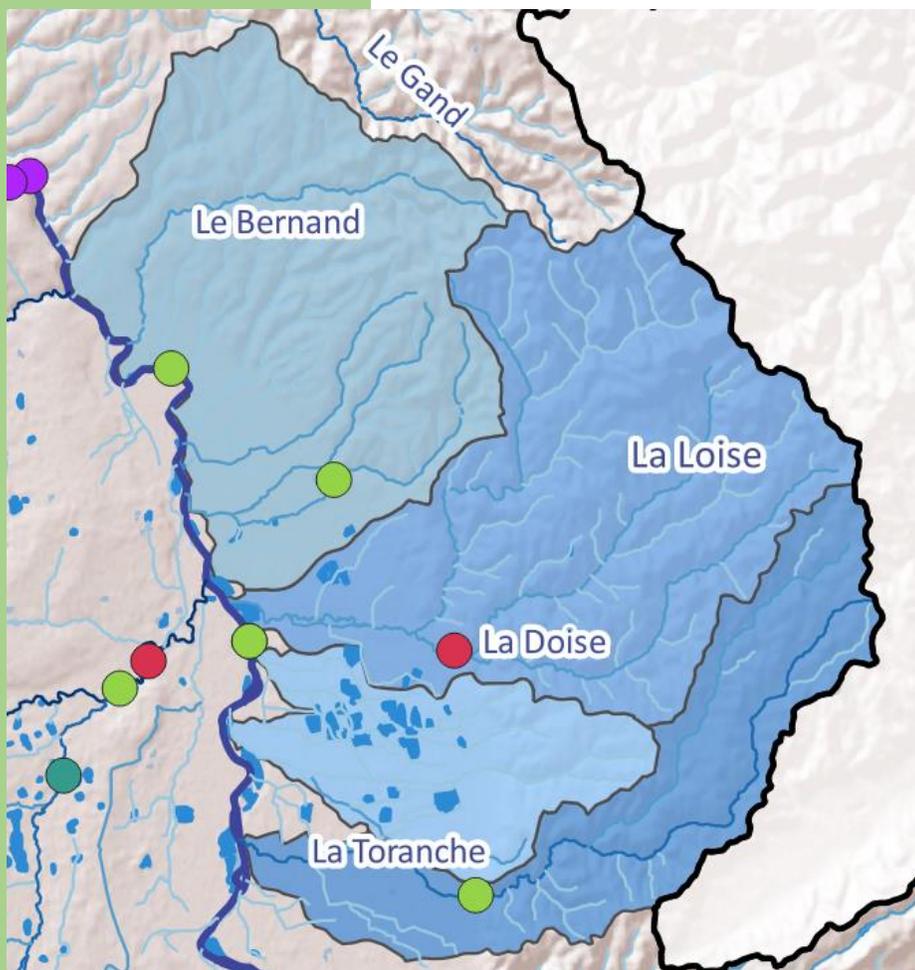


Proposition méthodo :

- ✓ Analyse des chroniques hydro des stations, recul important
- ✓ Stations à l'exutoire du bassin pour rendre compte du bilan à l'échelle de l'UG
- 🔍 Vizezy = modéliser les débits station amont en callant sur l'historique (après désinfluence des débits) puis extrapoler à l'aval



## 7. LOISE TORANCHE



Contexte :

