



**HAL**  
open science

# Développement d'un modèle hydro-économique pour anticiper les vulnérabilités du système d'approvisionnement en eau potable du Sud-Finistère, identifier des mesures d'adaptation et évaluer leurs impacts

Noémie Neverre, Cyril Bourgeois, Alexandre Boisson, Jean-Daniel Rinaudo

## ► To cite this version:

Noémie Neverre, Cyril Bourgeois, Alexandre Boisson, Jean-Daniel Rinaudo. Développement d'un modèle hydro-économique pour anticiper les vulnérabilités du système d'approvisionnement en eau potable du Sud-Finistère, identifier des mesures d'adaptation et évaluer leurs impacts. Colloque Gestion des eaux souterraines, SMEGREG; ENSEGID; Association des hydrogéologues des services publics (AHSP), Feb 2023, Bordeaux, France. hal-04335718

**HAL Id: hal-04335718**

**<https://hal.science/hal-04335718>**

Submitted on 14 Dec 2023

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Avec le soutien de :



# COLLOQUE GESTION DES EAUX SOUTERRAINES

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

**Développement d'un modèle hydro-économique pour anticiper les vulnérabilités du système d'approvisionnement en eau potable du Sud-Finistère, identifier des mesures d'adaptation et évaluer leurs impacts**

Noémie Neverre<sup>1,2</sup>, Cyril Bourgeois<sup>1,2</sup>, Alexandre Boisson<sup>3</sup>, Jean-Daniel Rinaudo<sup>1,2</sup>

(1) BRGM, Université Montpellier, Montpellier, France

(2) G-Eau, UMR 183, INRAE, CIRAD, IRD, AgroParisTech, Supagro, BRGM, Montpellier, France

(3) BRGM, DAT GDO BRE, Rennes, France



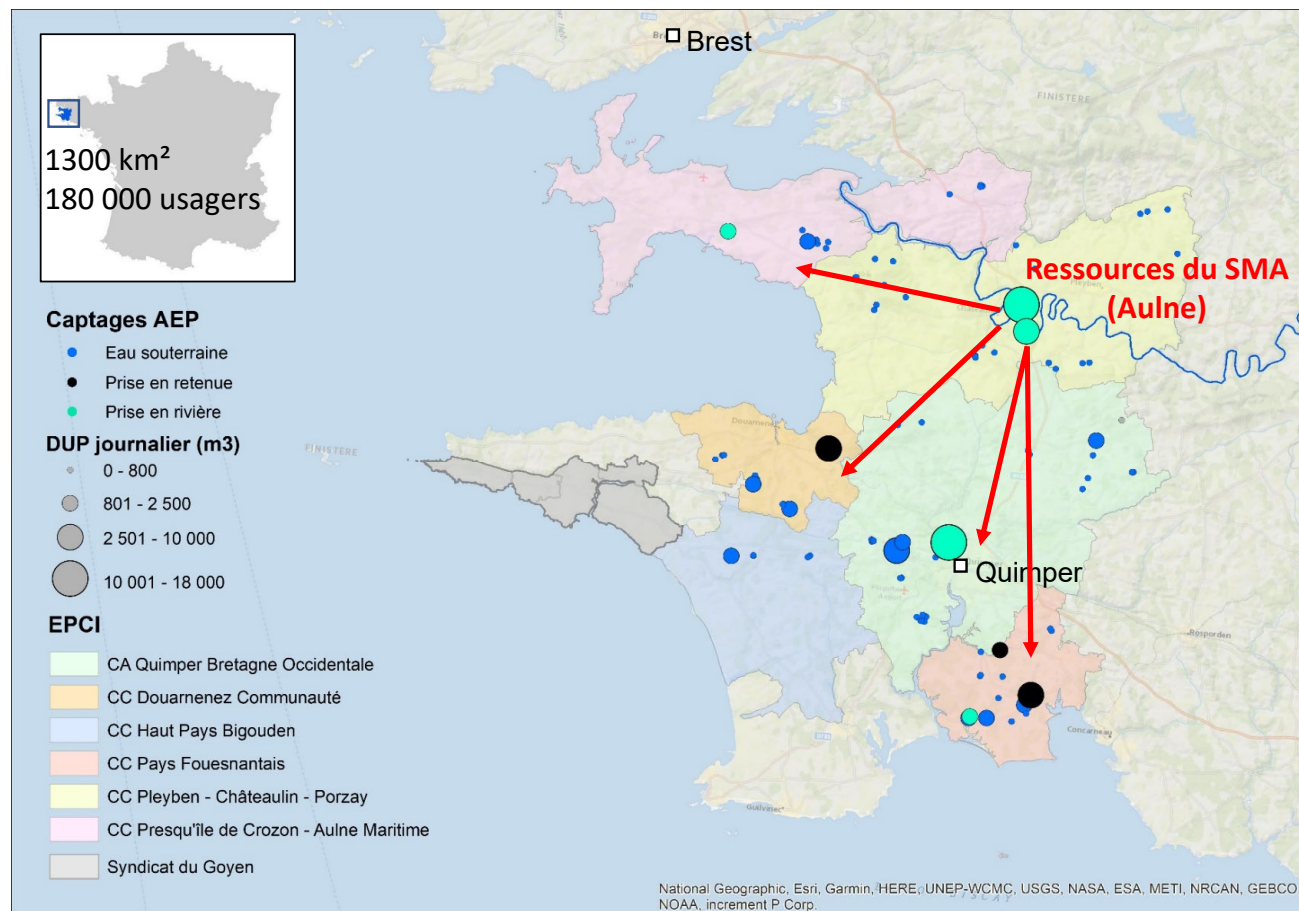
# Introduction

- 6 EPCI responsables de l'AEP
  - Principalement ressources souterraines peu profondes
- Adhérentes d'un syndicat de sécurisation, le Syndicat Mixte de l'Aulne (SMA)
  - Rivière Aulne, soutenue par la réserve de Saint Michel

- Tensions croissantes sur la ressource
- Augmentation des besoins auprès du SMA

→ Le SMA pourra-t-il répondre à ces besoins ?

→ Besoin de planification collective pour la sécurisation de l'AEP du territoire



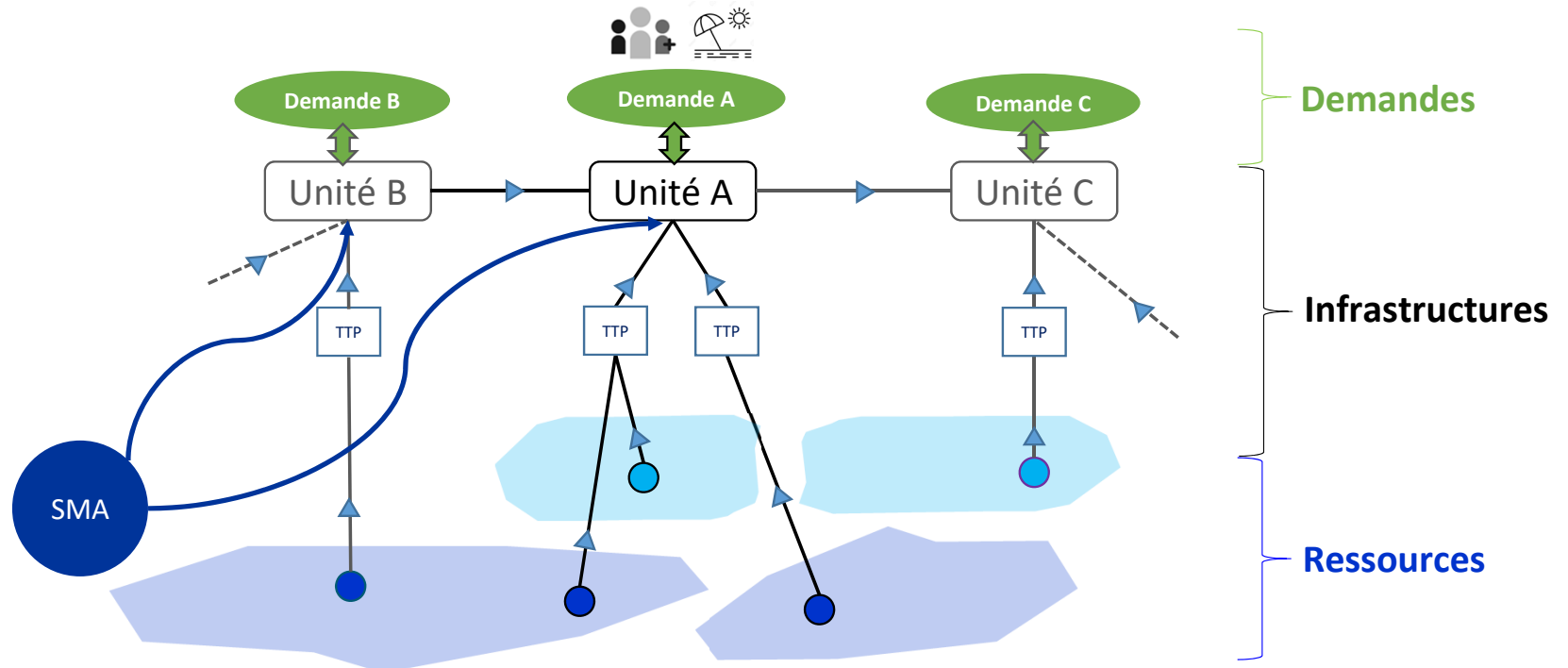
→ **Construction et utilisation participative d'un modèle hydro-économique de l'AEP du territoire**



