



Quelles solutions face au stress hydrique ?

Focus sur la réutilisation des eaux et la recharge des nappes

Jeudi 15 juin 2023 - Talence



Alain Dupuy
Professeur d'Hydrogéologie
et Directeur de l'ENSEGID



Xavier Humbel
Directeur technique Eau
Antea Group

¹ BORDEAUX
INP Ensegid





Plan

- Les impacts aujourd'hui et demain, les enjeux du plan Eau 2023
- Réutilisation des eaux non conventionnelles
- Recharge maîtrisée des aquifères
- Conclusions et perspectives : ingénierie, enseignement & recherche

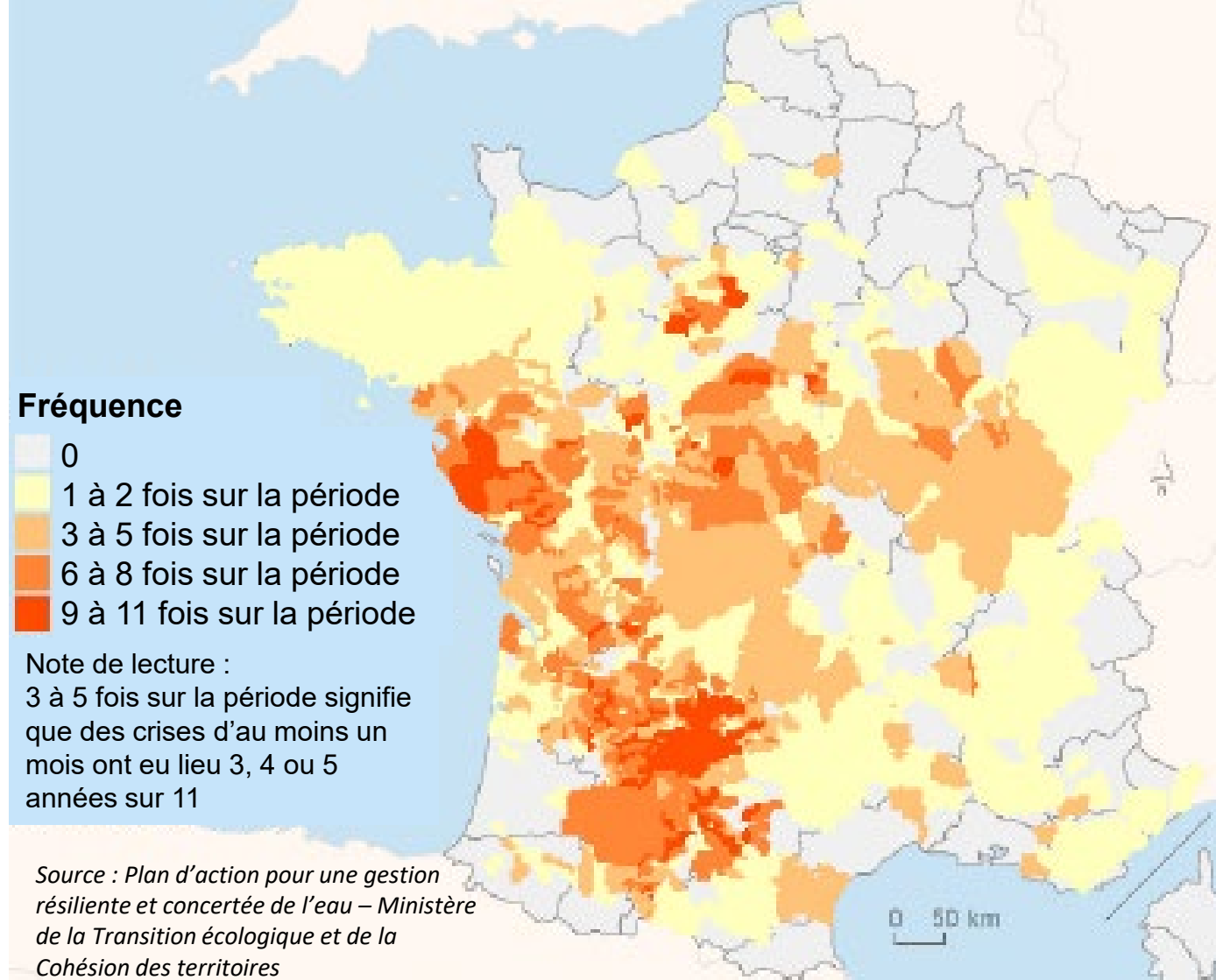
Un stress hydrique déjà très présent aujourd'hui

Eté 2022 :

- 93 départements en restrictions d'eau
- 1000 communes en rupture d'approvisionnement en AEP

2023 :

- 110 bassins versants en tension
- Arrêtés sécheresse
- 68 % nappes niveau modérément bas à très bas *



Fréquence des épisodes annuels de restriction de niveau « crise » des usages de l'eau superficielle d'une durée de plus d'un mois, sur la période 2012-2022

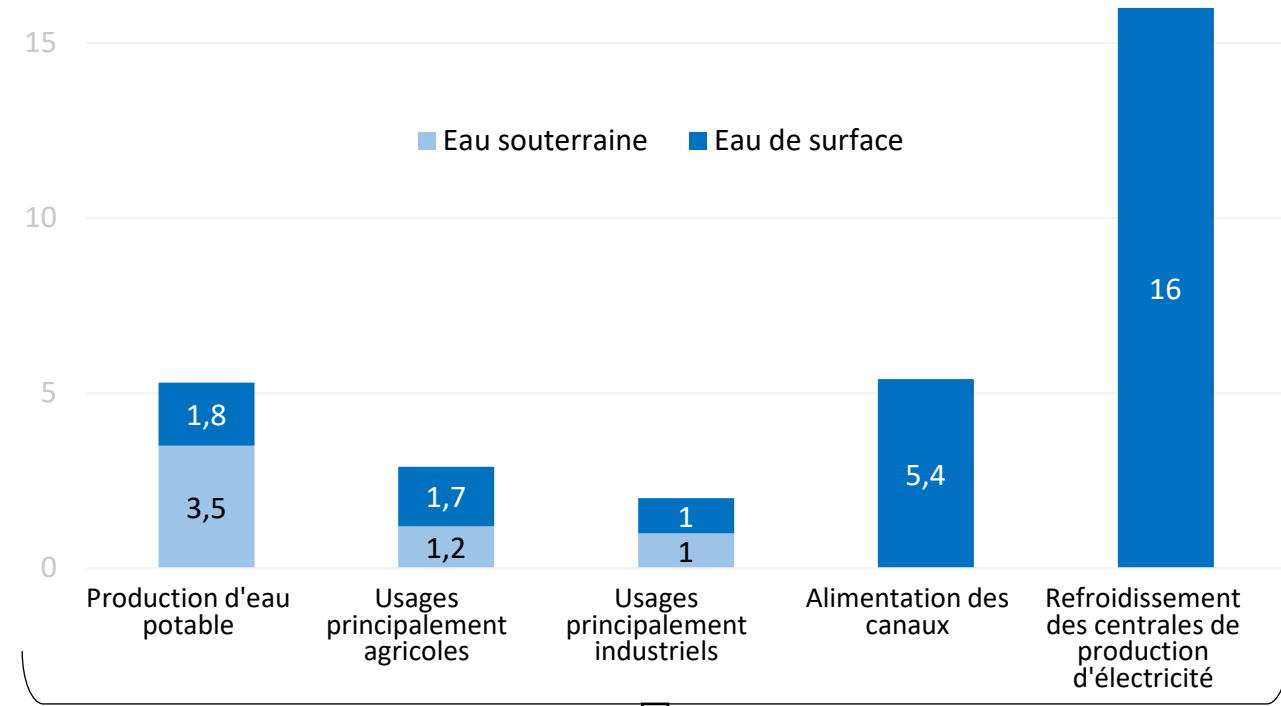
Répartition volumes

- Les besoins en eau et la disponibilité de la ressource sont **répartis inégalement** dans le temps et dans l'espace sur notre territoire

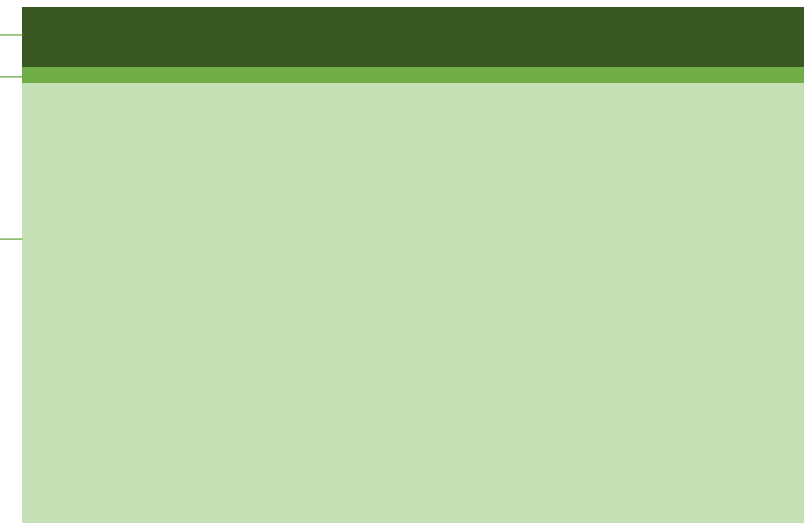


60 % du volume annuel consommé **en été** quand seulement **15 %** du volume d'eau douce annuel est disponible

~ 33 Md d'eaux douce prélevés annuellement



4 Md d'eau douce consommés
1 Md de fuites réseaux AEP
28 Md d'eau douce restitués au milieu naturel



Le stress hydrique demain?

