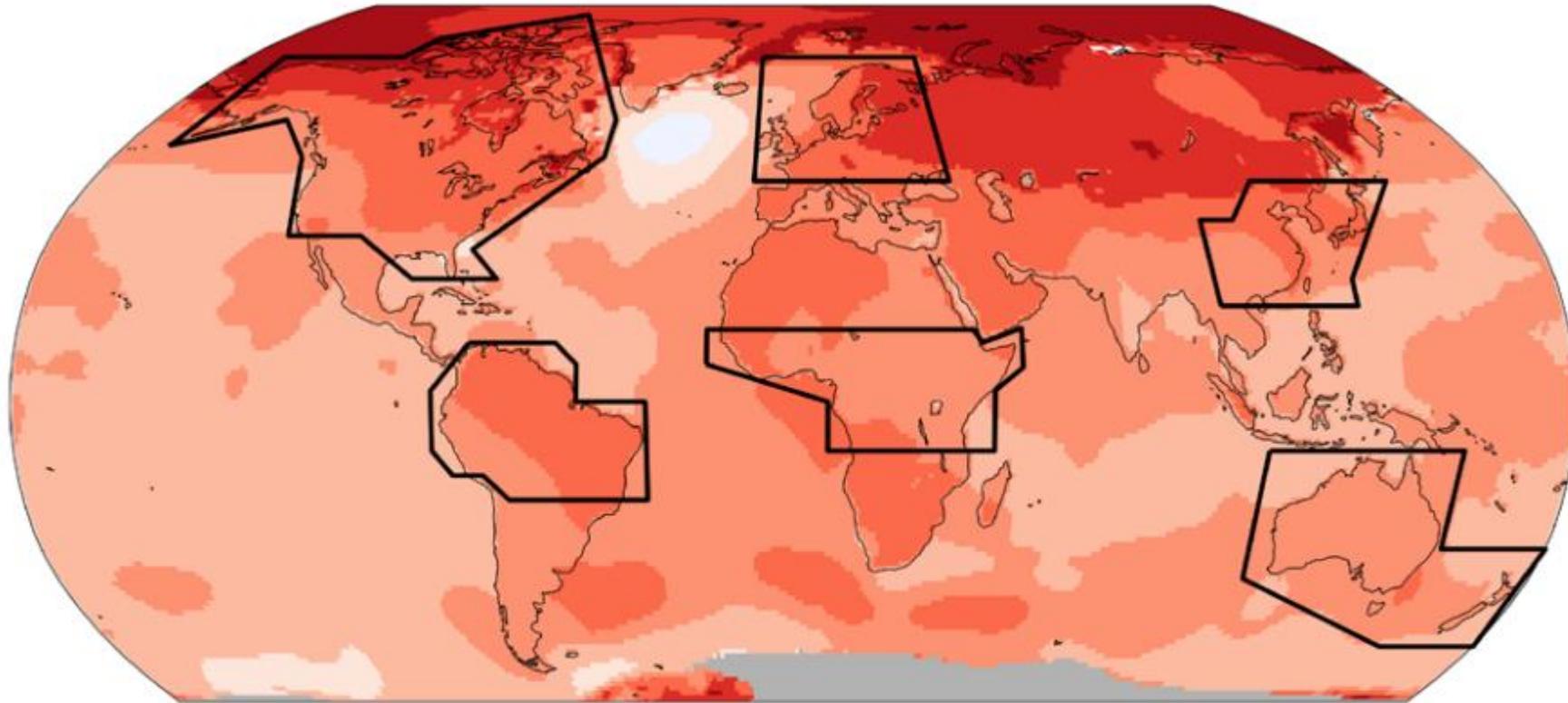


Changement climatique, stress hydrique et recharge annuelle de la nappe alluviale comme stratégie d'adaptation