# Méthode - Le modèle hydro-économique de l'AEP

## MODÈLE CONCEPTUEL

- Représenter le système « ressources – infrastructures – demandes » (réseau de nœuds et liens)
- Sur l'ensemble du territoire (interdépendances)



Modèle  
schématique  
construit avec  
les acteurs

63 communes  
85 points de  
prélèvement  
227 liens

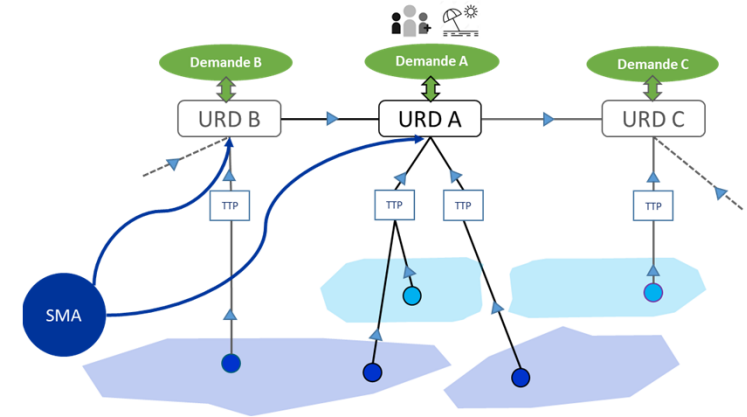
# Méthode - Le modèle hydro-économique de l'AEP

## MODÈLE INFORMATIQUE (modèle d'optimisation codé en python)

Le modèle va chercher à déterminer :

- Volumes à prélever
- Volumes à lâcher de St Michel
- Répartition de l'eau produite entre les différentes destinations desservies

Pas de temps mensuel



### Objectifs à optimiser :

- Satisfaire au mieux les besoins en eau
- Tout en privilégiant les modes d'approvisionnement les **moins coûteux** :
  - 1) ressource de bonne qualité avant une ressource à traiter
  - 2) ressource peu profonde avant une très profonde
  - 3) ressource proche avant une lointaine
- Et en privilégiant le recours aux ressources locales avant le recours au SMA

### Contraintes à respecter :

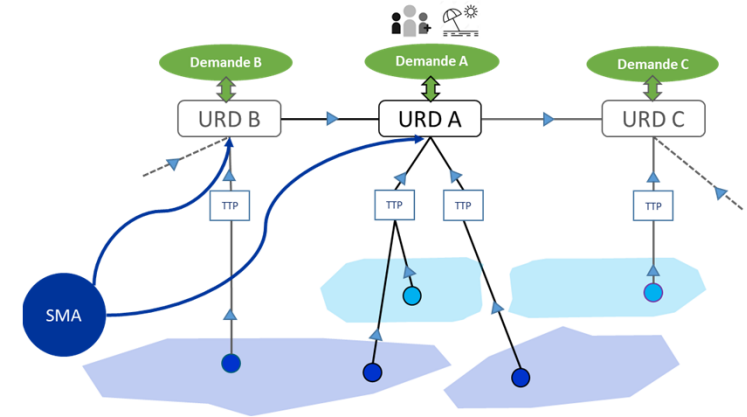
- Capacités des infrastructures
- DUP
- Disponibilité des ressources

# Méthode - Représentation des ressources

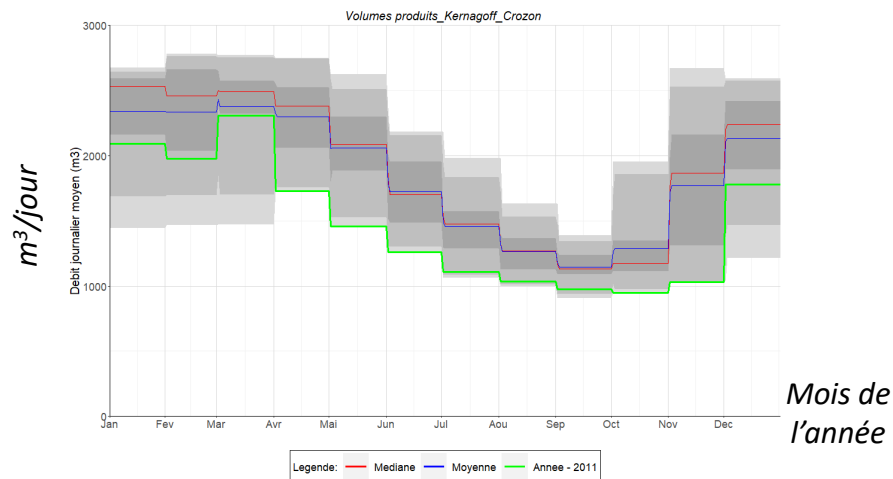
Fournir au modèle des contraintes sur la ressource disponible à chaque point de prélèvement, à chaque pas de temps

Analyse hydrogéologique (contexte de socle)

- Caractérisation des dynamiques saisonnières de chaque type de ressource (puits, forages, surface, mixte)
- Pour différentes années climatiques (moyenne, sèche)



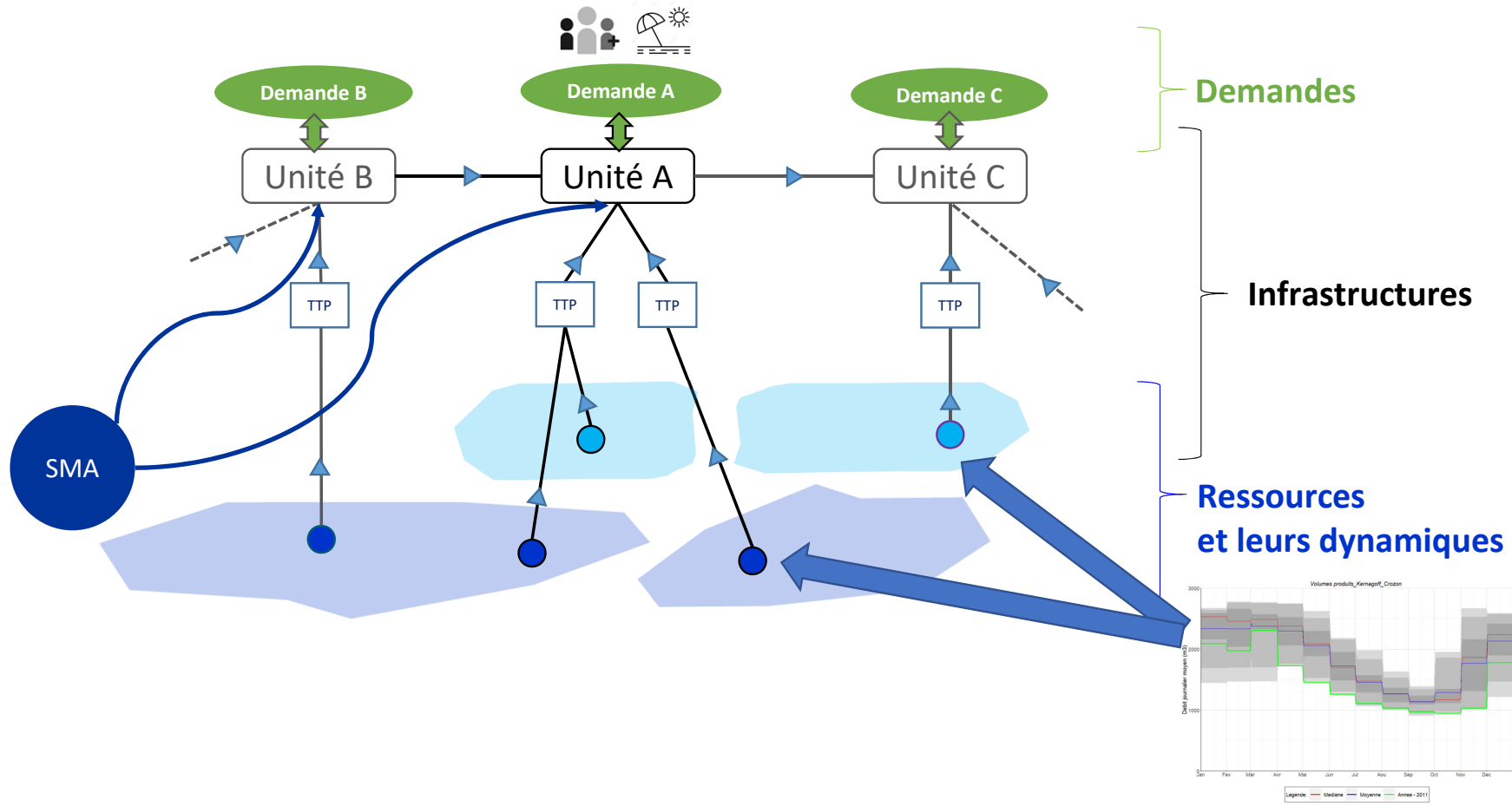
**Perte de productivité d'un puits en été**