→ Le changement climatique pourrait étendre et accroître durablement le stress hydrique

↳ recharge des nappes

↳ débits d'étiage des cours d'eau

Remontée du biseau salé

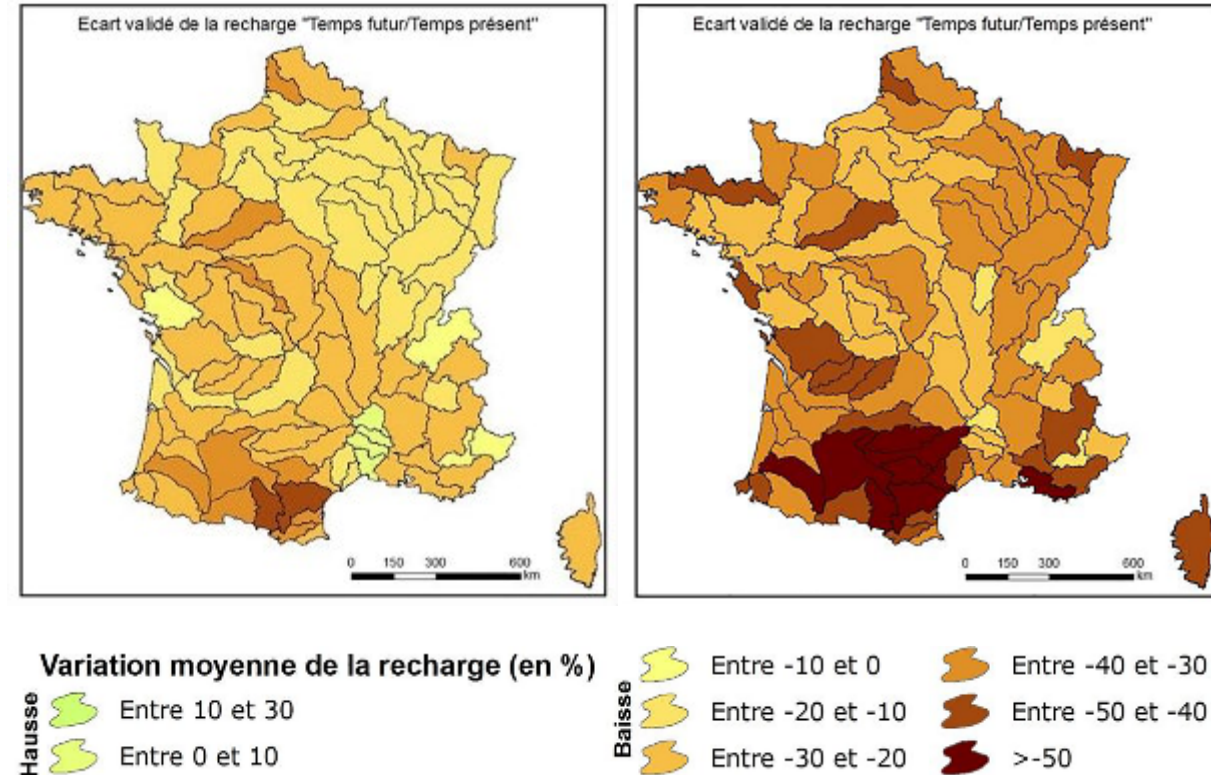
Dégradation de la qualité des eaux

→ **Nécessité de réduire nos prélèvements dans la ressource**

→ **Gestion intégrée résiliente et concertée de la ressource**

→ **Transition vers des activités plus sobres en Eau (et Energie)**

Variation estimée de la recharge des nappes écarts moyen et maxima de la recharge temps futur (2045-2065) / temps présent (1960-1990)



Source : Projection projet EXPLORE 2070

Objectifs du plan Eau

Axe 1 : sobriété des usages pour tous les acteurs : mesurer, planifier, économiser

- Filières économiques
- Etat et collectivités
- Citoyens

Axe 2 : optimiser la disponibilité de la ressource

- Réduire fuites sur réseaux d'eau potable
- Massifier la valorisation des eaux non conventionnelles **1000 projets**
- Améliorer le stockage dans les sols, les nappes, les ouvrages



Réutilisation d'eaux non conventionnelles



Systèmes de recharge maîtrisée des aquifères

Réutilisation des eaux non conventionnelles

- **Eaux Non Conventionnelles (ENC) = eaux ne provenant pas (directement) des ressources**
- La valorisation de ces eaux par leur réutilisation dans les activités humaines et environnementales = **REUSE**
- Plusieurs sources disponibles

- eaux usées traitées urbaines
- eaux industrielles traitées

EUT

- eaux industrielles non traitées : eaux de procédés, de refroidissement, résiduaire, ...
- eaux de pluie issues des toitures
- eaux de pluie ruisselées sur les surfaces
- eaux grises (eaux ménagères) : chasses d'eau, éviers, douches, lave-linge, lave-vaisselle, ...
- eaux des piscines : bassins, pédiluves, nettoyage des filtres, ...
- eaux d'exhaure

Autres
ENC

45 usages différents inventoriés répartis en 5 domaines



REUSE encore peu développée en France par rapport aux autres pays

- **Panorama REUT en France** (eaux résiduaires urbaines et industrielles) en 2017 * :

58 projets en exploitation

- 60 % irrigation agricole
- 26 % golfs

- **REUSE industrielles :**
 - nombreux projets d'économie d'eau avec recyclage et/ou réutilisation dans une diversité d'activités industrielles fortement consommatrices d'eau
 - pas de REUSE en IAA (contact alimentaire)
- **Autres projets** passés sous le radar ?

Principaux freins

- **Complexité** : technique, économique, gouvernance, acceptabilité
- Gestion des **risques sanitaires microbiologiques et micropolluants**, génération d'aérosols, interconnexion entre les réseaux, ...
- **Coûts** d'investissement et d'exploitation
- **Manque de REX** documentés
- **Réglementation** partielle, complexe et peu incitative

Réglementation actuelle : limite le développement de la REUSE - exemples



Eaux résiduaires urbaines et industrielles traitées

- Arrosage de cultures ou d'espaces verts ouverts au public
- Lavage sols, lavage de voiries, curage des réseaux, défense incendie, ...
- Recharge de nappe



autorisé et réglementation dédiée



autorisation selon étude de risques, avec durée maxi 5 ans (expérimentation)



autorisation, avis de l'ANSES 2016, ...



Eaux de pluie des toitures inaccessibles

- Usages extérieurs au bâtiment, chasse d'eau et lavage sols
- Lavage linge
- Autres usages dans l'habitation



autorisés



à titre expérimental



interdits



Eaux industrielles des industries agroalimentaires (contact alimentaire)

→ dispositions spécifiques non encore définies

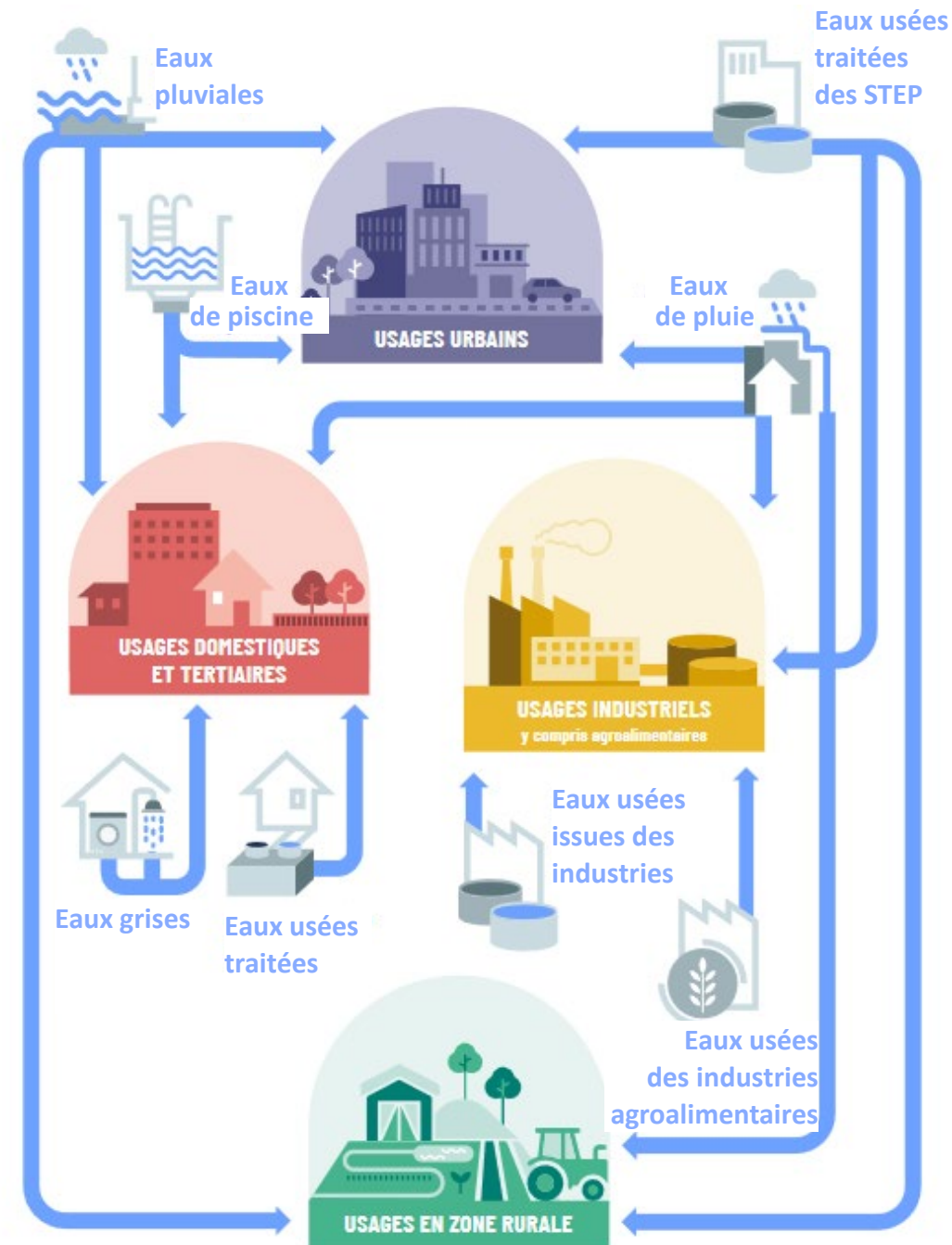


interdits

Une évolution est en cours ...