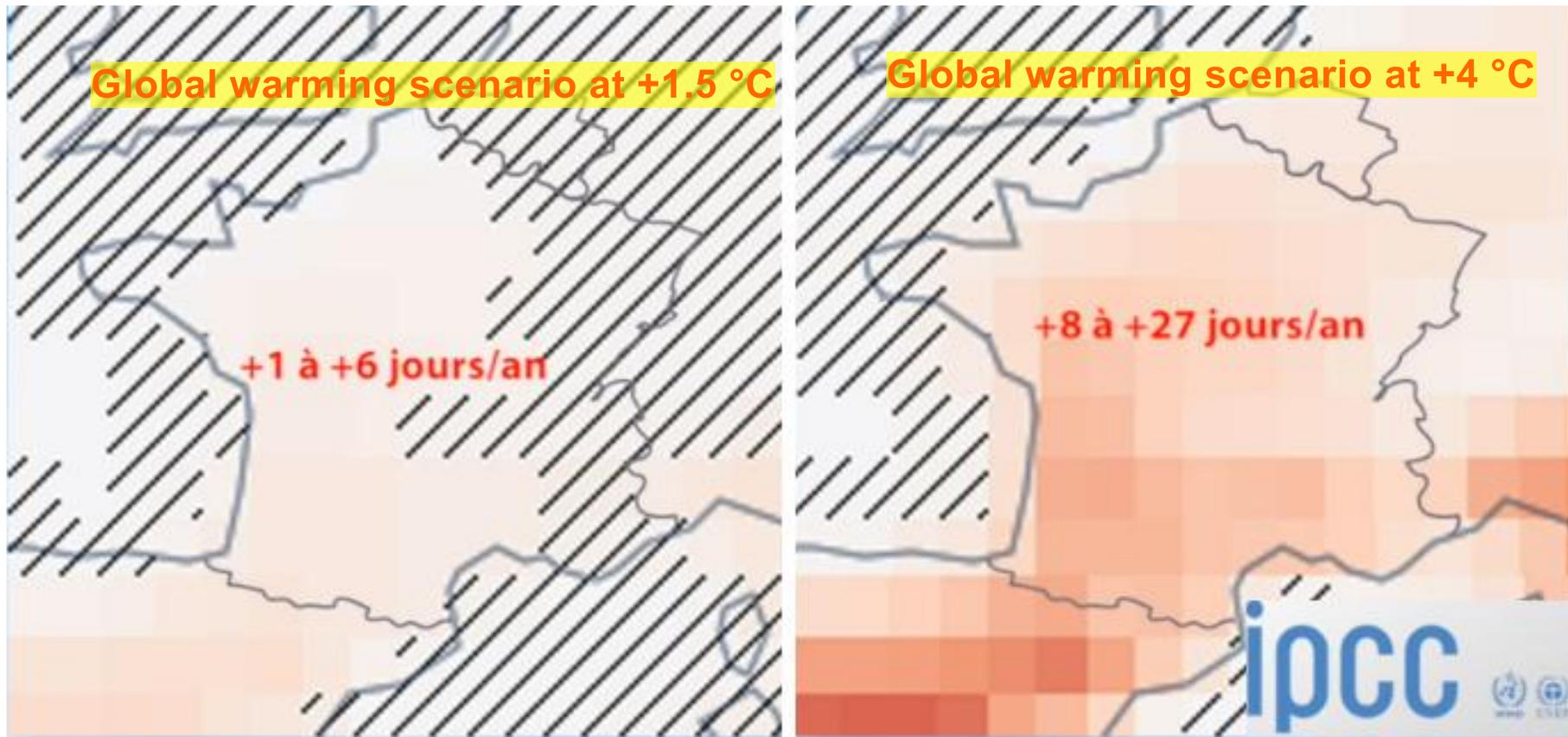
Variation Globale de la Température

Global temperature change in 2020 compared with the reference