Cas de la ressource du SMA (rivière Aulne)

- Retenue de Saint Michel
  - Stock disponible pour le soutien d'étiage
- Prélèvement en rivière si débit > DOE  
→ Prélèvement compensé par lâcher de la retenue si débit prélevable non suffisant  
→ Dans la limite du stock disponible

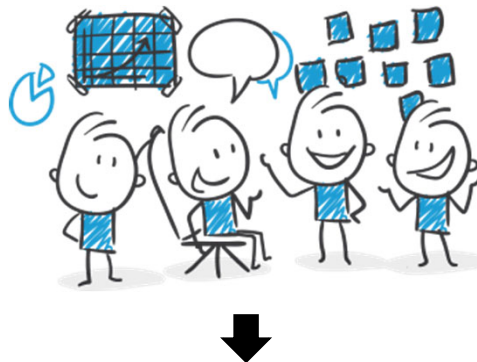
# Méthode - Le modèle hydro-économique de l'AEP



- Modèle exploratoire – à moyen long terme

# 1 Quelles vulnérabilités futures pour l'AEP ?

Co-construction de scénarios d'évolutions futures :



Scénarios de demande	
	Étalement de la saison touristique
	Hausse de la demande résidentielle des communes littorales (+10%)
	Hausse du tourisme estival à Crozon
	Approvisionnement du Nord-Cap Sizun à 100% + Goyen en Août

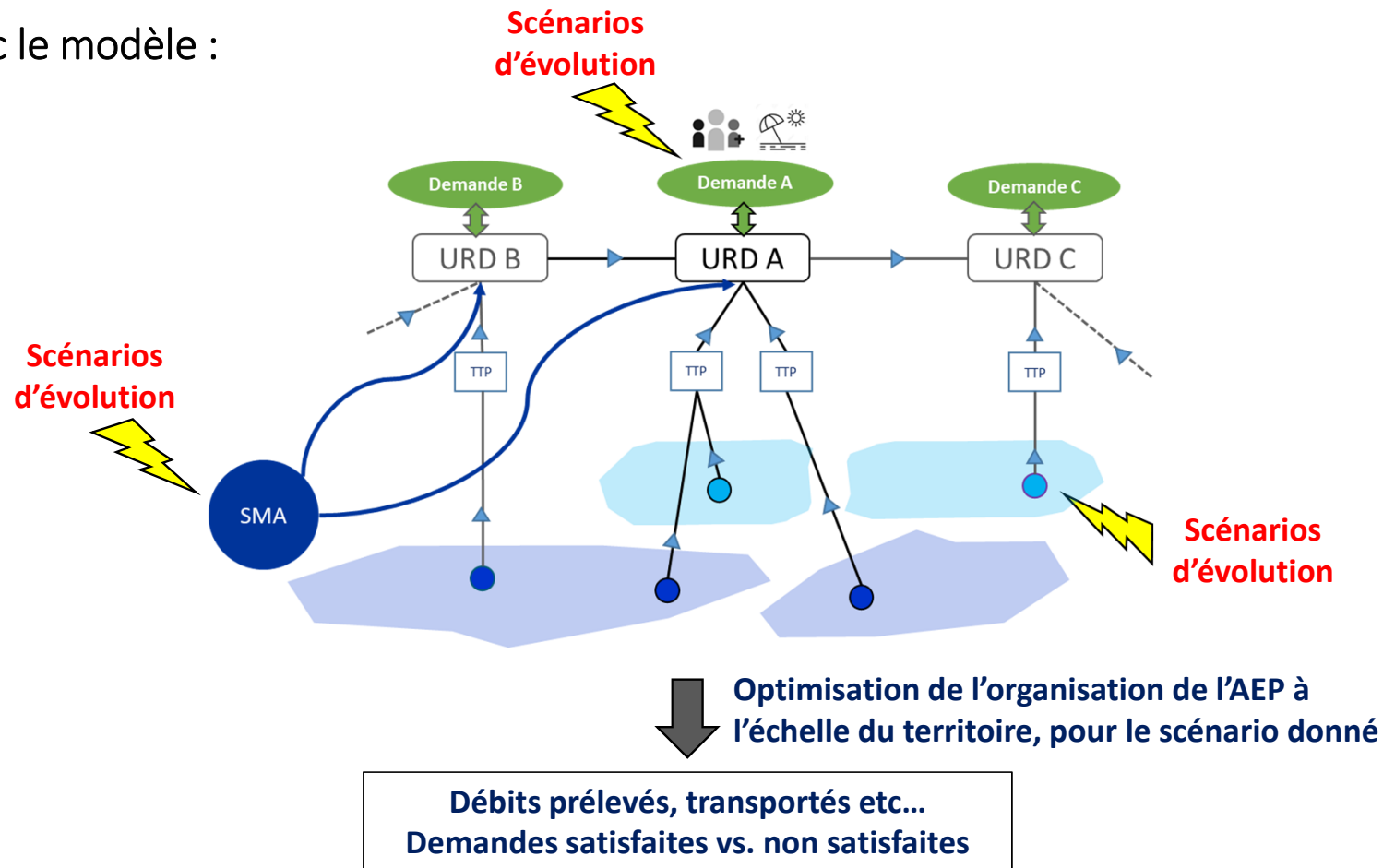
Scénarios de ressources	
	Année moyenne historique
	Année sèche historique
	Année sèche amplifiée sous changement climatique
	Métabolites fermetures restreintes
	Métabolites fermetures maximalistes

Scénario de crise sur l'Aulne	
	En Janvier
	En Août
	En Septembre



# 1 Quelles vulnérabilités futures pour l'AEP ?

Simulation avec le modèle :

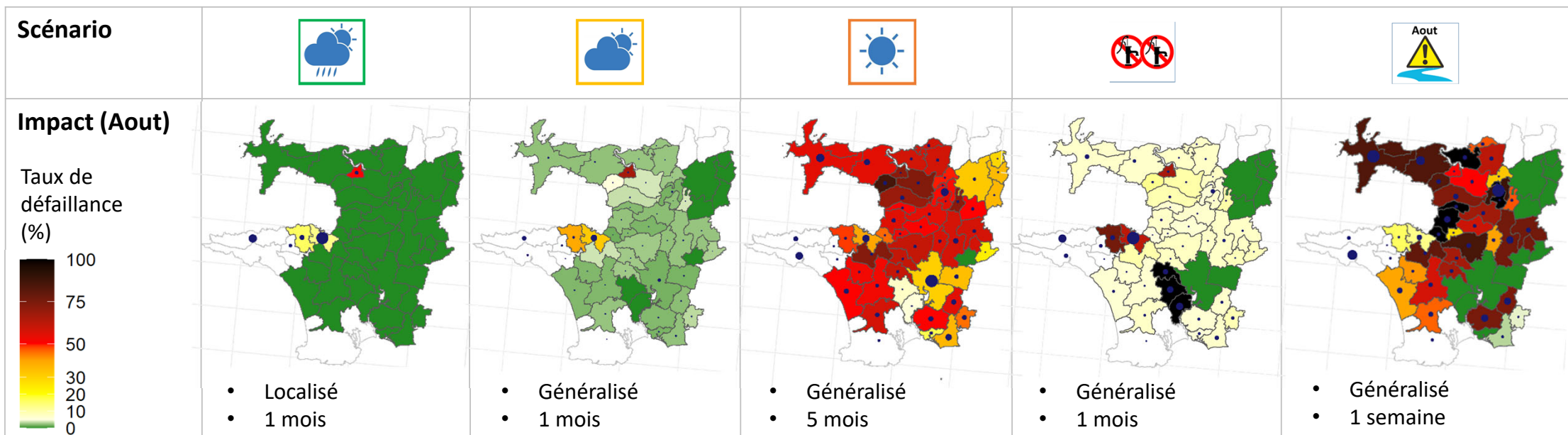


Interreg  
France (Channel) England  
Water For Tomorrow  
Tout un monde en développement durable