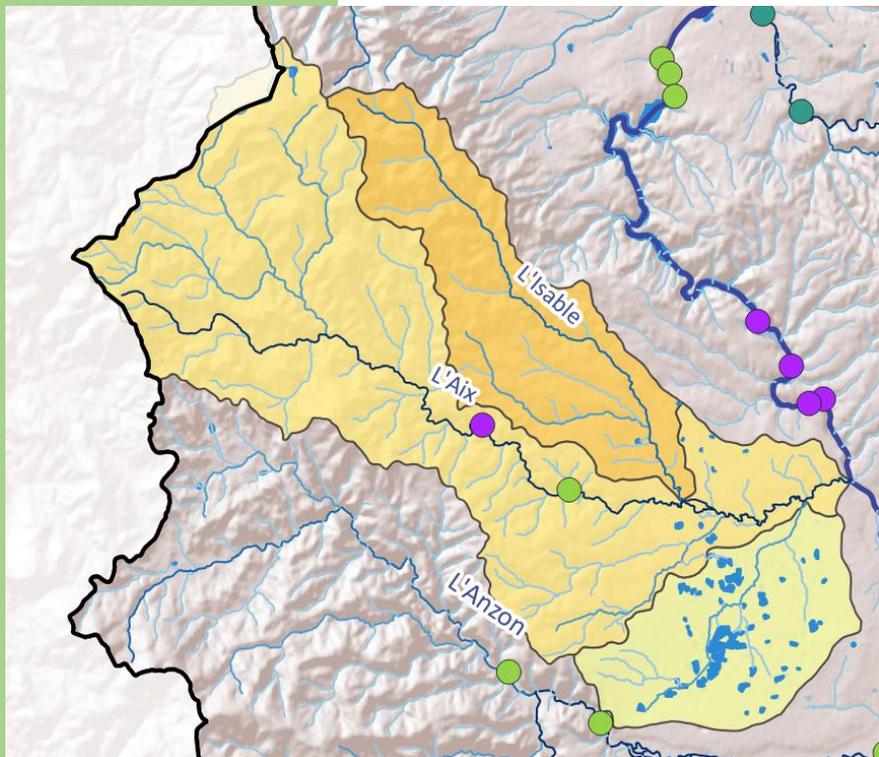
- 1 station sur la Toranche (50 ans)
- ✗ 1 station fermée sur la Doise
- 1 station sur le Gourtarou (50 ans)



Proposition méthodo :

- ✓ Toranche : étude de la station et transfert de bassin pour les débits à l'exutoire
- ? Zone d'étangs : estimation des débits à partir des stations amont et aval sur la Loire (débit aval – débit amont – débit Toranche = participation de cette zone)
- ? Doise et affluents : extrapolation à partir de la station Toranche pas recommandée. LoiEAU ?
- ? Bernand, Revoute, Pouilly, Gourtarou : extrapolation à partir de la station du Gourtarou

## 8. AIX ISABLE



Contexte :

1 station sur l'Aix (50 ans)

✗ 1 station fermée plus en amont (30 ans de données)



Proposition méthodo :



A voir si opportun de modéliser les débits au droit de la station fermée, en callant sur la période historique



Isable : extrapolation station de l'Aix ?



Onzon : Débits pseudo-naturels LOIEau ?

Puis somme des débits à l'exutoire

## 9. RENAISON OUDAN



Contexte :

- 1 station fermée sur le Renaison (7 ans)
- 1 station fermée sur l'Oudan (25 ans)

*Prendre en compte l'impact des barrages sur le bassin du Renaison*



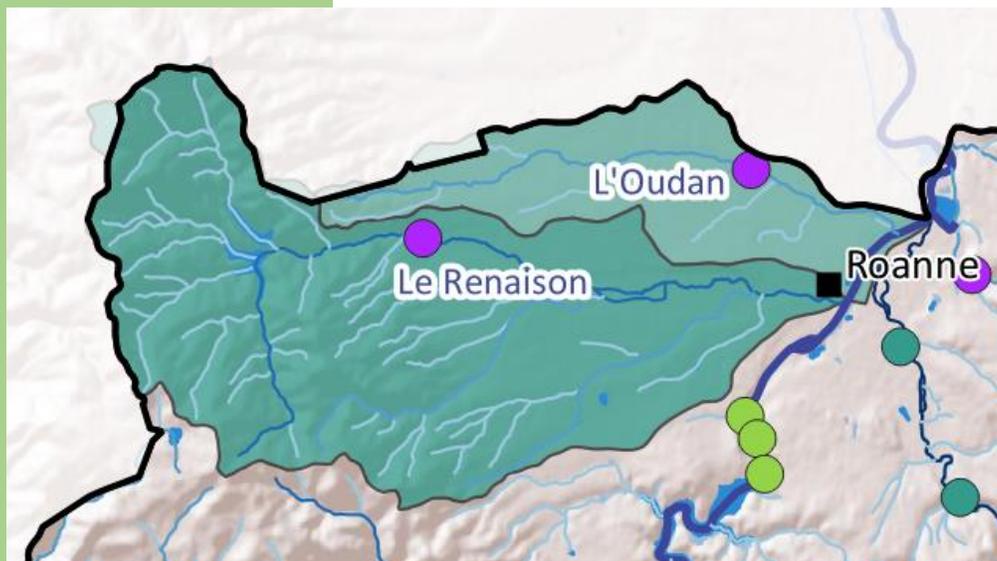
Proposition méthodo :