period 1850-1900



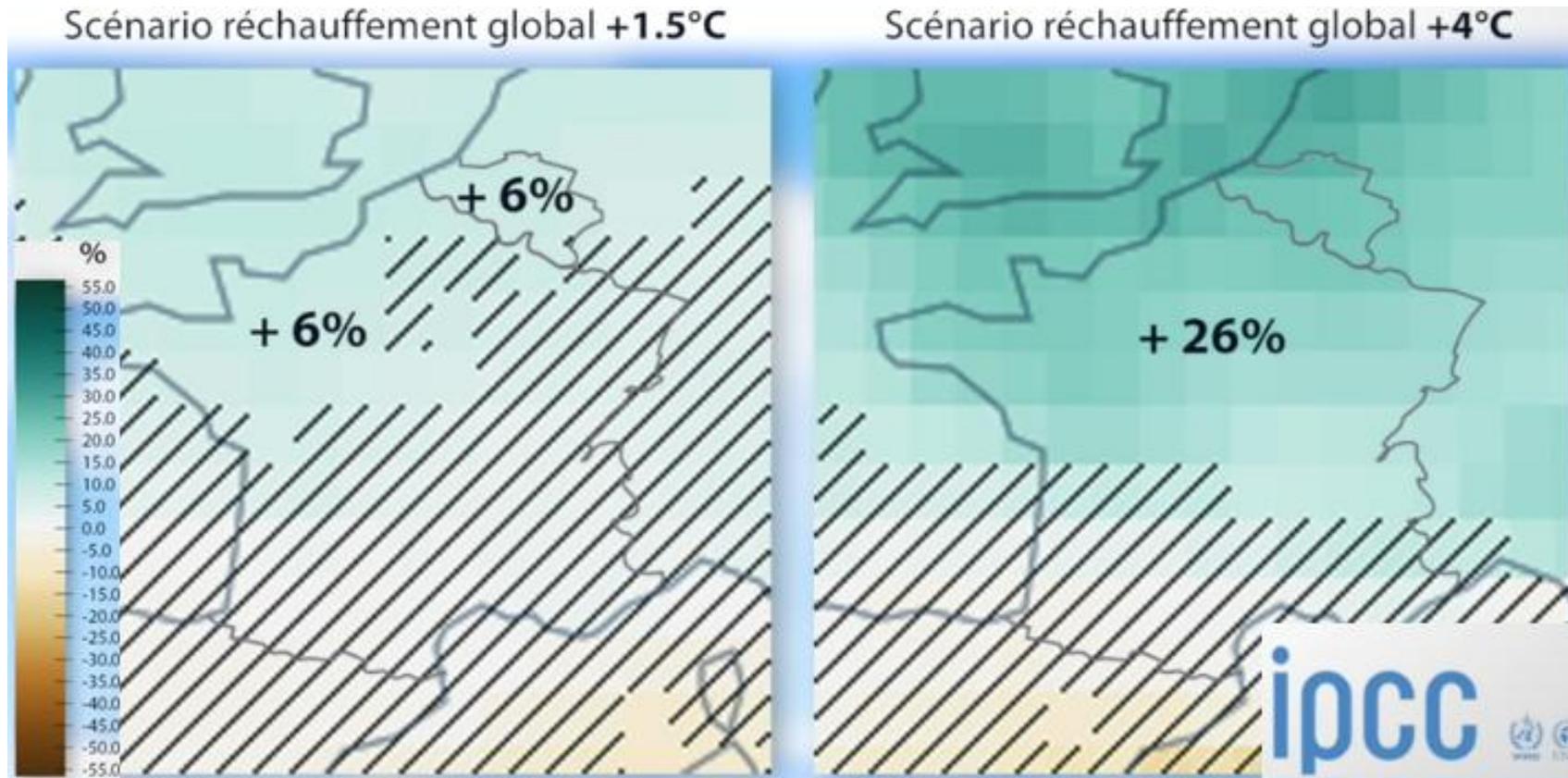
https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_Chapter_01.pdf