# 1 Quelles vulnérabilités futures pour l'AEP ?

Diagnostic des risques de défaillance de l'approvisionnement :



## 2 Face à ces vulnérabilités : quelles mesures de sécurisation ?

Co-construction de mesures de sécurisation :



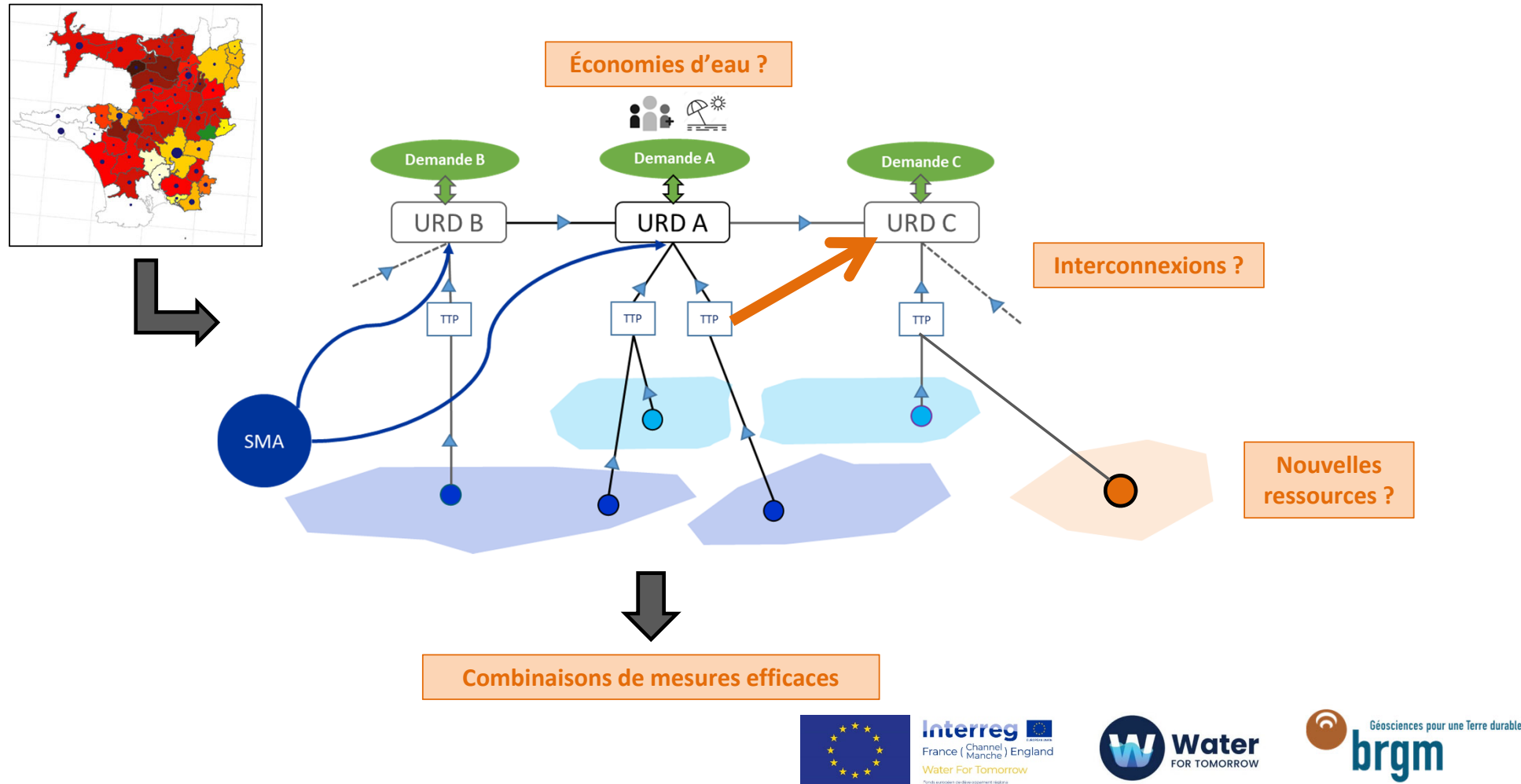
BESOINS	
Mesure	Description
Demande en eau	Demande -5%
	Demande -10%
Rendements	Rendement amélioré

RESSOURCES	
Mesure	Description
Augmentation de la résilience des sites de production par la mise en place de stockage/forage	Résilience par stockages locaux
	Résilience par forages locaux
Nouvelles ressources en eau	Nouvelles ressources du Pays Fouesnantais

SÉCURISATION COLLECTIVE	
Mesure	Description
Stockage en soutien de l'Aulne	7.5M m <sup>3</sup> au 1 <sup>er</sup> juin
	9M m <sup>3</sup>
Interconnexion à impact global	Interco DzCo – Le Juch Interco Cuzon
Interconnexion locale	Interco Locale
Renforcement des ressources collectives	Augmentation de la capacité de production de Kerstrat

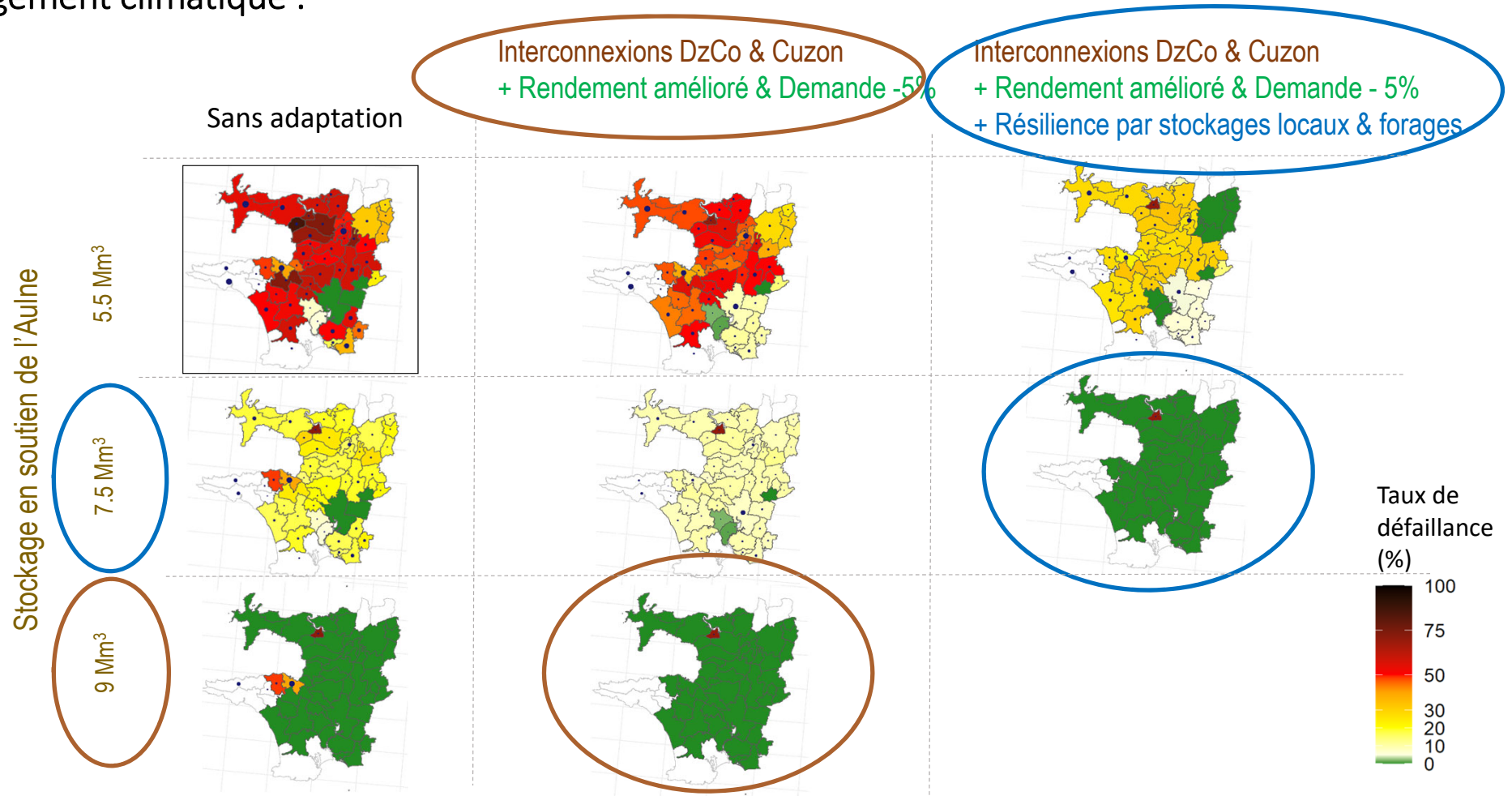
## 2 Face à ces vulnérabilités : quelles mesures de sécurisation ?