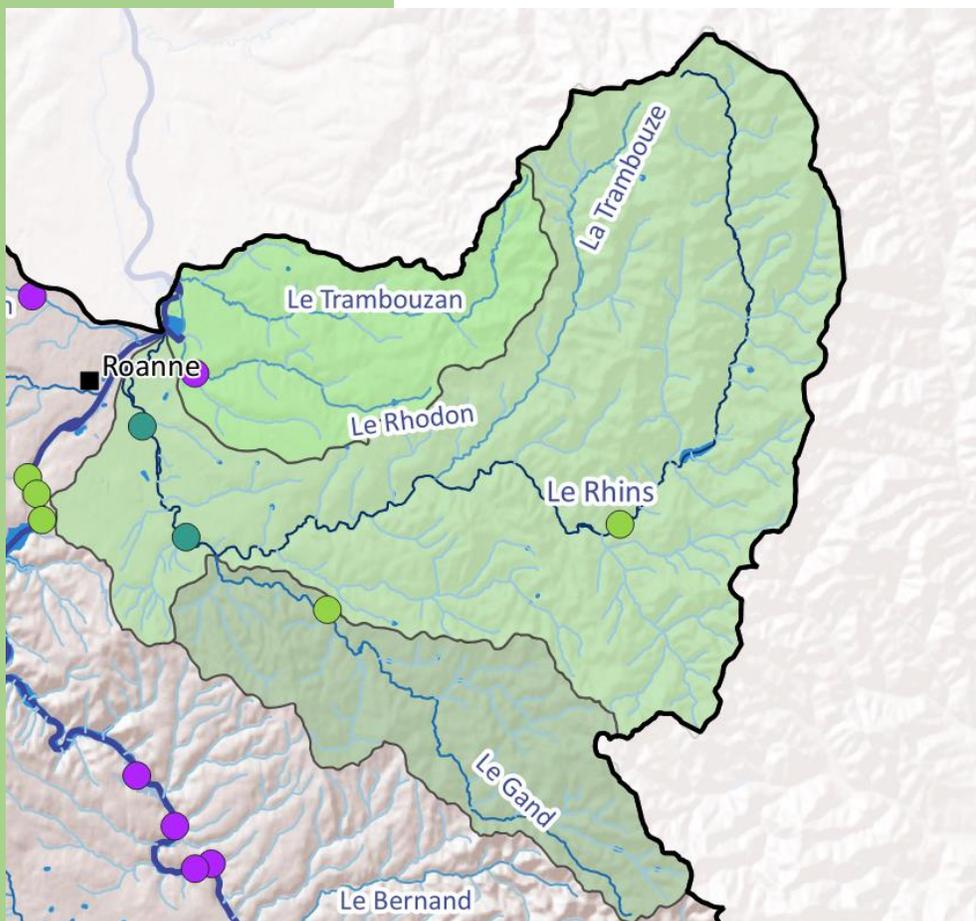
Renaison : transfert des débits influencés pour le débit théorique à l'exutoire