- Groupe de travail ENC Astee / Ministères Santé et Environnement → guides* : opportunités par types d'usage
 - Analyse de REX
 - Préconisations : étendre le multi-sources et multi-usages, mieux partager les REX et simplifier la réglementation
- 1^{ères} expérimentations en nettoyage urbain :
→ risques sanitaires pourraient ne pas être plus importants avec certaines ENC qu'avec de l'eau potable
- connaissances scientifiques : transferts des micro-organismes et micropolluants dans les écosystèmes eau, sols, plantes
→ solutions opérationnelles de maîtrise des risques

* Favoriser le recours aux eaux non conventionnelles - Analyse des freins et leviers et recommandations du Groupe de Travail ENC Astee 2023

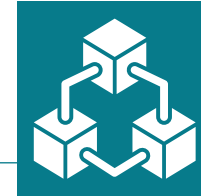


Analyse coût bénéfices :
coût de l'eau potable
généralement sous-évalué



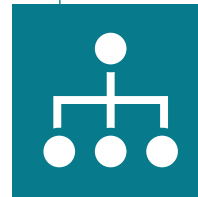
Intégrer le projet dans le bassin versant et réaliser
un bilan environnemental (ACV*, ...)

Clés de succès pour le développement des projets de REUSE



Solution
multi-sources
et multi-usages de
proximité

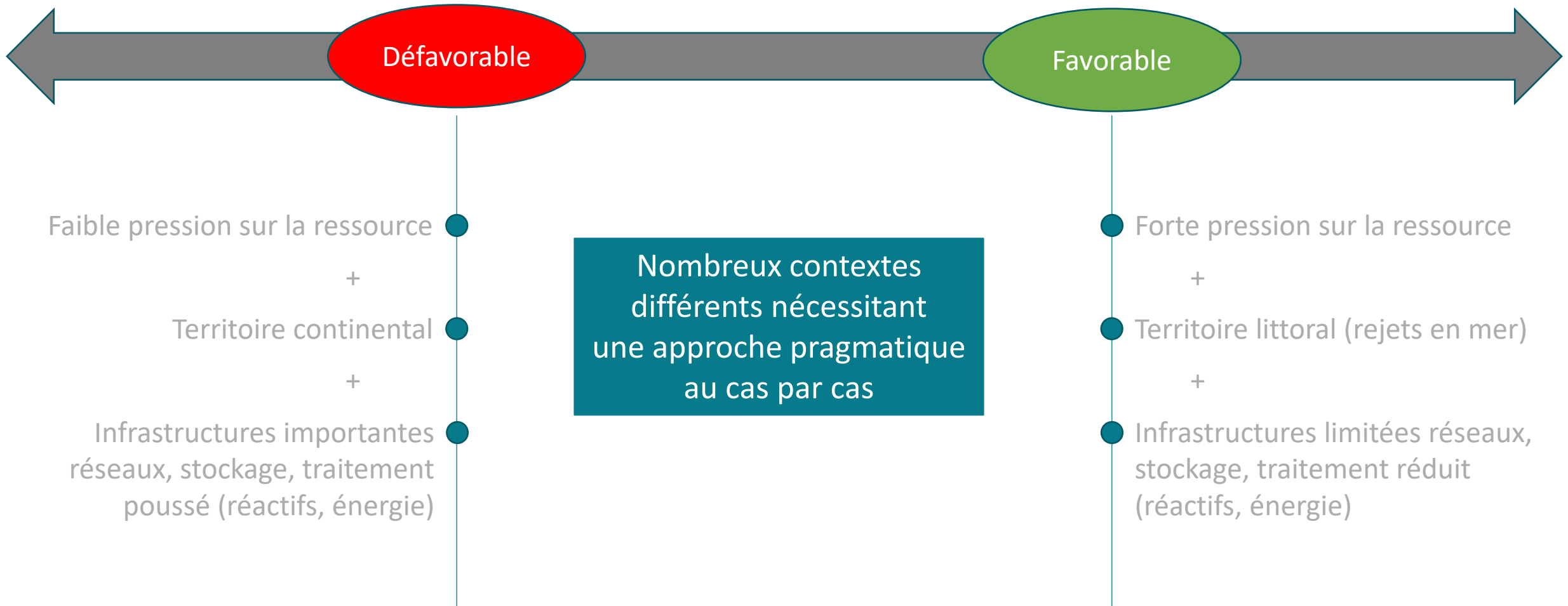
Analyse des risques sanitaires
et environnementaux : au cas par cas avec
protection multi-barrières



Déployer des **traitements modulaires** en fonction
de la juste qualité attendue avec **procédés à faible
empreinte environnementale** (solutions fondées sur la nature)

* ACV : Analyse du Cycle de Vie

Bilan environnemental complet par une ACV (*)



* ACV : Analyse du Cycle de Vie

An LCA framework to assess environmental efficiency of water reuse - Application to contrasted locations for wastewater reuse in agriculture

REUSE industriel en papeterie

Exemple



- **Ressource** : eau de rivière 1300 m³/j prélevé
- **Ambition** : réutiliser les eaux usées traitées dans tous les procédés en cas de limitation du prélèvement
- **Objectifs** : obtenir une qualité d'eau proche de celle de la ressource (conductivité, équilibre physico-chimique, ...)
- **Problématique technique** : présence de colorants et d'azurants optiques dans les eaux usées traitées

Solution



Traitement complémentaire de filtration membranaire
UF+NF/OI sur une partie du débit

Bilan



- ✓ Maintien de l'activité
- ✓ ~ 1000 m³/j non prélevé



- Coût d'investissement : 5 M€
- Coût d'exploitation 700 k€/an (énergie, ...)
- 4,3 €/m³ d'eaux usées traitées

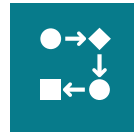
Exemple irrigation golf en zone côtière – La Grande Motte



Exemple

- **Ressource** : canal du Bas-Rhône Languedoc : environ 300 000 m³/an d'eau brute
- **Ambition** : réutiliser les eaux usées de la station d'épuration pour arroser une partie du golf à proximité (2,5 km) et réduire les rejets
- **Objectifs** : obtenir une eau conforme à la réglementation pour l'arrosage des espaces verts et de loisirs
- **Problématique technique** : salinité des eaux risquant de jaunir le gazon et dégrader les sols, habitations, pression des réseaux existants du golf

Solution



Ajout d'un traitement complémentaire de filtration, système de pompage, désinfection, stockage, et mélange avec eau brute du canal au niveau du golf en fonction de la salinité des eaux

Bilan



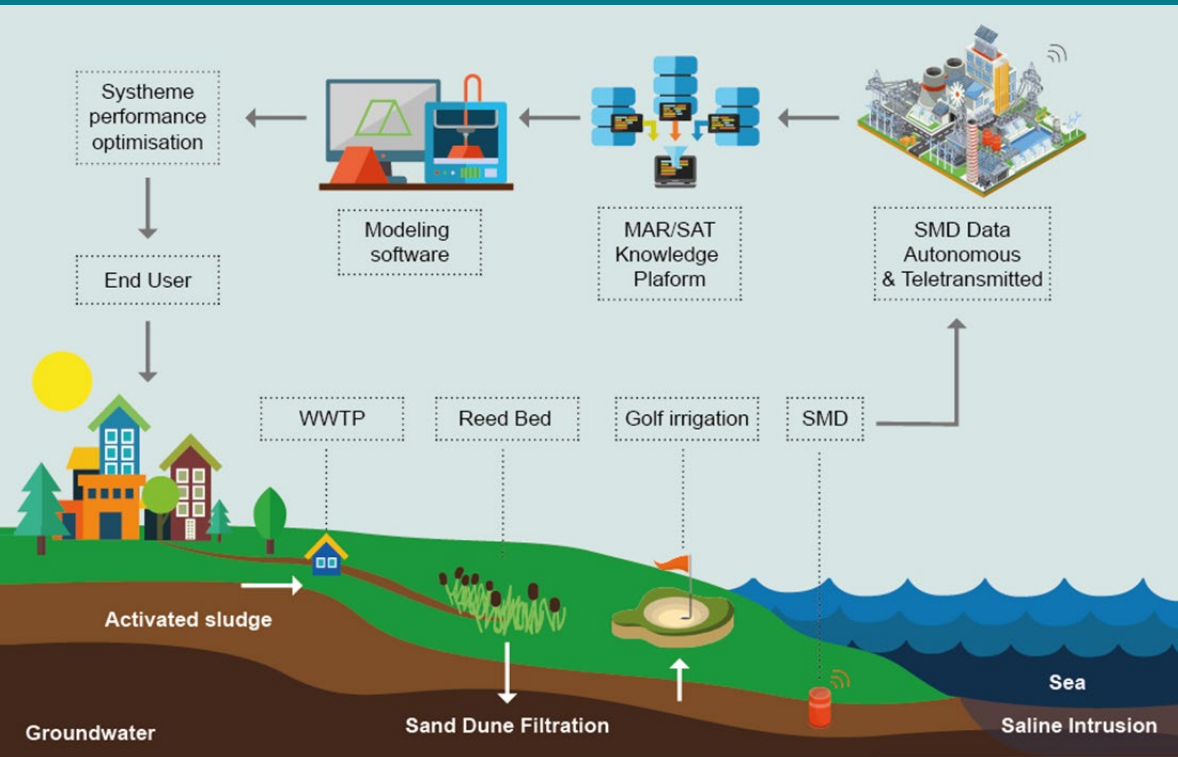
- ✓ Economie circulaire
- ✓ Réduction de la pression sur le milieu sensible Etang de l'Or 20 à 25 %
- ✓ Economie d'achat d'eau brute ~ 30 %



3,4 M€ (50 % subvention - Appel à Projet)
Surcoût + 20 à 30 cents/m³

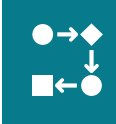
Exemple R&D AQUANES – REUSE / recharge de nappe & arrosage de golf

Exemple



- **Ressource** : aquifère côtier - site d'Agon-Coutainville (50)
- **Ambition** : préservation de l'aquifère côtier et la qualité des eaux littorales (conchyliculture, tourisme)
- **Objectifs** : étudier des solutions fondées sur la nature combinées à des procédés intensifs pour différents usages de REUSE (irrigation d'un golf, production indirecte eau potable)
- **Problématique technique** : suivi et réduction des micropolluants émergents, intrusion saline, fiabilité

Solution



Station d'épuration existante, bassins d'infiltration et roselières appliquée à l'irrigation d'un golf

Bilan



- ✓ Réduction des concentrations de certains contaminants émergents
- ✓ Hausse de 0,50 à 1 m de la nappe phréatique dans l'aquifère des dunes qui limite l'intrusion saline
- ✓ Solution fondée sur la nature

La REUT demain ?