Simulation avec le modèle :



## 2 Face à ces vulnérabilités : quelles mesures de sécurisation ?

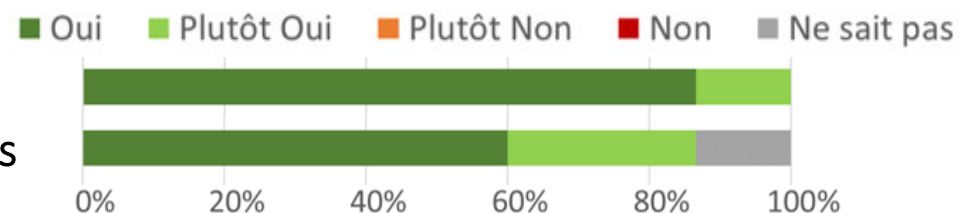
Face à une année sèche amplifiée sous changement climatique :



# CONCLUSION

- Un outil d'aide à la décision pour construire des stratégies de sécurisation collective de l'AEP

- La démarche a été jugée utile pour le territoire
- La démarche a renforcé les interactions entre les acteurs



*« l'approche par modèle quantitatif permet de poser des chiffres sur des enjeux, est essentiel pour la suite des actions à mener »*

*« met en avant les interactions entre chacun et la nécessité de travailler ensemble »*

- Approche répliquable sur d'autres territoires
  - Outil modulable, adaptable à différentes problématiques (quantité, qualité)
  - Peut être couplé à différentes représentations de l'hydrologie
- Importance de bien valider les données, paramètres & hypothèses avec les acteurs



Interreg  
France (Channel) England  
Water For Tomorrow  
Fonds européens de développement régionaux



Géosciences pour une Terre durable  
brgm



Merci pour  
votre attention

Contact : Noémie Neverre [n.neverre@brgm.fr](mailto:n.neverre@brgm.fr)

[water-for-tomorrow.com](http://water-for-tomorrow.com)



**Interreg**   
France (Channel  
Manche) England  
**Water For Tomorrow**  
Fonds européens de développement régionaux



**Water**  
FOR TOMORROW



Géosciences pour une Terre durable  
**brgm**



**G-eau**  
Gestion de l'Eau, Acteurs, Usages

  
**RÉPUBLIQUE  
FRANÇAISE**  
*Liberté  
Égalité  
Fraternité*



# ANNEXES



**Interreg**   
France (Channel  
Manche) England  
**Water For Tomorrow**  
Fonds européens de développement régional



**Water**  
FOR TOMORROW



Géosciences pour une Terre durable  
**brgm**



**G-eau**  
Gestion de l'Eau, Acteurs, Usages



*Liberté  
Égalité  
Fraternité*

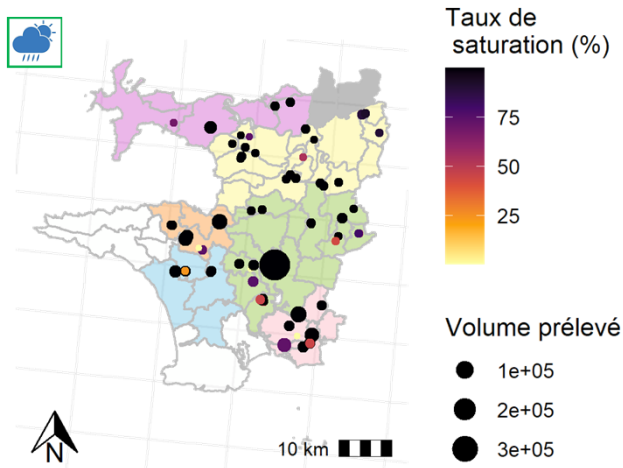




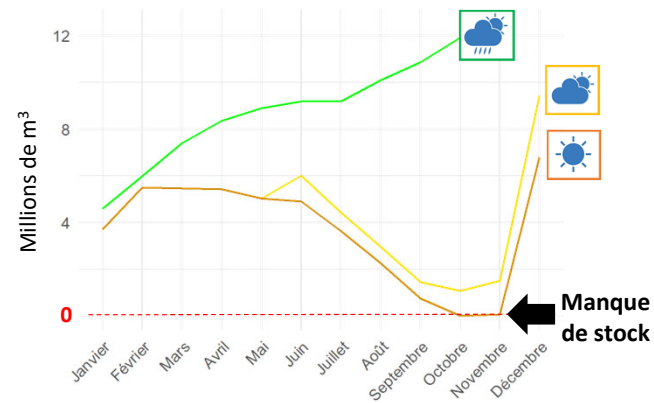
# 1 Quelles vulnérabilités futures pour l'AEP ?

Indicateurs complémentaires permettant d'affiner le diagnostic :

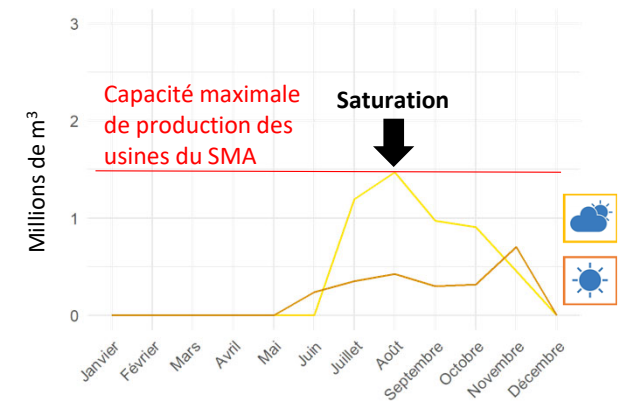
### Niveau de sollicitation des capacités des ressources locales en août



### Stock disponible dans la réserve Saint-Michel



### Lâchers de la réserve vs. capacité de production



# Méthode - Représentation des demandes

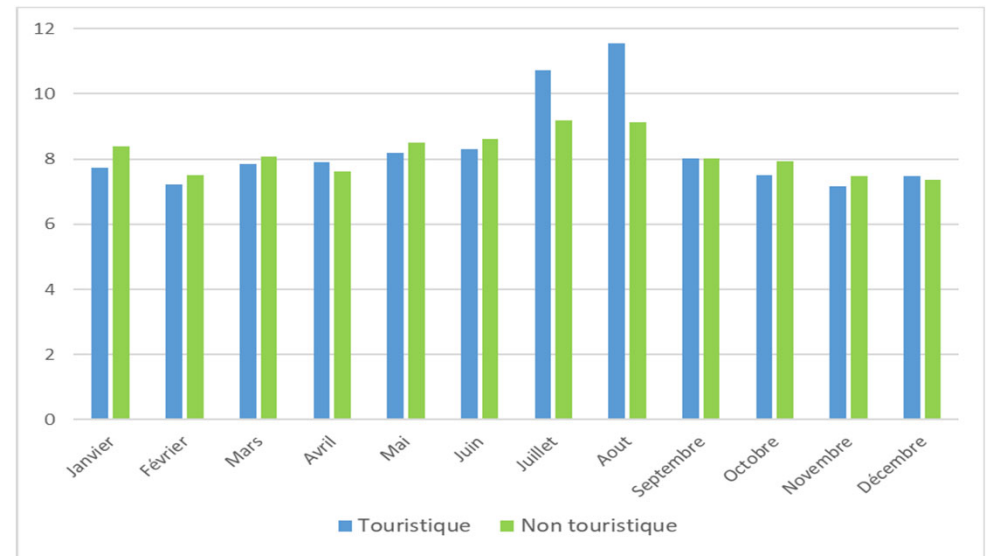
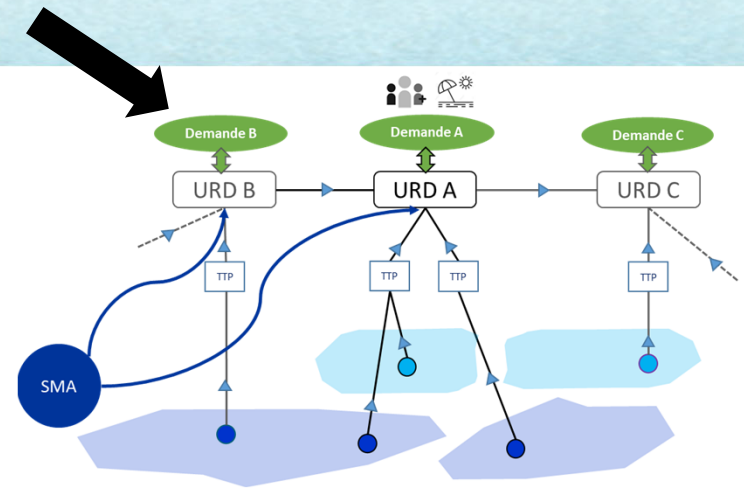
## ■ Là où disponible :