Oudan : modéliser les débits au droit de la station fermée, en callant sur la période historique (après désinfluence des débits)



## 10. RHIN GAND TRAMBOUZAN



Contexte :

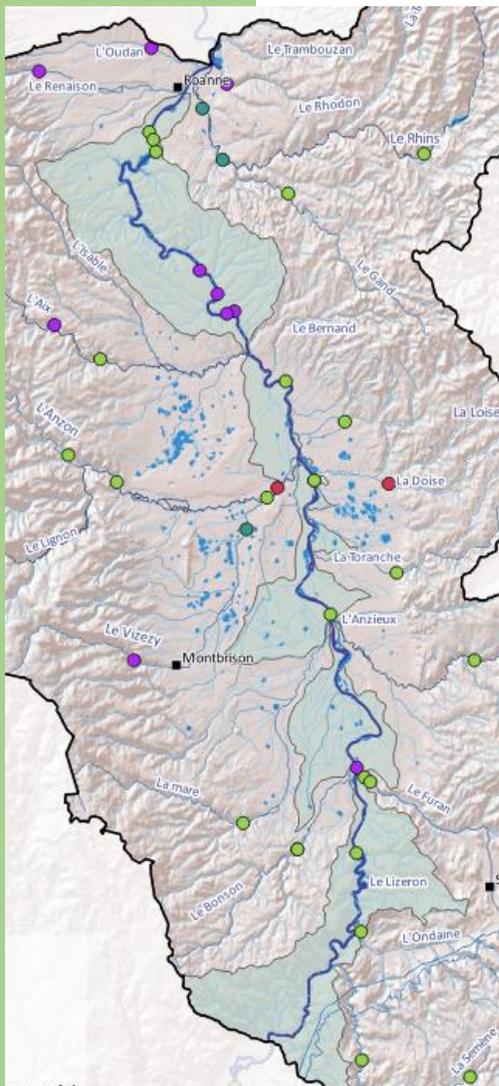
- 1 station sur le Gand (50 ans)
- 3 stations sur Rhins dont une fermée (50 ans, tuilage dans les dates). *Présence du Lac des Sapins*
- 1 station fermée sur le Rhodon (40 ans)



Proposition méthodo :

- ✓ Gand : analyse station puis transfert des débits pour le débit théorique à l'exutoire
- ? Trambouze : transfert à partir de la station 1 du Rhins
- ✓ Rhins : analyse station, dont une en aval (reconstitution débits à partir de l'ancienne station)
- ? Rhodon : modéliser les débits au droit de la station fermée, en callant sur la période historique (après désinfluence des débits) ; puis transfert sur le Trambouzan

## 11. LOIRE



Contexte :

3 stations ouvertes entre Grangent et Villerest

+ mobilisation station Bas-en-Basset



Proposition méthodo :

Analyse des débits des 4 stations, en gardant à l'esprit qu'elles sont influencées par les ouvrages de Lavalette et de Grangent

+ fonctionnement du canal du Forez



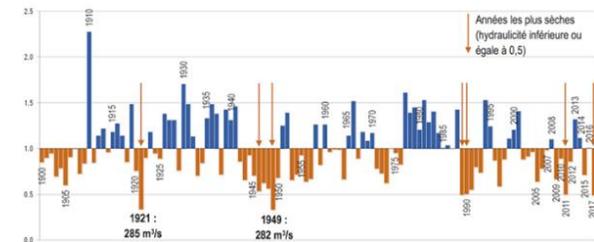
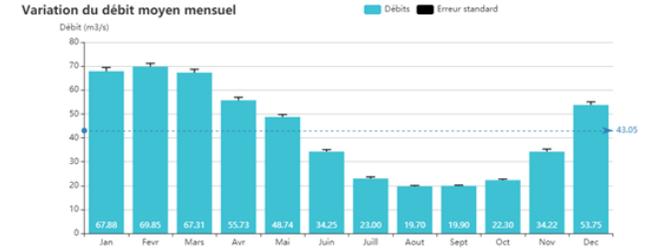
Indicateurs produits à l'échelle des stations hydrométriques :  
*Sur régime influencé et désinfluencé*

- **Régime hydrologique général**

Module, débits moyens mensuels, indice d'hydraulicité, débits spécifiques caractérisation des périodes de hautes et basses eaux, caractérisation des crues, tests de tendances sur le débits (si + de 30 ans de données)...