Recharge nappe

Soutien d'été, ZH

Désinfection UV

Module 2 UF

Module 1 : Filtration

Station d'épuration

Traitement des micropolluants



Risques « pas plus élevés qu'avec l'eau potable »

Traitement Spécifique





Recharge maîtrisée des aquifères

Systemes de recharge maîtrisée des nappes

Un cadre donné par l'ANSES...

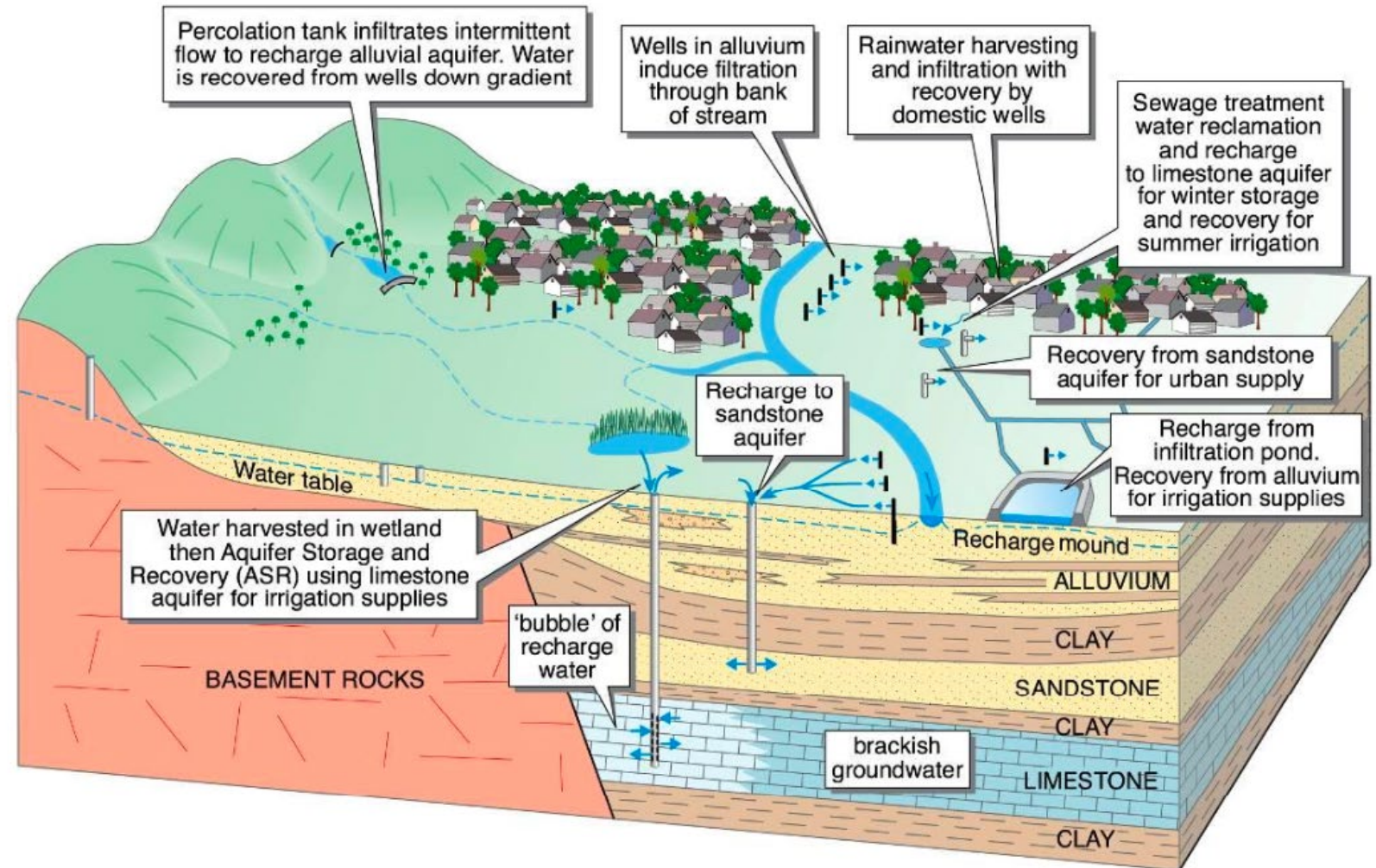
« Au vu des données actuellement disponibles sur les dangers pour la santé liés à la recharge artificielle des nappes à partir d'eaux de surface et d'eaux usées traitées, l'Anses considère que cette pratique pourrait être déployée pour lutter contre la diminution des ressources en eaux souterraines, sous certaines conditions :

- la recharge artificielle de nappe ne doit pas dégrader la qualité de l'eau de la nappe d'eau souterraine, ni imposer, après prélèvement, de traitements des eaux supplémentaires pour un même usage par rapport à une ressource non rechargée ;
- toutes les eaux souterraines rechargées doivent être compatibles avec leur utilisation, actuelle ou future, pour la production d'eaux destinées à la consommation humaine, afin de ne pas hypothéquer ces ressources pour l'avenir ;
- la qualité de l'eau de recharge doit être meilleure ou au moins équivalente à la qualité de l'eau de la nappe. »

Systemes de recharge maîtrisée des nappes

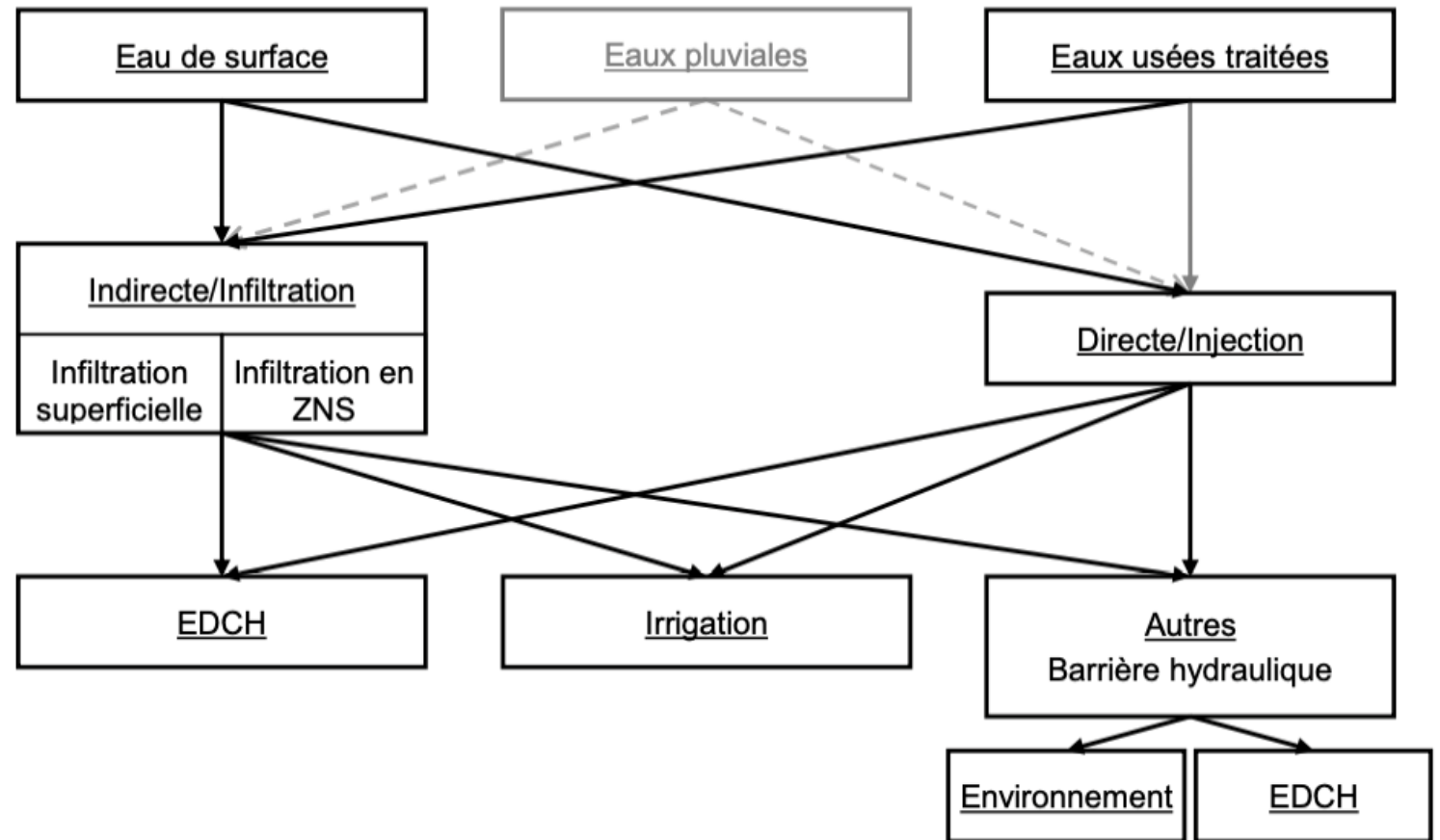
Nombreuses techniques
et applications potentielles

Puits,
Forages,
Puisards,
Noues,
Fossés,
Bassins,
Gravières,
Canaux,
...