Variation de Température en France

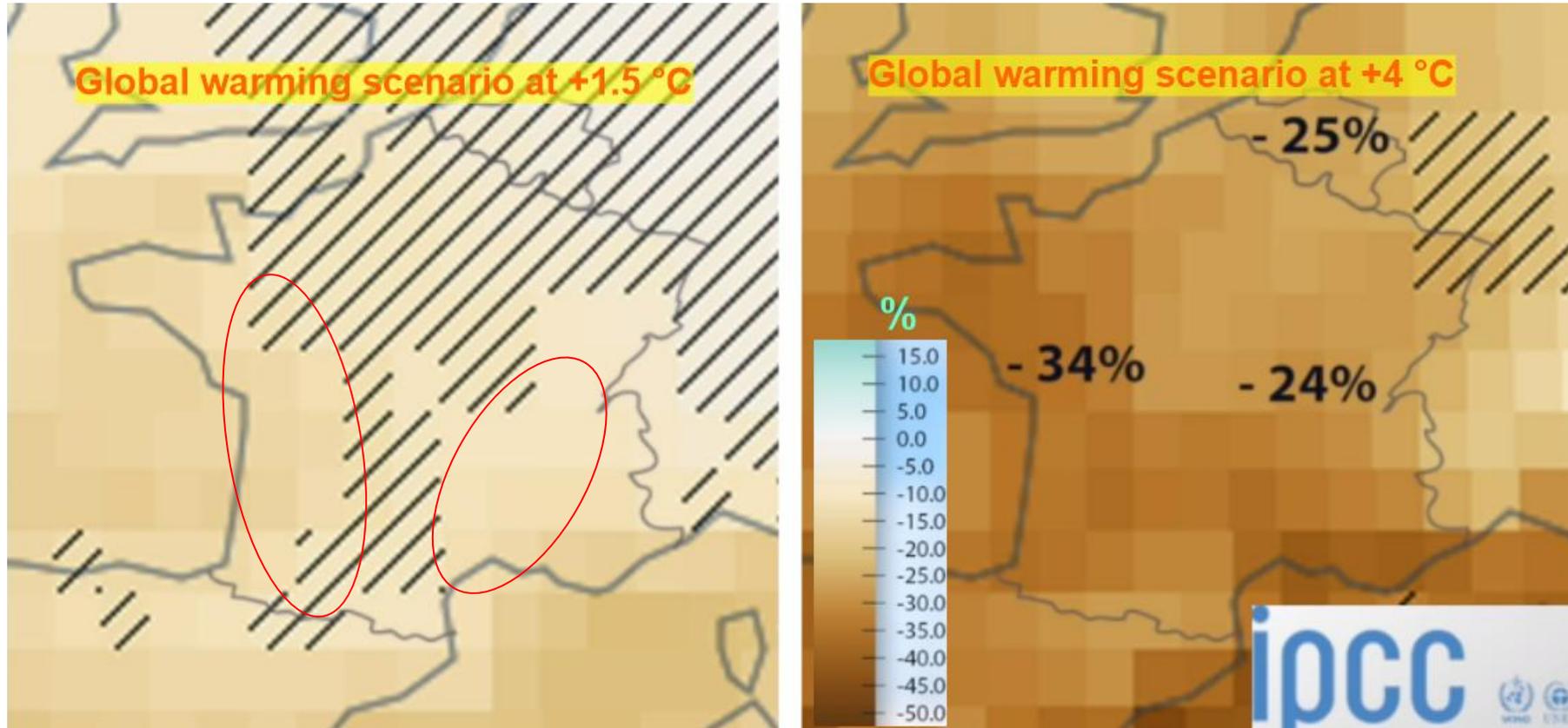


Différence du nombre de jours chauds en France (>35°C) en 2100 par rapport à la période entre 1850 et 1900.

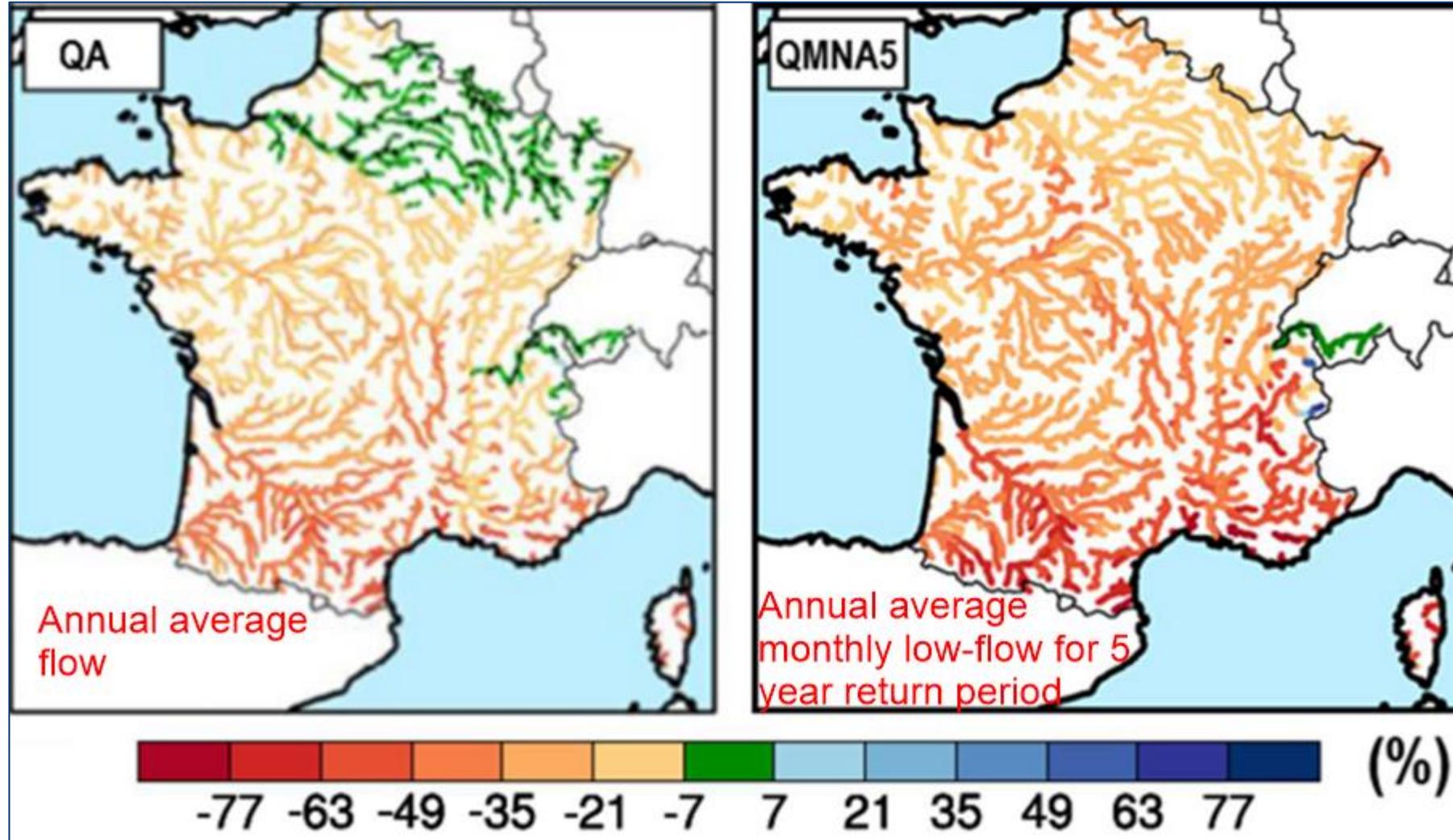
Evolution de la Précipitation Hivernal Totales en France en 2100 par rapport à la période entre 1850 et 1900.