- **Régime hydrologique d'étiage**

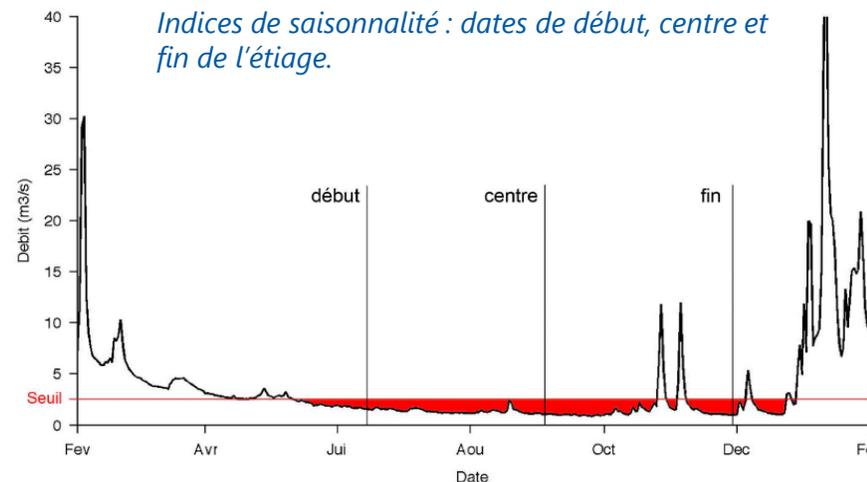
Indicateurs d'étiage (QMNA, QMNA5, VCN), analyses fréquentielles des indicateurs d'étiage en année sèche et humide, analyse des assèchements, analyse réseau ONDE





## Focus sur l'analyse des périodes d'étiage

- 1 Détermination du débit seuil d'étiage (le quantile 15, le débit bio)
- 2 Calcul annuel des indices de saisonnalité, du pic de l'étiage, du volume déficitaire engendré par l'étiage et du temps de récession de l'étiage
- 3 Tests de tendances pour analyser l'évolution des phénomènes





# Présentation des méthodologies

---

## Barrages



## Important de caractériser le fonctionnement des ouvrages afin de désinfluencer les débits :

>> de la Loire

>> des affluents concernés par des barrages AEP (Renaison, Furan, Ondaine, ...)



Caractérisation des stockages et déstockages, dans l'idéal au pas de temps journalier pour pouvoir désinfluencer les débits mesurés au niveau des stations en aval de ces ouvrages

## Barrage de Villerest

- ✓ Données de stockage / déstockage transmises au pas de temps journalier, ok pour la désinfluence



## Barrage de Grangent

- ❓ Données journalière non transmissible, possibilité d'assurer les calculs de renaturalisation par EDF
- ❓ A défaut, tentative de caractériser l'influence à partir des stations amont et aval sur la Loire, mais station aval assez lointaine
- ✗ station sortie de barrage Grangent (St Just St Rambert) à ne pas mobiliser (station théorique)
- ⚠ *Prendre en compte les prélèvements pour le canal du forez*





## Barrages AEP **bassin du Renaison**

- Barrage du Chartrain (Tache)
- Barrage du Rouchain (Rouchain)

? Comment caractériser le fonctionnement ?