- 1) Récupération des données de « Volumes Mis en Distribution » mensuels dans les RAD
- 2) Transformation en ratios de répartition mensuelle
- 3) Application de ces ratios sur les « Volumes Consommés Autorisés » de l'URD

## ■ Là où pas de données mensuelles :

⇒ Application des ratios mensuels médians

- Pour les communes touristiques
- Pour les communes non touristiques

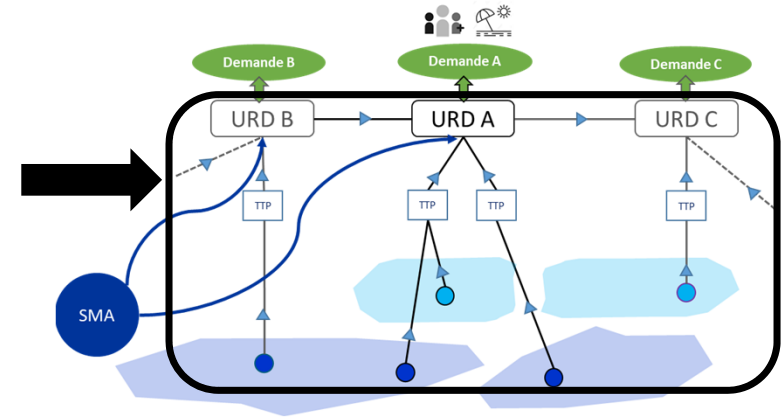


Répartition mensuelle de la consommation  
(Ratios médians)

# Méthode - Représentation des infrastructures

## ■ Principe

- Quelle demande peut être satisfaite par quelle ressource
- Quelles contraintes sur les capacités de production
  - Prélèvement, traitement, transfert
  - Technique, réglementaire, de gestion



## ■ Recension et caractérisation des installations

- ⇒ Schémas d'approvisionnement des différentes unités
- ⇒ Bases de données associées



Consultation des documents publics (RAD, RPQS, SDAEP)



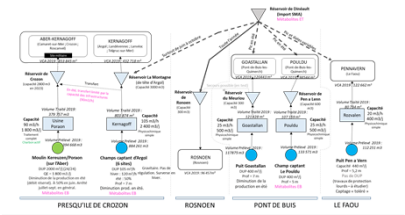
Entretiens en personne ou téléphoniques



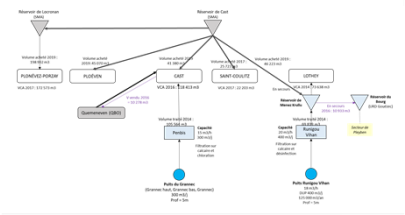
Validation/correction des schémas et bases de données par les acteurs

# Méthode - Représentation des infrastructures

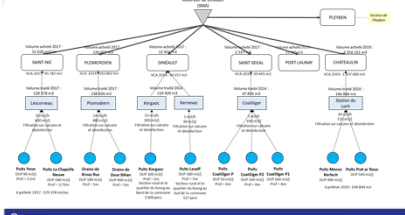
**SCHÉMATISATION DE L'APPROVISIONNEMENT EN EAU POTABLE DE LA COMMUNAUTÉ DE COMMUNES PRESQU'ILE DE CROZON AULNE MARITIME (CCPCAM)**



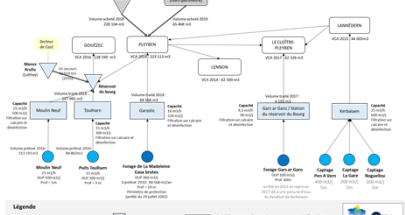
**SCHÉMATISATION DE L'APPROVISIONNEMENT EN EAU POTABLE DE LA COMMUNAUTÉ DE COMMUNES PLEYBEN CHATEAULIN PORZAY (CCPCP) - Secteur de Cast**



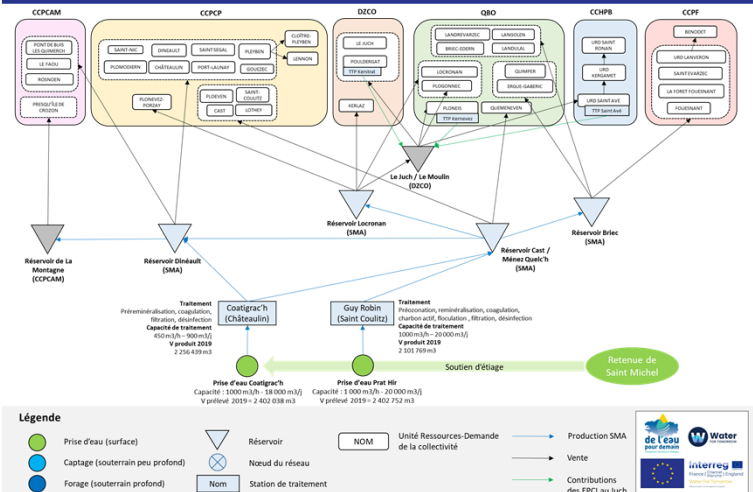
**SCHÉMATISATION DE L'APPROVISIONNEMENT EN EAU POTABLE DE LA COMMUNAUTÉ DE COMMUNES PLEYBEN CHATEAULIN PORZAY (CCPCP) - Secteur de Dinéault**



**SCHÉMATISATION DE L'APPROVISIONNEMENT EN EAU POTABLE DE LA COMMUNAUTÉ DE COMMUNES PLEYBEN CHATEAULIN PORZAY (CCPCP) - Secteur de Pleyben**



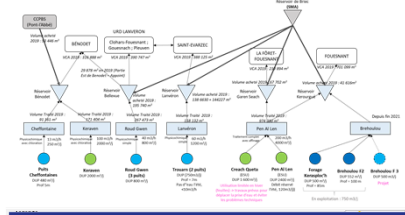
**SCHÉMATISATION DE L'APPROVISIONNEMENT EN EAU POTABLE DU TERRITOIRE SÉCURISÉ PAR LE SYNDICAT MIXTE DE L'AULNE (SMA) Ressources, infrastructures et ventes du SMA**



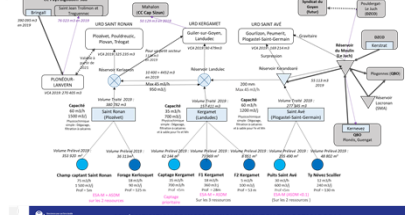
**Légende**

- Prise d'eau (surface)
- Captage (souterrain peu profond)
- Forage (souterrain profond)
- ▽ Réservoir
- ⊗ Nœud de réseau
- ⊞ Nœud
- ⊞ Station de traitement
- ◻ Unité Ressources-Demande de la collectivité
- Production SMA
- Vente
- Contributions des EPCI au Juch

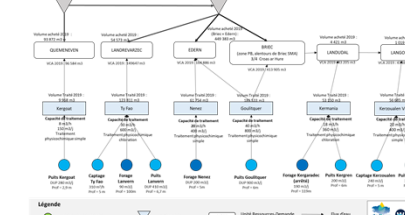
**SCHÉMATISATION DE L'APPROVISIONNEMENT EN EAU POTABLE DE LA COMMUNAUTÉ DE COMMUNES DU PAYS FOUESANTAIS (CCPF)**



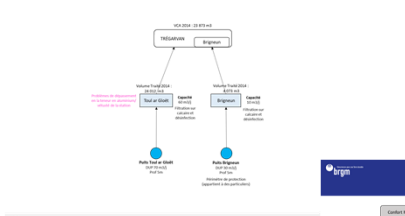
**SCHÉMATISATION DE L'APPROVISIONNEMENT EN EAU POTABLE DE LA COMMUNAUTÉ DE COMMUNES DU HAUT PAYS BIGOULEN (CCHPB)**



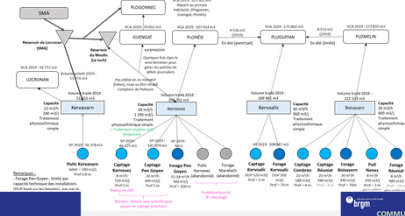
**SCHÉMATISATION DE L'APPROVISIONNEMENT EN EAU POTABLE DE LA COMMUNAUTÉ D'AGGLOMÉRATION QUIMPER BRETAGNE OCCIDENTALE (QBO) - Secteur Menez Quélic'h**