Evolution de la Pluviométrie Estivales Totales en France en 2100 par rapport à la période entre 1850 et 1900.



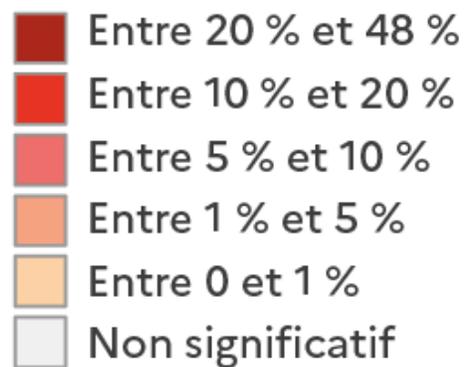
Cours d'eau



Changements des débits moyens des rivières selon les modules QA et QMNA5 pour la période 2070-2100 par rapport aux données mesurées entre 1960-1990 (après le projet Explore 2).

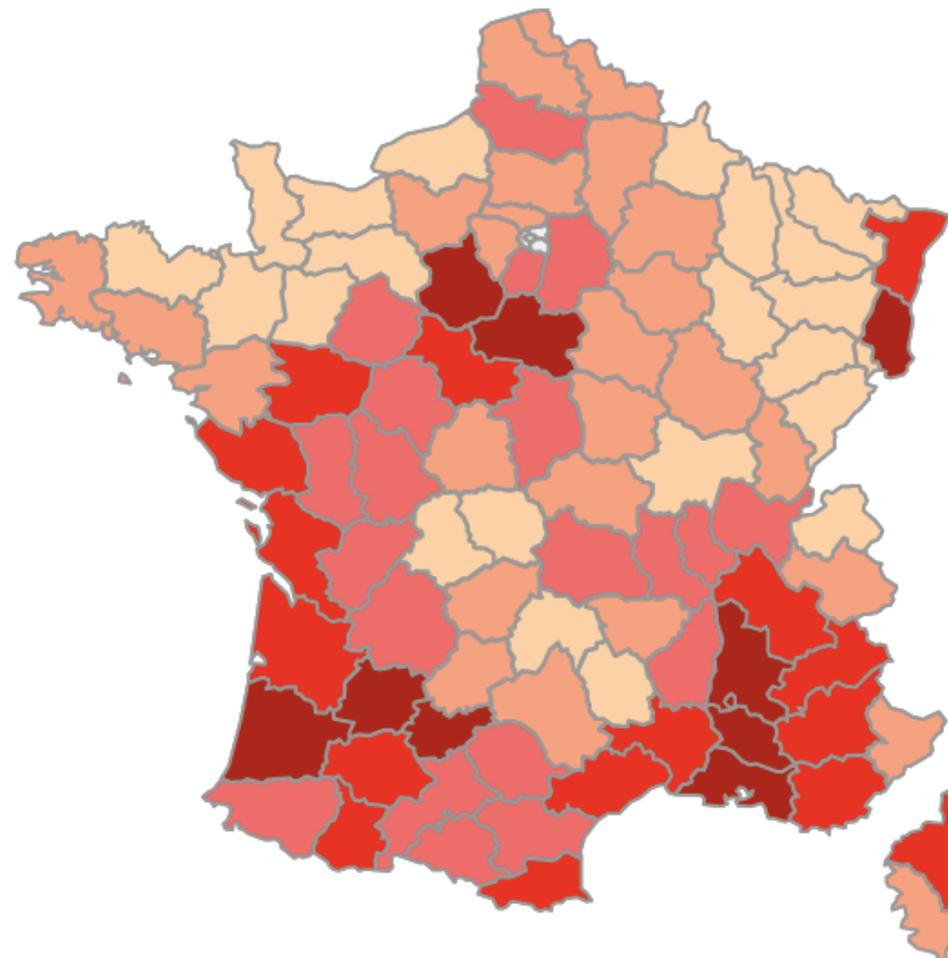
Activités agricoles bien développées

Part des surfaces agricoles irriguées
par département en 2020



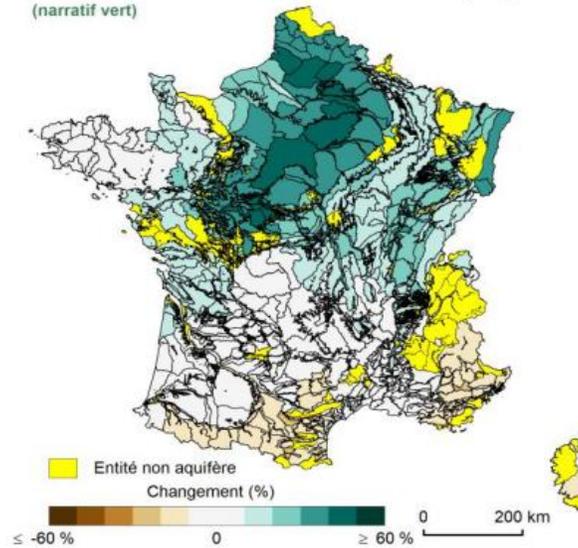
Source : Agreste, recensement agricole 2020.