On connaît :

- Les débits entrant (suivi Roannaise)
- Le volume des retenues
- Les débits réservés
- Les prélèvements dans les retenues (chroniques mensuelle)

Il faudra estimer les périodes et volumes de stockage et de déstockage afin de renaturaliser les débits en aval



Dans l'étude ABR, grosse différence entre débit pseudo naturel calculé et débit mesuré en amont des barrages ( de 20 à 70% d'écart)



## Barrages bassin du Furan

- Barrage du Gouffre d'Enfer, usage d'écrêtage des crues.

Comment caractériser le fonctionnement ? Barrage vidé et transparent sur les faibles débits d'après l'étude ABR, atténuation des débits de pointe seulement (quel délai ?)

- Aqueduc des sources qui capte de sources (drains) et alimente le barrage du Pas du Riot et des réservoirs
- Barrage écrêteur sur l'Onzon  
Considéré comme transparent ?





## Barrages bassin du Furan

- Barrage du Pas du Riot, usage AEP



Comment caractériser le fonctionnement ?

On connaît :

- Approximativement les débits entrant (station de suivi ? A défaut débits LoiEau)
- Le volume de la retenue
- Les débits réservés (qui ont évolué - en période passée, vanne de fonds ouverte à débit constant) + débits mesurés en aval du gouffre d'enfer (station hydro)
- Les prélèvements dans la retenue ? (chroniques à transmettre)

Il faudra estimer les périodes et volumes de stockage et de déstockage afin de renaturaliser les débits en aval



*Prendre en compte les années de vidange du barrage*



D'après l'étude ABR, 75% de la ressource en amont de l'ouvrage serait prélevée en année moyenne



## Lac des Sapins sur le **Rhin**

? Comment caractériser le fonctionnement ?

## Barrages dans le bassin de **l'Ondaine**

- Barrage de l'Ondenon, ppté St Etienne métropole, non exploité ? Réflexion sur soutien étiage
- Barrage de Cotatay (usage AEP)
- Barrage de l'Echapre : vide et mis en sécurité (transparent ?)

D'après l'étude ABR, bilan nul sur l'Ondaine car rejets STEP sur le même bassin

? Comment caractériser le fonctionnement ? Connaissance des débits réservés

## Barrage sur la **Semène**

- Barrage des Plats, ppté St Etienne métropole

? Comment caractériser le fonctionnement ? Voir étude en cours sur le sous bassin

# Présentation des méthodologies

---

Eaux souterraines



Les données mobilisées doivent répondre à plusieurs critères :

## ✓ *Critères temporels*

---

 Période d'analyse devant être suffisamment longue pour permettre une étude de l'évolution des niveaux piézométriques + une caractérisation du fonctionnement de la nappe