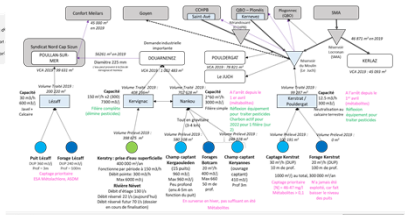
**SCHÉMATISATION DE L'APPROVISIONNEMENT EN EAU POTABLE DE LA COMMUNAUTÉ DE COMMUNES PLEYBEN CHATEAULIN PORZAY (CCPCP) - Secteur de Trégavan**



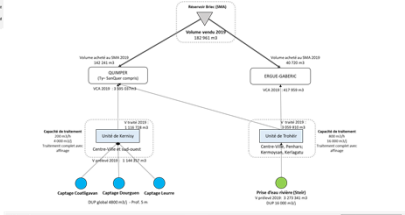
**SCHÉMATISATION DE L'APPROVISIONNEMENT EN EAU POTABLE DE LA COMMUNAUTÉ D'AGGLOMÉRATION QUIMPER BRETAGNE OCCIDENTALE (QBO) - Secteur IPQ**



**SCHÉMATISATION DE L'APPROVISIONNEMENT EN EAU POTABLE DE DOUARNENEZ COMMUNAUTÉ (DZCO)**



**SCHÉMATISATION DE L'APPROVISIONNEMENT EN EAU POTABLE DE LA COMMUNAUTÉ D'AGGLOMÉRATION QUIMPER BRETAGNE OCCIDENTALE (QBO) - Secteur Quimper**



**Légende**

- Prise d'eau (surface)
- Captage (souterrain peu profond)
- Forage (souterrain profond)
- ▽ Réservoir
- ⊗ Nœud de réseau
- ⊞ Nœud
- ⊞ Station de traitement
- ◻ Unité Ressources-Demande de la collectivité
- Production SMA
- Vente
- Contributions des EPCI au Juch

**Légende**

- Prise d'eau (surface)
- Captage (souterrain peu profond)
- Forage (souterrain profond)
- ▽ Réservoir
- ⊗ Nœud de réseau
- ⊞ Nœud
- ⊞ Station de traitement
- ◻ Unité Ressources-Demande de la collectivité
- Production SMA
- Vente
- Contributions des EPCI au Juch

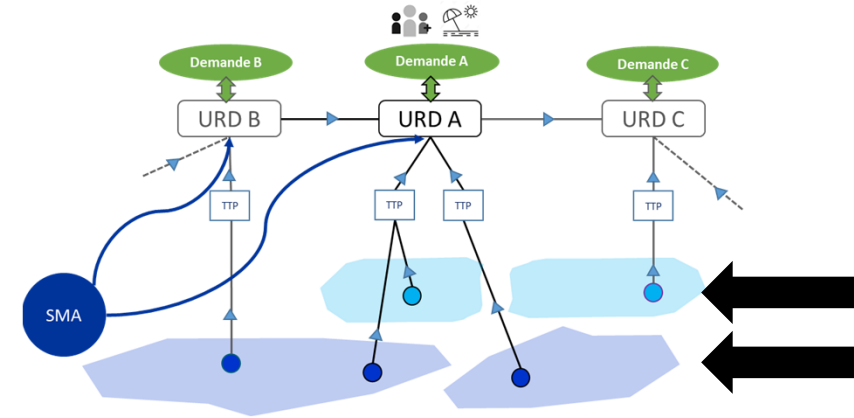
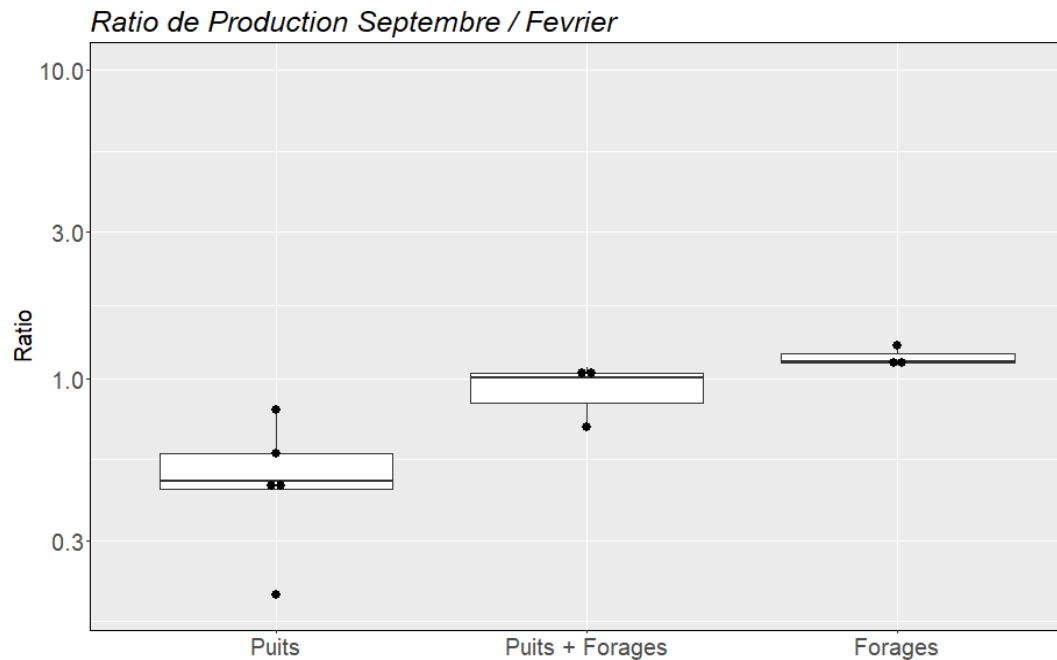
**Légende**

- Prise d'eau (surface)
- Captage (souterrain peu profond)
- Forage (souterrain profond)
- ▽ Réservoir
- ⊗ Nœud de réseau
- ⊞ Nœud
- ⊞ Station de traitement
- ◻ Unité Ressources-Demande de la collectivité
- Production SMA
- Vente
- Contributions des EPCI au Juch

# Méthode - Représentation des ressources

## Prélèvements en eaux souterraines

- Pas de modélisation hydro(géo)logique physique
- Basé sur une analyse hydrologique : analyse statistique des productions historiques



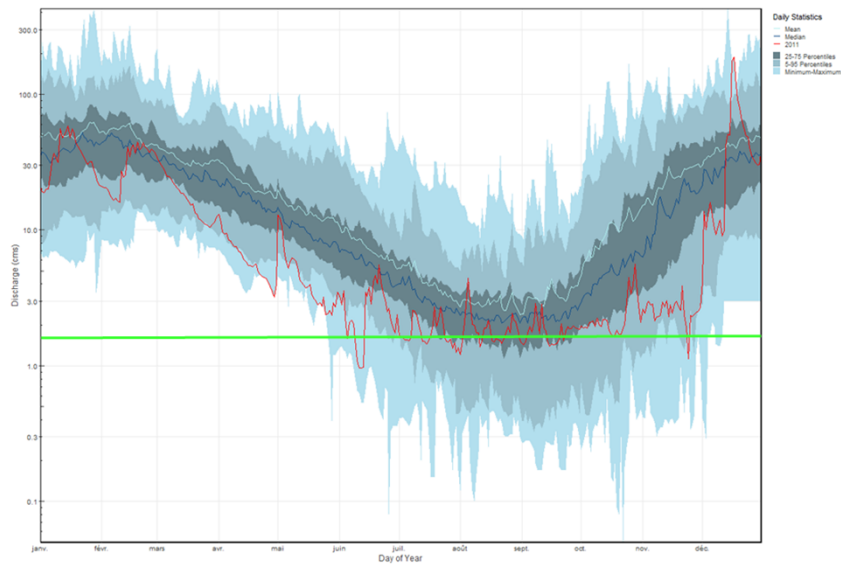
- Sur le site pilote Sud-Finistère, les ressources de sub-surface (5 à 10 m) ont des diminutions de production de 50% en moyenne l'été alors que les forages (20 à 100 m) maintiennent leurs capacités de production.