Traitements : SDES, 2023

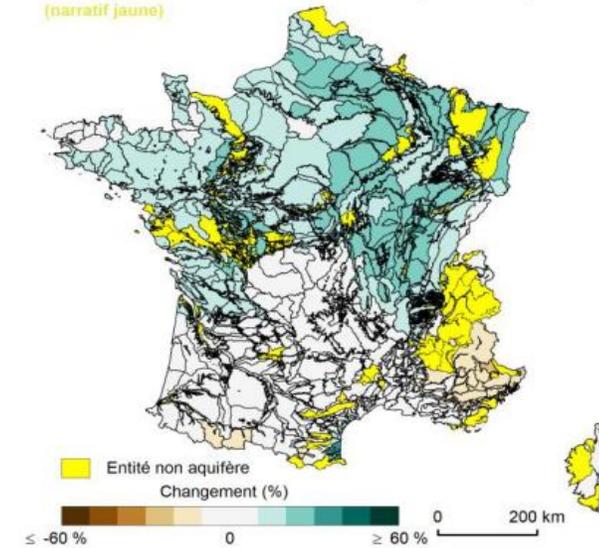


Recharge potentiel des nappes

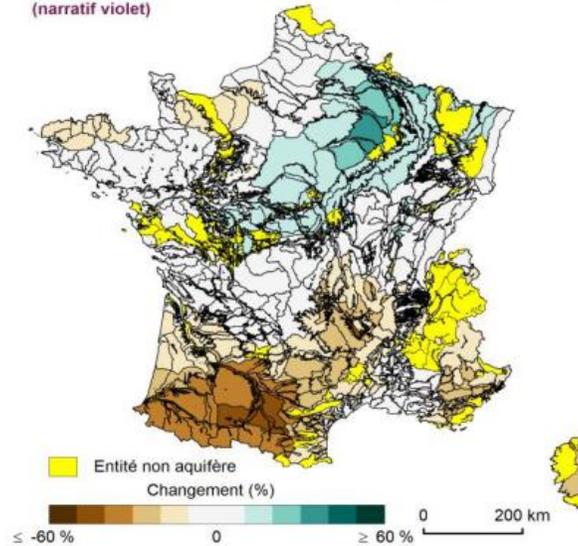
Fort réchauffement et forts contrastes saisonniers en précipitations
(narratif vert)



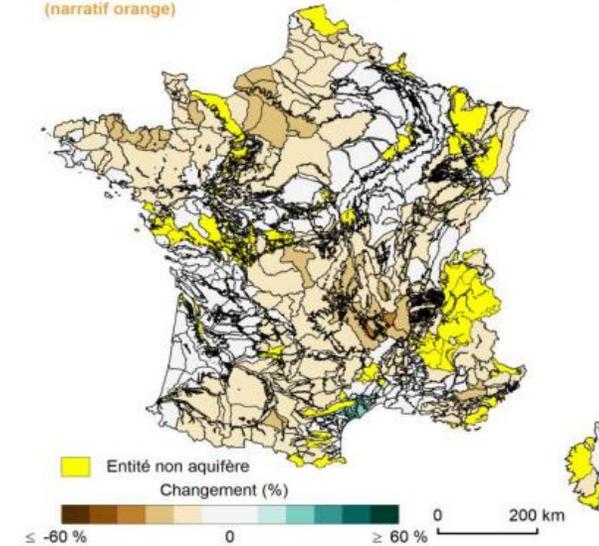
Fort réchauffement et fort assèchement en été (et en annuel)
(narratif jaune)



Réchauffement marqué et augmentation des précipitations
(narratif violet)