## ✓ *Critères spatiaux*

---



 Recherche de piézomètres représentatifs et peu influencés

# Données disponibles

## Les piézomètres

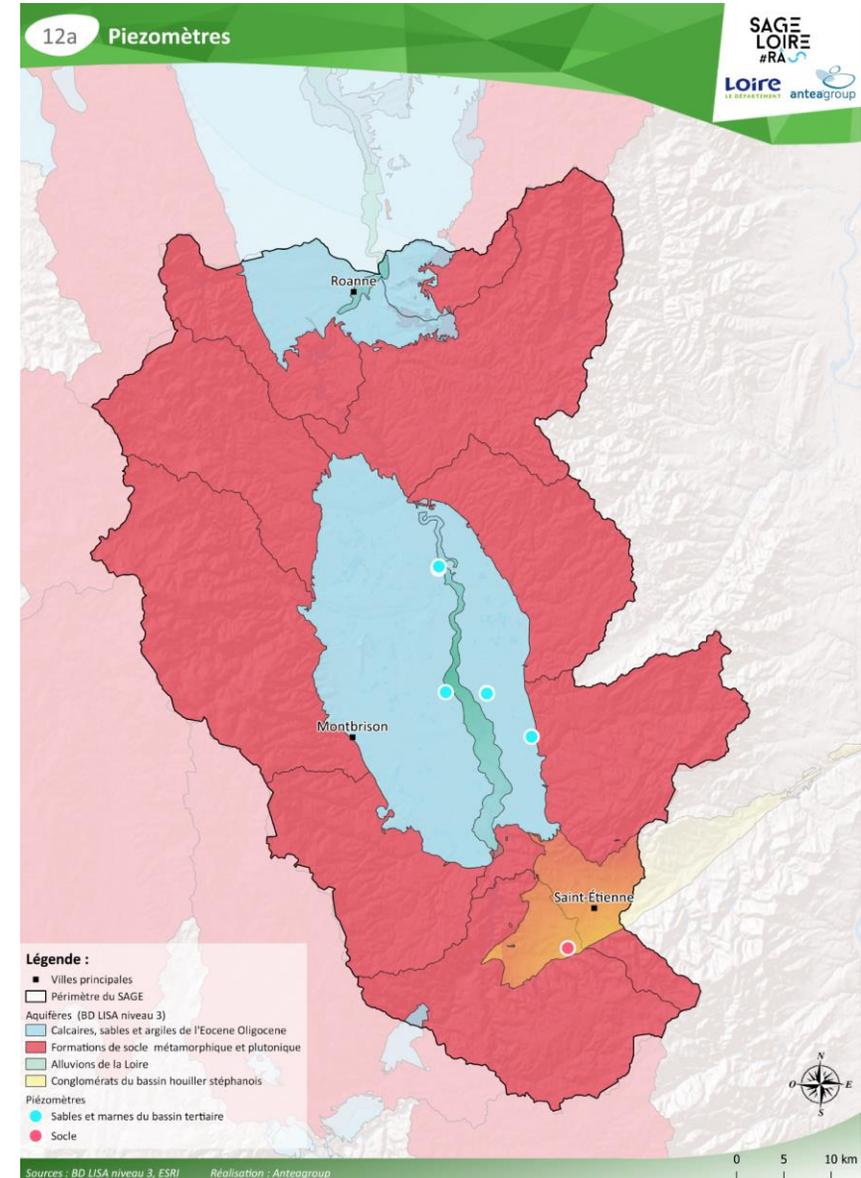
6 piézomètres disposant de chroniques piézométriques

→ 5 dans les sables et marnes du bassin tertiaire (MESO GG091)

→ 1 dans le socle (MESO GG048)

Code BSS	Debut	Fin	Duree	Commune	Nb mesures	profondeur	Code masse d'eau
07208X0197/F1C	1999	-	23	Saint-Galmier	6838	15.5	GG091
06967X0046/CLEPPE	1991	2017	26	Cleppé	7869	7	GG091
06967X0100/F	1991	-	31	Cleppé	9464	0	GG091
07204X0105/F	2005	-	17	Saint-André-le-Puy	6088	0	GG091
07455X0611/PZ	2013	2021	8	Le Chambon-Feugerolles	968	42	GG048
07204X0084/PZ	2005	2017	12	Montrond-les-Bains	3791	7.39	GG091
07203X0168/PZ	2005	-	17	Chalain-le-Comtal	6103	10	GG091

& la biblio (thèse nappe du Forez, études ABR, ...)