# Méthode - Représentation des ressources

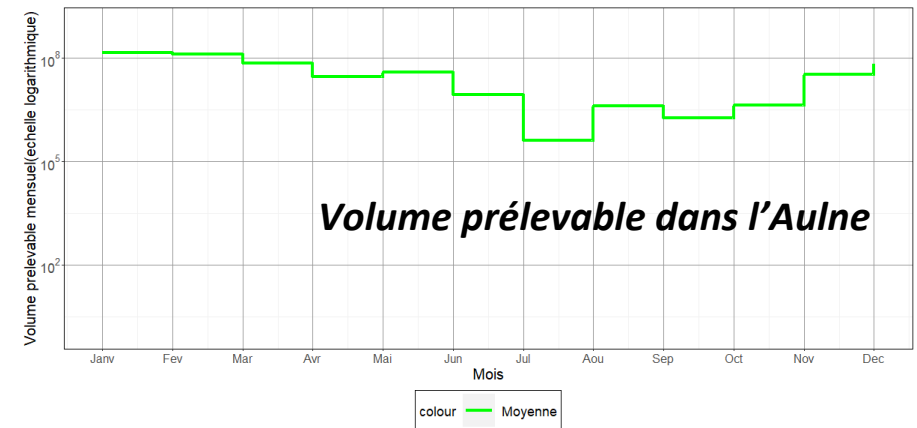
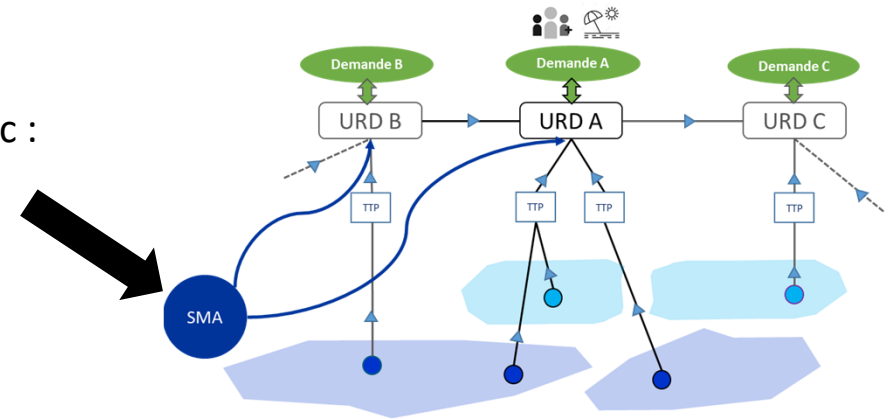
## Prélèvements dans l'Aulne

Estimation du volume prélevable basé sur les débits historiques avec :

- 1) Prise en compte des lâchers de la retenue St Michel  
→ on reconstitue un débit « naturel »
- 2) Respect du Débit réservé (Bases journalières) et DOE  
→ on estime le volume « prélevable »



Débit observé à Chateaufaou, avec le DOE en vert



- 3) Ce volume prélevable peut être complété par des lâchers de la retenue St Michel (dans la limite du stock disponible)

## Méthode – Coût total

- Objectif : minimiser le coût total :
  - Coût de production (fonctions de pénalité)
  
  - Prélèvement :
    - Fonction de coût de prélèvement générique, fonction de la profondeur, des caractéristiques de la nappe et du débit à prélever (énergie nécessaire au pompage)
  
  - Transfert :
    - Fonction de pénalité générique, fonction de la distance à parcourir, du diamètre des conduites, de l'éventuel différentiel d'altitude et du débit à transférer
  
  - Traitement :
    - Coût de traitement unitaire moyen par type de traitement, là où la qualité de la ressource nécessite un traitement particulier

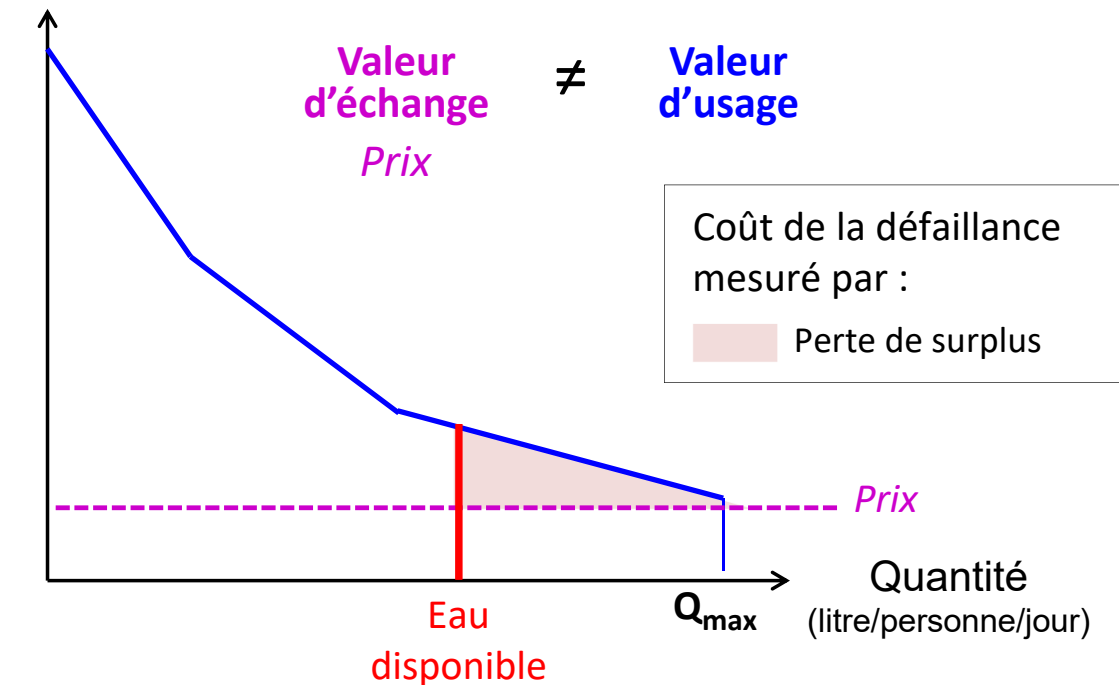


# Méthode – Coût total

- Objectif : minimiser le coût total :

- Coût de production (fonctions de pénalité)
- Coût du manque d'eau si besoins non entièrement satisfaits (perte de bien-être)

Consentement à payer  
(\$/m<sup>3</sup>)



➔ Coût de la défaillance croissant par mètre cube manquant :

le premier mètre cube manquant (ex : ne pas pouvoir arroser sa pelouse) est moins pénalisant que les suivants (ex : ne pas pouvoir prendre de douche).

- Minimiser le coût total ➔ équilibrer l'allocation de l'eau entre les différentes communes

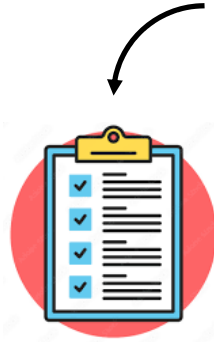
# Vers une stratégie de gestion collective



Mesure de sécurisation	Nom court	Ces mesures sont-elles à mettre en place ?				
		Oui déjà en cours	Oui à court terme	Oui à moyen terme	Oui à long terme	Non
Demande en eau	Demande +5%	1/2	3/3/1/1/1/1/1/1	1/2		x
	Demande -10%		2		1/1/1	x
Rendements		3/1/1/1/1	1/1/1/2	3/2/2/1	1/3	
Augmentation de la résilience des sites de production par la mise en place de stockages / forages	Résilience par stockage		2/3/1/1	3/2/2/3/1/1/1/2	1	
	Résilience par forage		1/3	2/1/1/1/2/2/2/1	1	
Nouvelles ressources en eau	Nouv. ress. CCPF	1/3/1/1/3/1/1		2	1	
	Total 7.5 Mm³		1/2/3	1		x
Stockage soutien à l'Aulne	Total 9 Mm³		3/3/3/3/3/3	1/2		
	Dont carrières (max potentiel 2 Mm³)		3/3	3/2/2/2/2/1/2	1/2	
Augmentation des capacités des usines du SMA	+5% ou +10%			3	1/1/1/2	1/1/1/1/1/2
Interconnexion avec impact global	Interco DcCo et Interco Canon		3/3/3/3/2/3/3/3/3	1/2		
Interconnexion locale	Interco locale	1	2/3/1/3/2/3	1/2/2/1		
Renforcement des ressources collectives	Kerstrat	1/1	3/3/3/3/2/3	1/2/3		
Impact possible du Juch vers Kernevez		1/3/1/2	1/2	2		
Mise en place de traitement	Sur tous les sites touchés	3	3	1/2/1	2	
	Sélection de sites touchés	Audm/1	2/1/3/3/3	2		1



- En se basant sur les résultats : identification mesures prioritaires à mettre en œuvre
- Tour de table: 3 mesures les plus prioritaires
- Pour les mesures faisant consensus : lister les étapes concrètes pour leur mise en œuvre



# Évaluation