Systemes de recharge maîtrisée des nappes

Pratiques de la recharge artificielle de nappes dans le monde



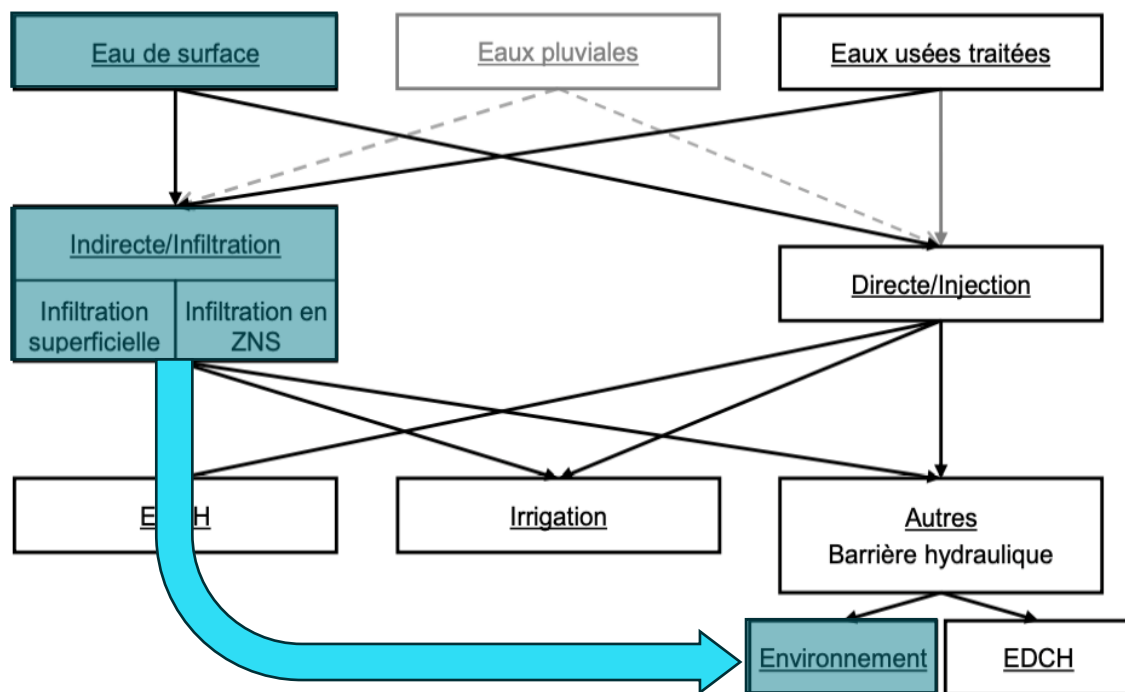
ANSES, 2016

EDCH : Eau Destinée à la Consommation Humaine
ZNS : Zone Non Saturée

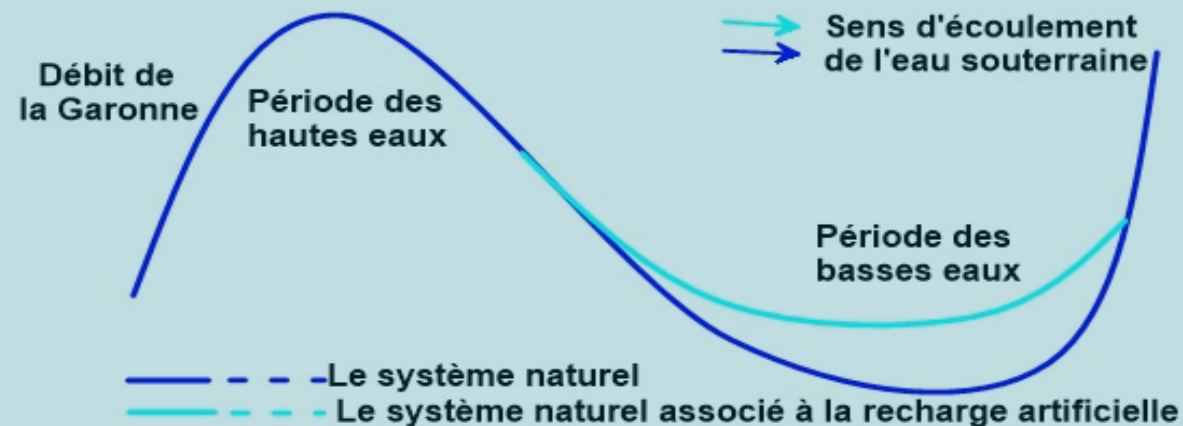
Systemes de recharge maîtrisée des nappes

Projet RAMAGE

« Recharge Annuelle et Maintien Alluvial de la Garonne en Etiage »



Objectif initial → Soutien d'étiage



Objectif supplémentaire :
→ Dilution thermique de la Garonne

Systemes de recharge maîtrisée des nappes

Principes de RAMAGE...

- Recharger la nappe pour soutenir l'étiage de la Garonne ;
- Eau du Canal Latéral de La Garonne comme ressource pour la recharge artificielle de la nappe alluviale ;
- Flux d'eau souterraine « froide » dans Garonne « chaude » en été ;
- Utilisation des infrastructures existantes.

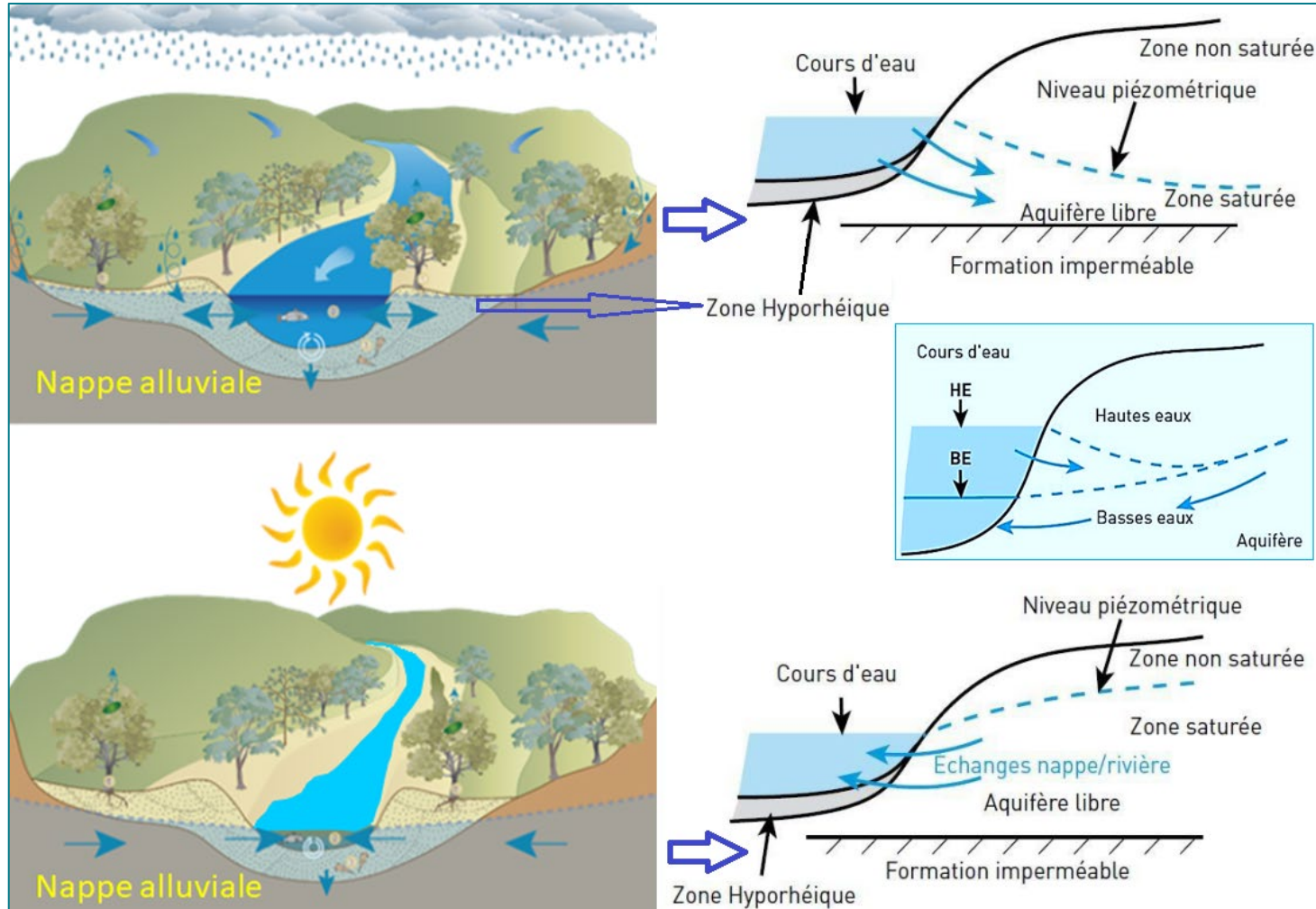
Canal latéral de la Garonne en chaumage, décembre 2022