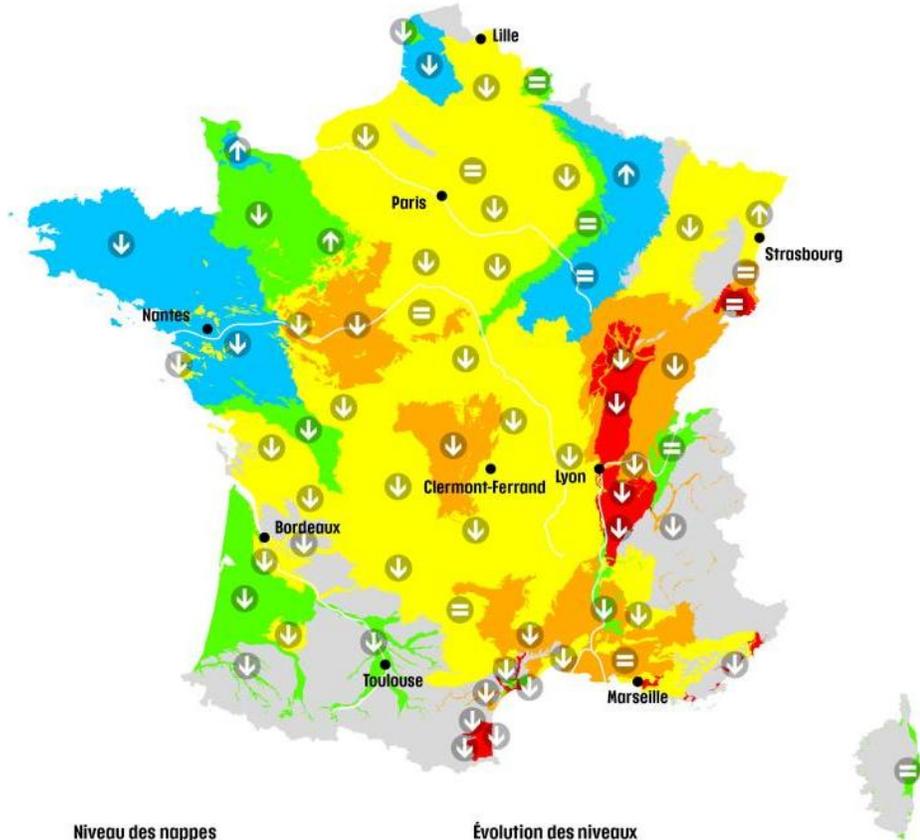
Changements futurs relativement peu marqués
(narratif orange)



Changements projetés pour la recharge potentielle moyenne hivernale pour quatre futurs contrastés (narratifs d'Explore2) sous scénario de fortes émissions en fin de siècle (référence : 1976-2005) – En jaune sont identifiées les masses d'eau souterraine considérées comme globalement non aquifères et pour lesquelles la notion de recharge n'a pas forcément de sens à l'échelle régionale

L'état des nappes selon de la recharge naturelle

Situation des nappes
au 1^{er} septembre 2023



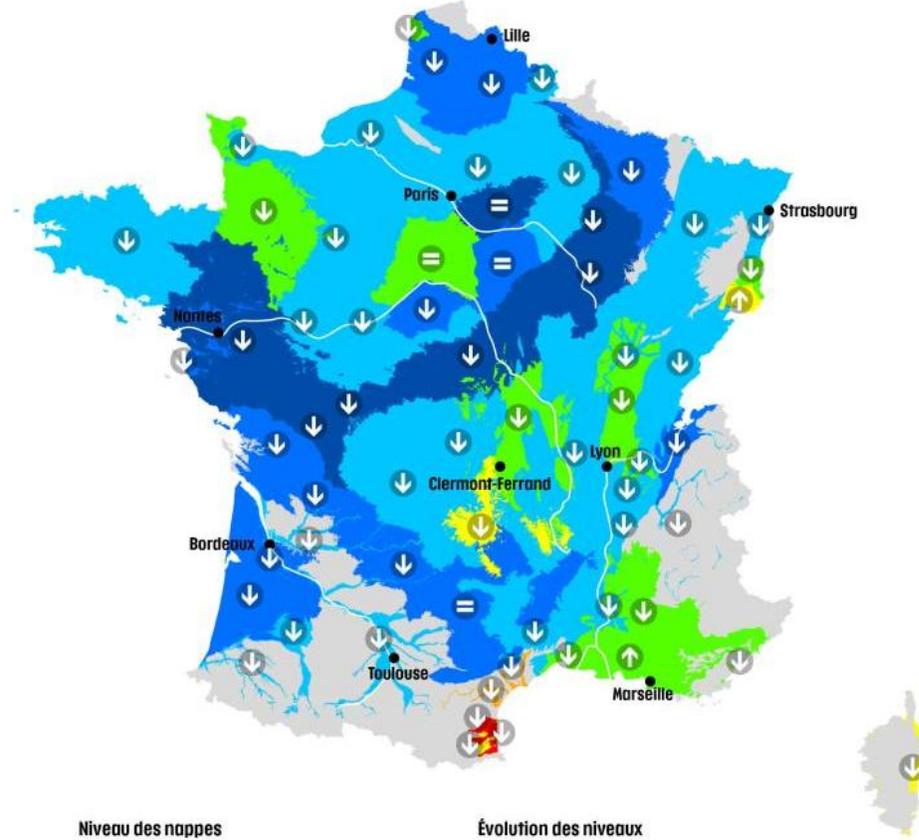
Niveau des nappes

- Niveau très haut
- Niveau haut
- Niveau modérément haut
- Niveau autour de la moyenne
- Niveau modérément bas
- Niveau bas
- Niveau très bas
- Sans nappe libre étendue / Absence de points de suivi