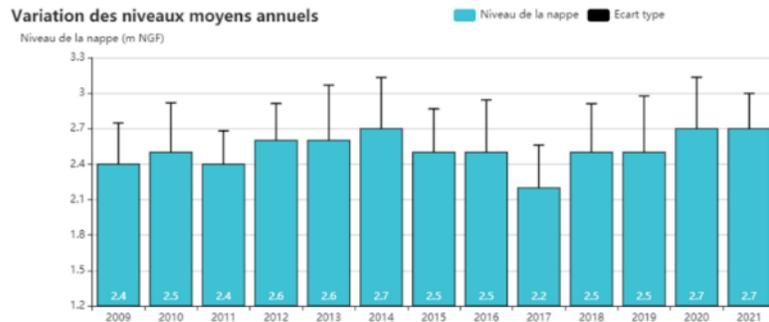
# Traitements envisagés



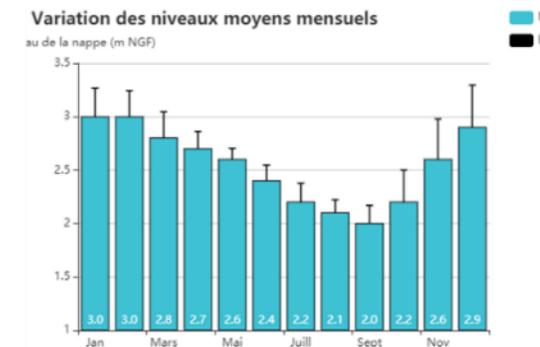
## Caractérisation de la recharge

Analyse des niveaux moyens / minimums / maximums au pas de temps annuels / mensuels

### Echelle annuelle



### Echelle mensuelle

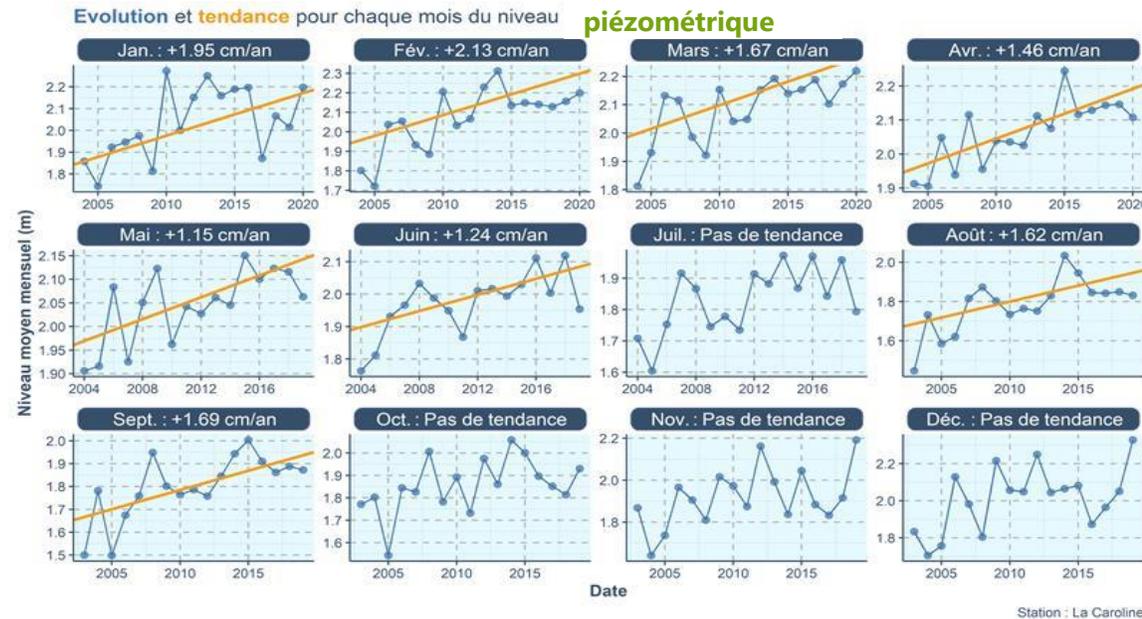




## Analyse des tendances piézométriques

Piézomètres avec chronique > 15 années (Test de Mann-Kendall)

### Détermination des tendances piézométriques



### Synthèse des contextes hydrogéologiques

Éléments sur les différents comportements des nappes et les différents modes de recharge.

# Prochaines étapes

---





# Prochaines étapes



> **COTECH méthodologique sur le volet USAGE – à caler**

> **COTECH méthodologique sur le volet MILIEUX – à caler**



> **Terrain pour le volet milieux démarrage courant juin**



> **Rapport intermédiaire + fiches UG courant mai pour le volet RESSOURCE et CLIMAT**

> **Rapport final intégrant tous les volets en septembre prochain**