© Nazeer ASMAEL, 2022

Systemes de recharge maîtrisée des nappes

Projet RAMAGE

Fonctionnement hydraulique / Échanges nappe-rivière



Phase de recharge par les berges

Phase de vidange par les berges

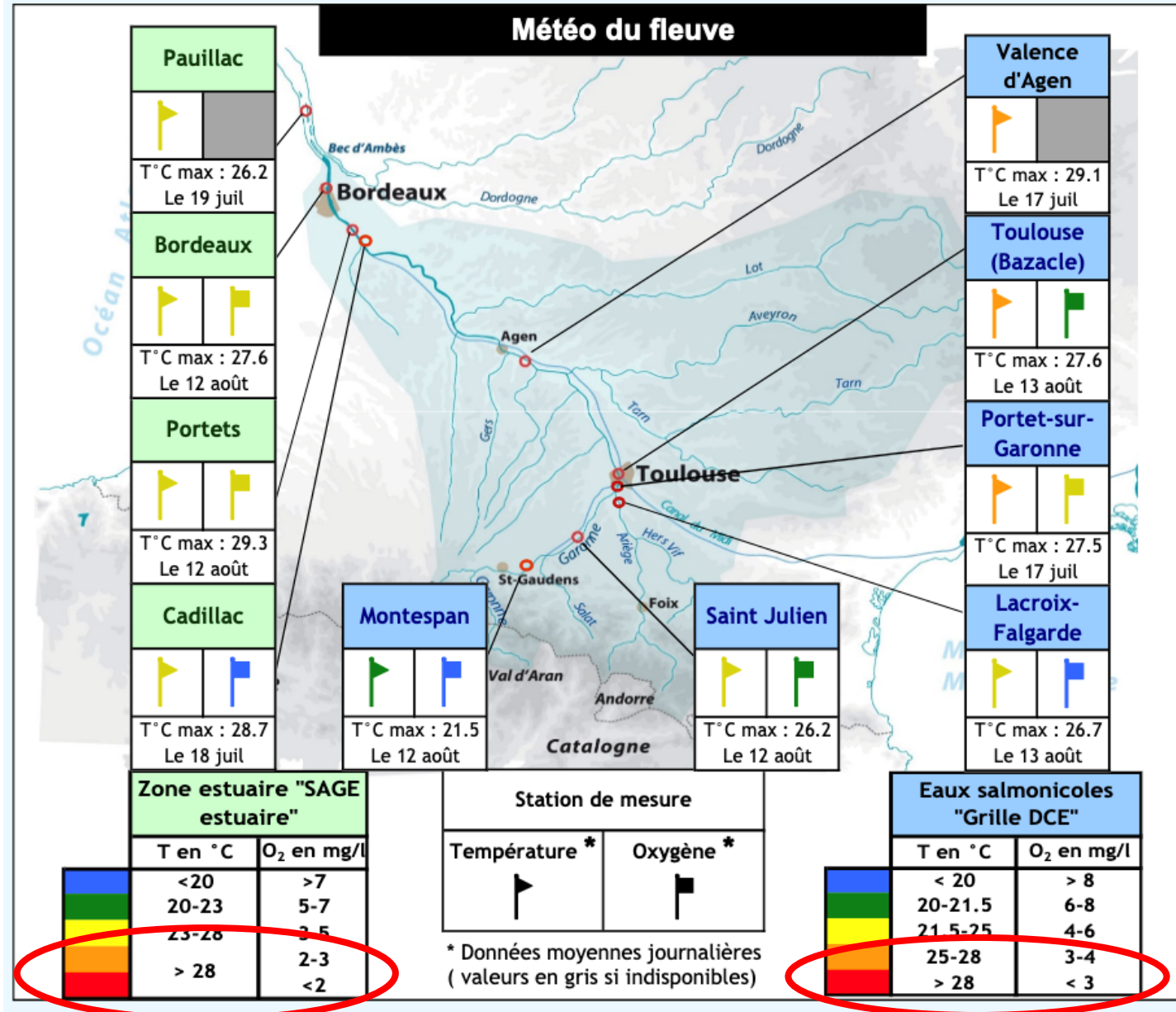
Systemes de recharge maîtrisée des nappes

Projet RAMAGE

- Disponibilité de 1 m³/s
- 3 à 4 mois d'infiltration
- 8 à 10 Mm³
- Température 14 °C

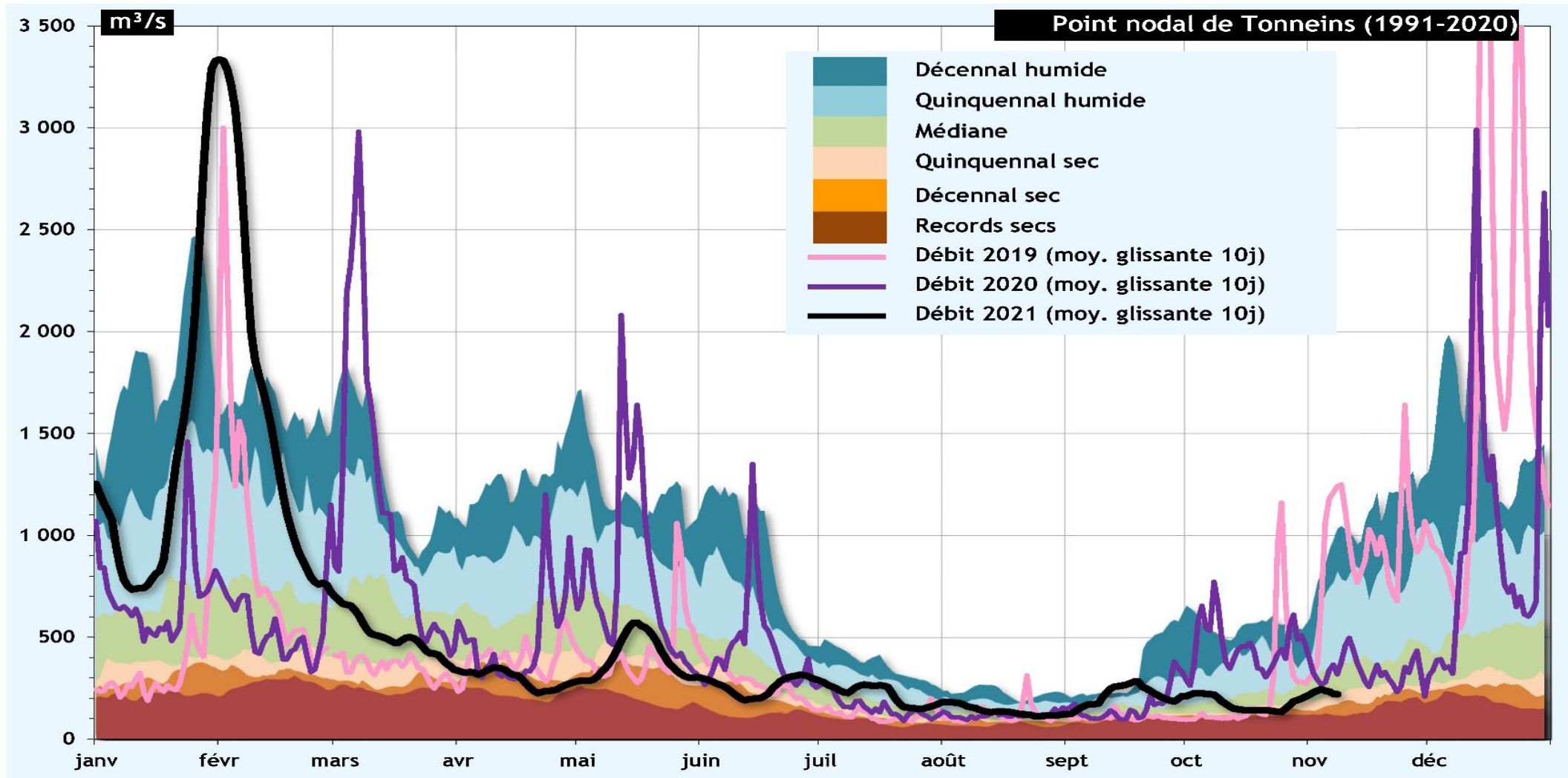
Thermique de la Garonne

Garonne aval : 27,6 °C < T° < 29,3 °C



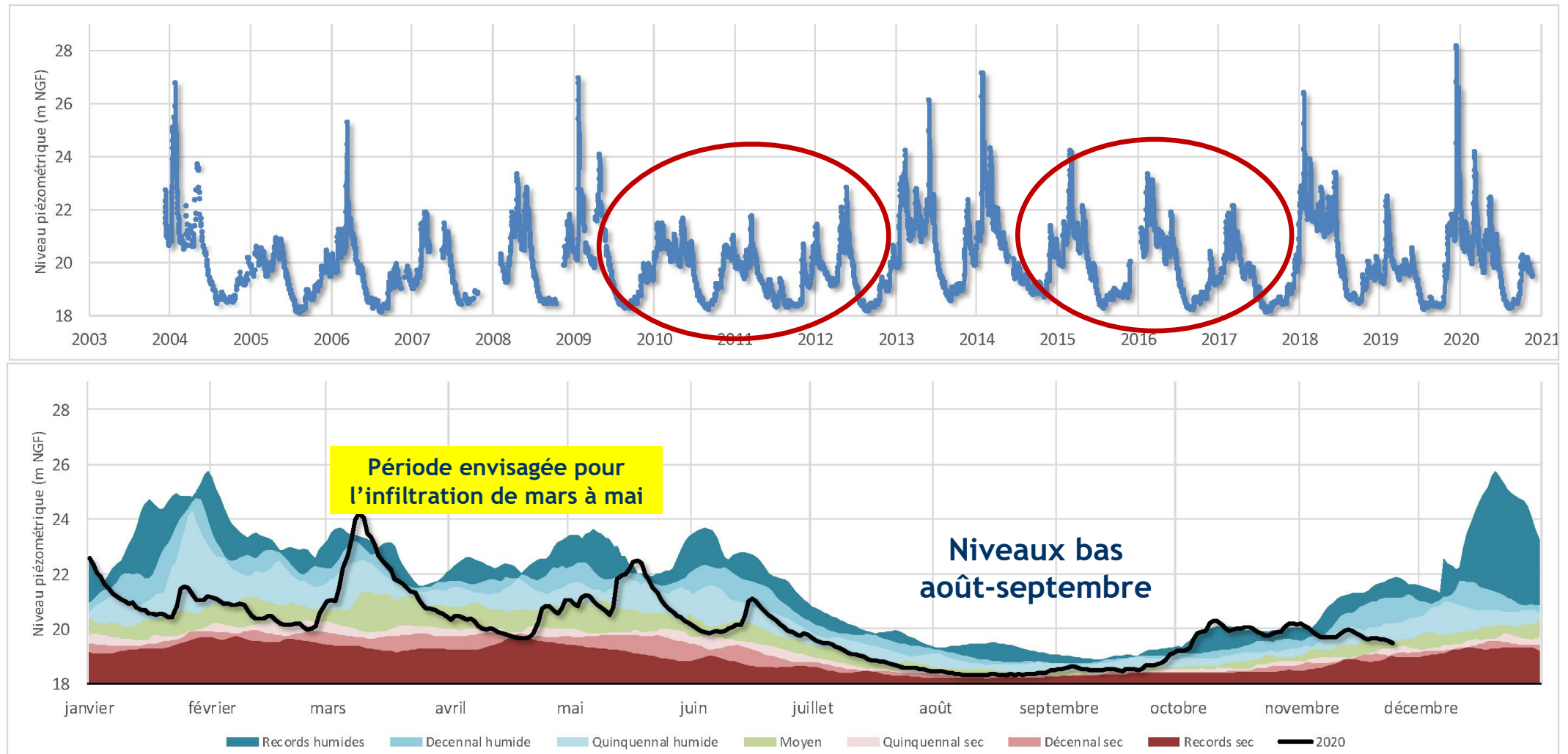
Systemes de recharge maîtrisée des nappes

Hydrologie de la Garonne



Systemes de recharge maîtrisée des nappes

Piézométrie nappe alluviale de la Garonne



Systemes de recharge maîtrisée des nappes

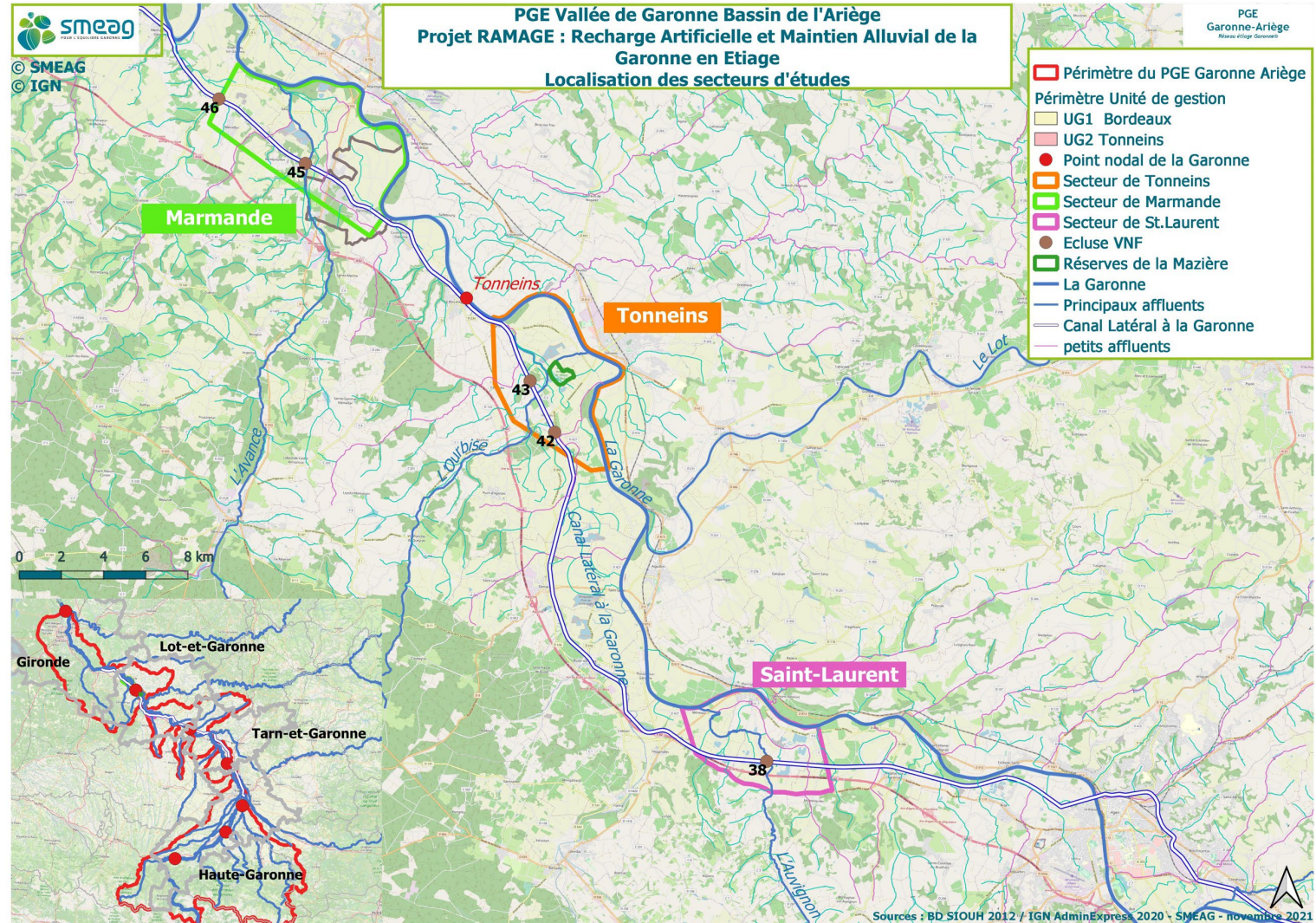
Sites du projet RAMAGE Vallée alluviale de la Garonne

3 sites de 1500 à 2000 ha

- Saint-Laurent
- Tonneins
- Marmande

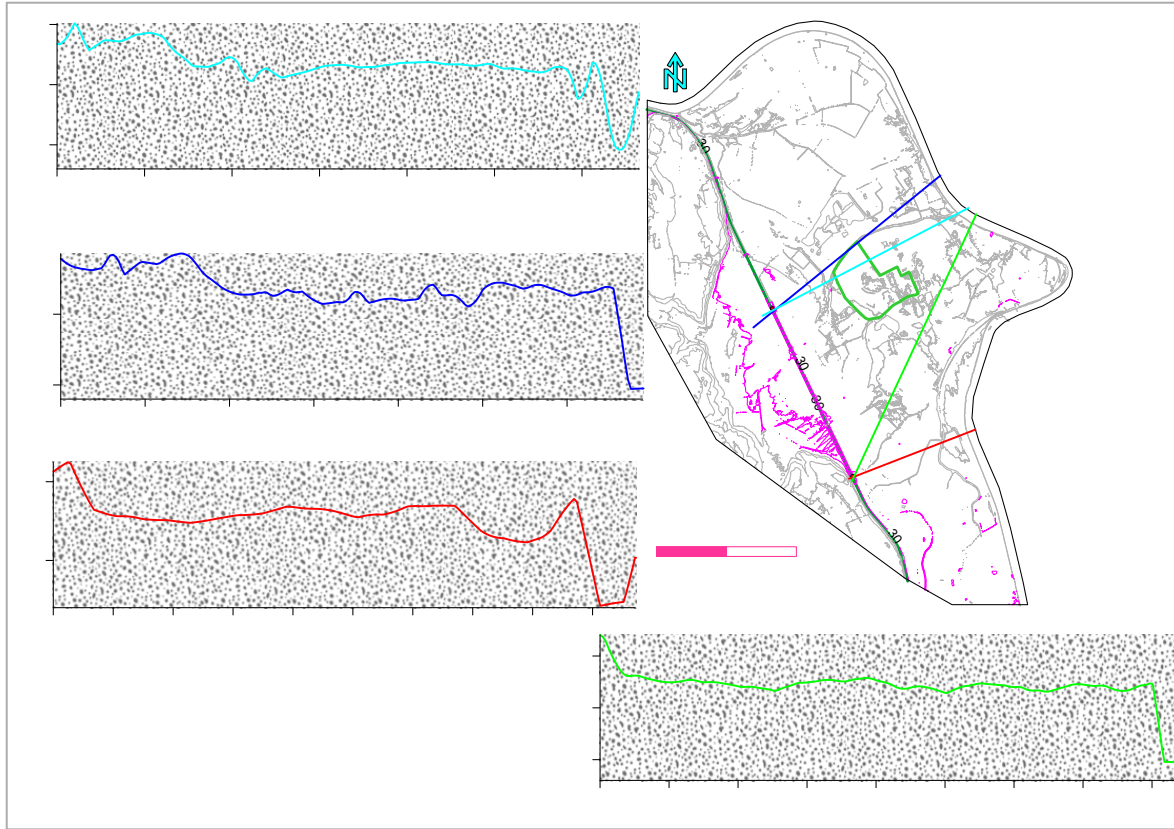
Analyse systématique

- Topographie
- Pédologie
- Hydrologie
- Hydrogéologie
- Hydrochimie
- ...

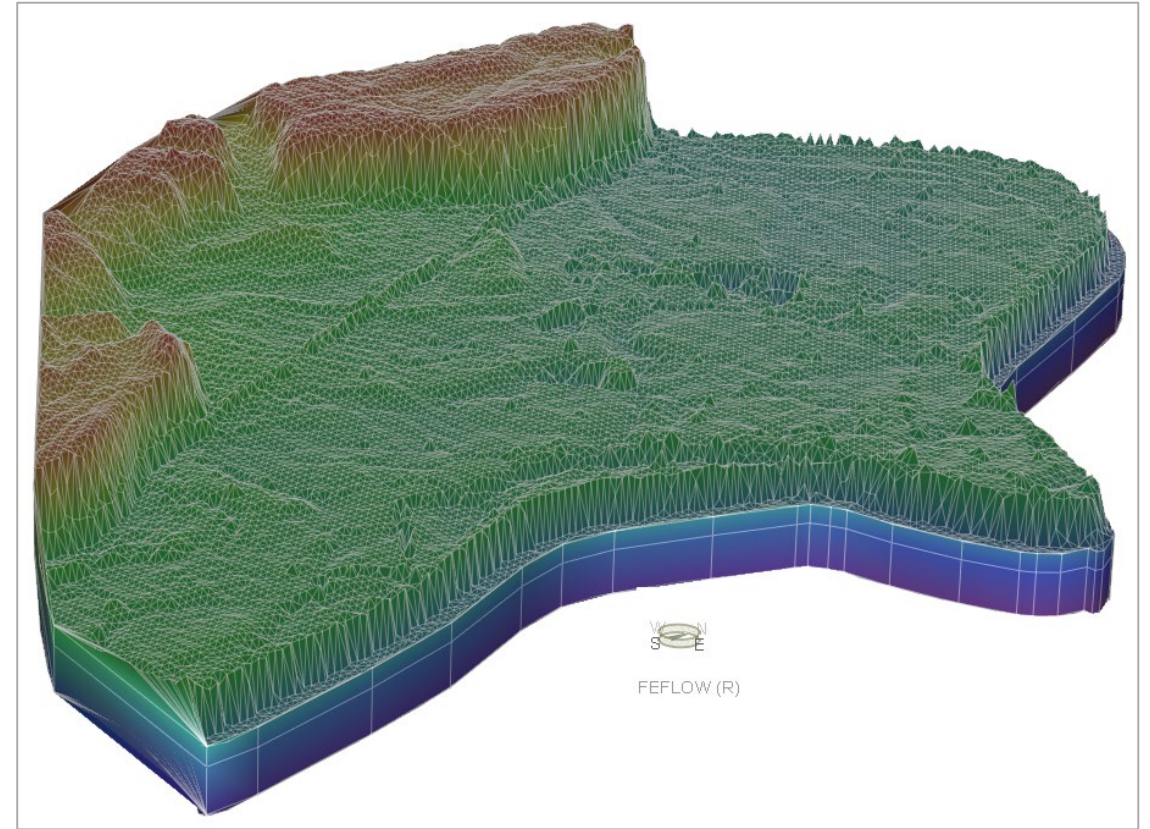


Systemes de recharge maîtrisée des nappes

Site de Tonneins du projet RAMAGE



Profils topographiques



Modèle hydrodynamique 3D

Systemes de recharge maîtrisée des nappes

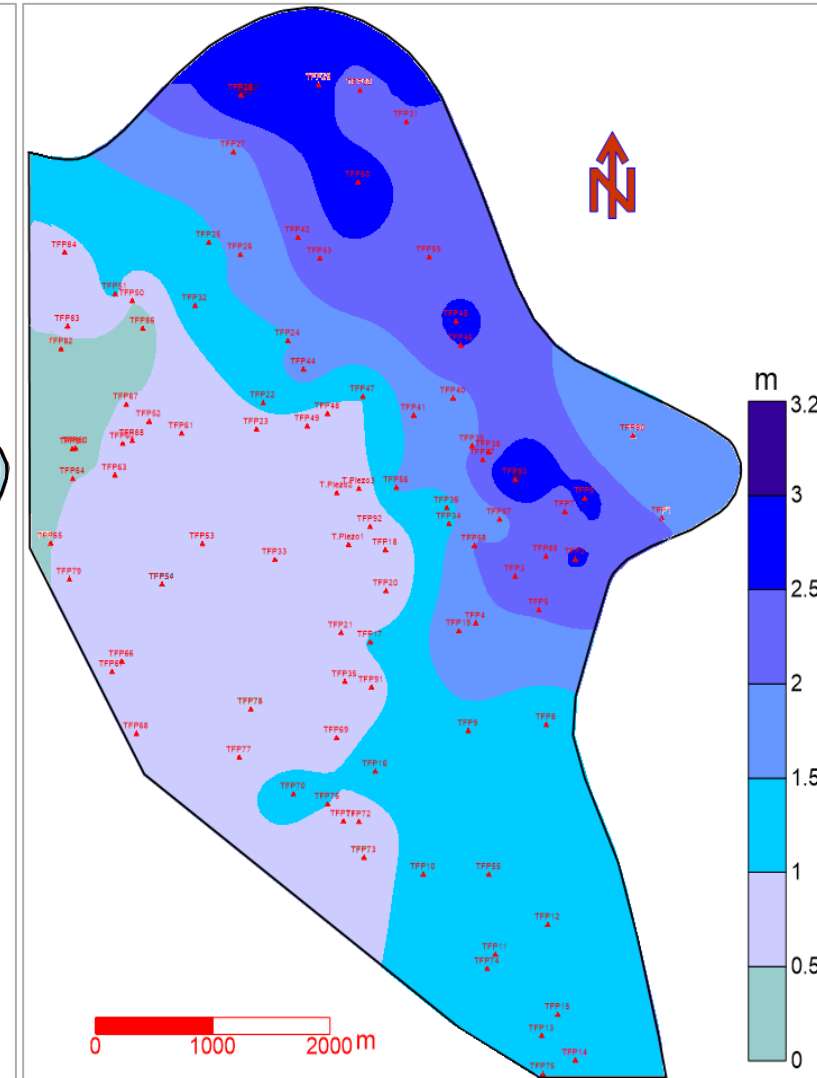
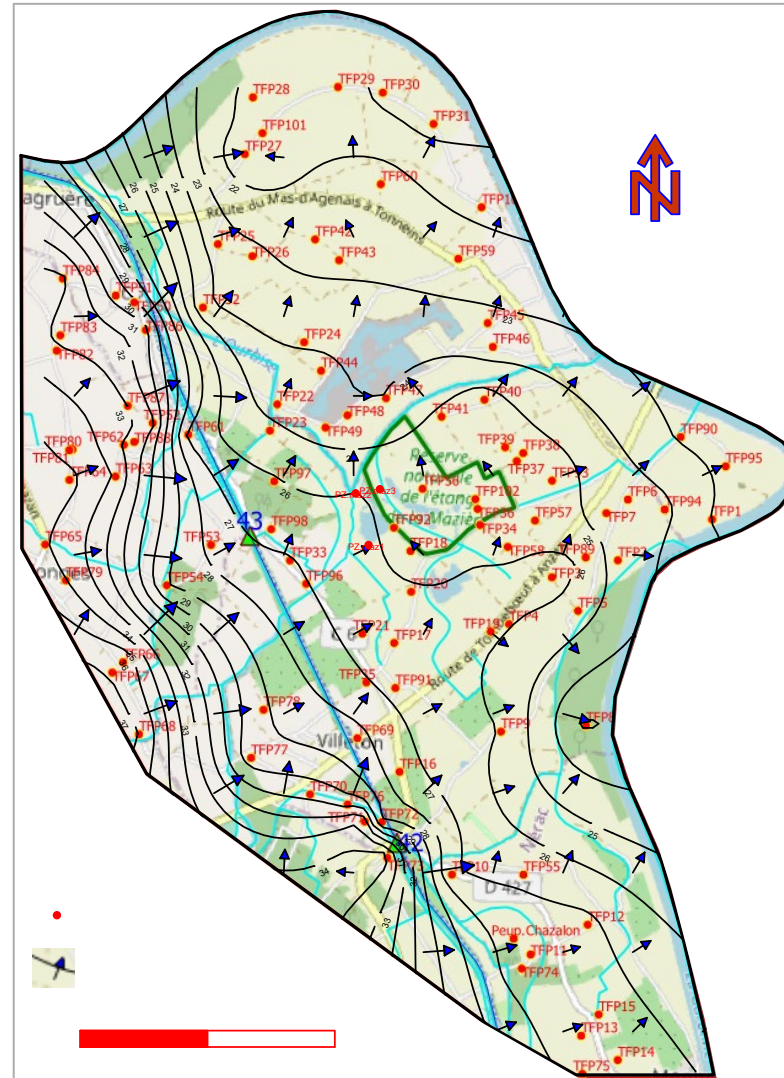
Site de Tonneins, projet RAMAGE

- **Piézométrie locale**

- Flux
- Gradient
- Temps de transfert
- ...

- **Variation piézométrique**

- Volume disponible
- Durée recharge
- ...



Systemes de recharge maîtrisée des nappes

Site de Tonneins, projet RAMAGE

Premiers résultats

• Infiltration dans puits

- puits de ferme
- $Q_R = 18 \text{ m}^3/\text{h}$
- $\Delta H = 70 \text{ cm}$
- stabilisation ΔH

• Infiltration dans contre-canal

- curage du contre-canal
- mise en charge
- $Q_R = 62 \text{ m}^3/\text{h}$
- $\Delta H = 150 \text{ cm}$



© Nazeer ASMAEL, 2022



Conclusions & perspectives (1/2)

- La réutilisation est **une des briques** de la gestion concertée et raisonnée de la ressource
→ compléter le déploiement de solutions d'économies d'eau
- Nécessité d'une **évolution réglementaire** rapide : usages urbains, agro-alimentaire, eau de pluie dans les constructions neuves et bâtiments agricoles, ...
- Conjuguer **multi-sources multi-usages** à différentes échelles : particulier, site industriel, territoire urbain, exploitant agricole, bassin versant (recharge nappe, soutien d'étiage, ..)
- Besoins de **missions d'ingénierie spécifiques** pour valider leur pertinence, les concevoir et lever les freins
- Besoins de **transfert de connaissances scientifiques** sur la migration des polluants, solutions fondées sur la nature, sciences économiques et sociales pour la concertation, ...



Conclusions & perspectives (2/2)

- **Systèmes de recharge maîtrisée des aquifères** = élément de solution pour l'adaptation aux effets du changement climatique sur la disponibilité des ressources en eau
- Recherches sur **démonstrateurs opérationnels** de sites pilotes de solutions fondées sur la nature
- Nombreuses **nouvelles utilisations et applications** potentielles encore à inventer
- Enseignements systématiques dans formations en ingénierie environnementale sur les **solutions fondées sur la nature**

Merci pour votre attention

Quelles solutions face au stress hydrique ?

Focus sur la réutilisation des eaux et la recharge des nappes

Jeudi 15 juin 2023 - Talence



Alain Dupuy
Professeur d'Hydrogéologie
et Directeur de l'ENSEGID



Xavier Humbel
Directeur technique Eau
Antea Group

¹ BORDEAUX
INP Ensegid

anteagroup