Évolution des niveaux

- ↑ En hausse
- = Stable
- ↓ En baisse

Situation des nappes
au 1^{er} septembre 2024



Niveau des nappes

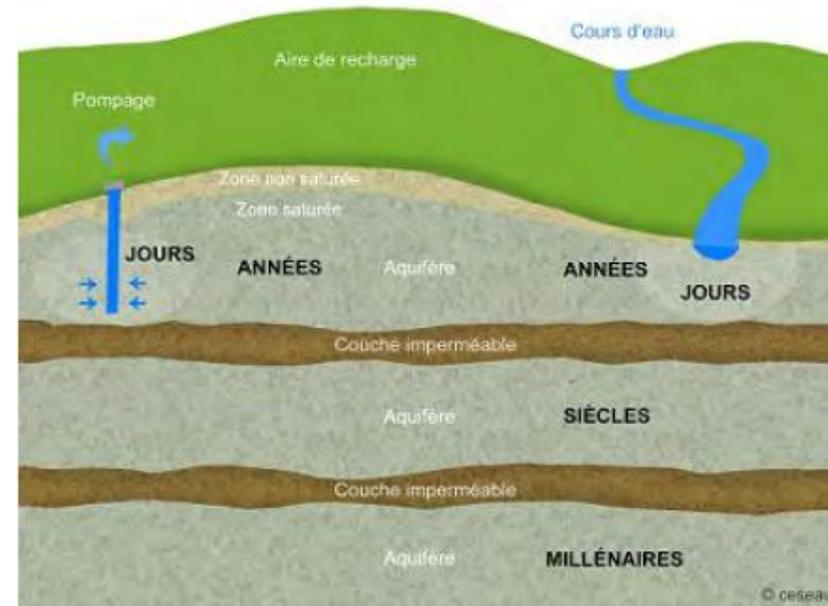
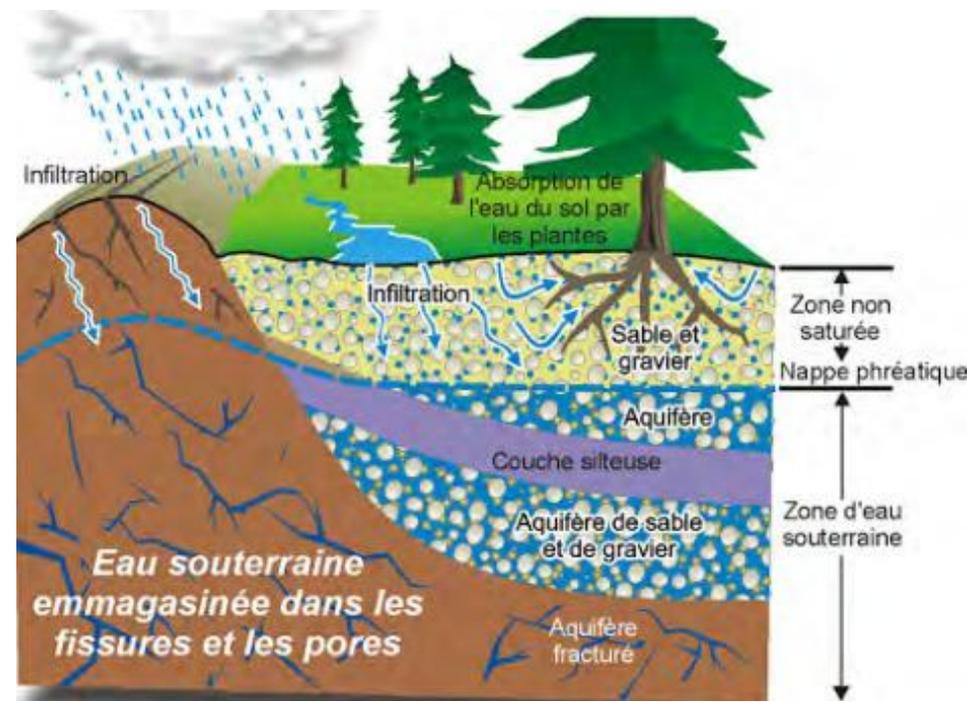
- Niveau très haut
- Niveau haut
- Niveau modérément haut
- Niveau autour de la moyenne
- Niveau modérément bas
- Niveau bas
- Niveau très bas
- Sans nappe libre étendue / Absence de points de suivi

Évolution des niveaux

- ↑ En hausse
- = Stable
- ↓ En baisse

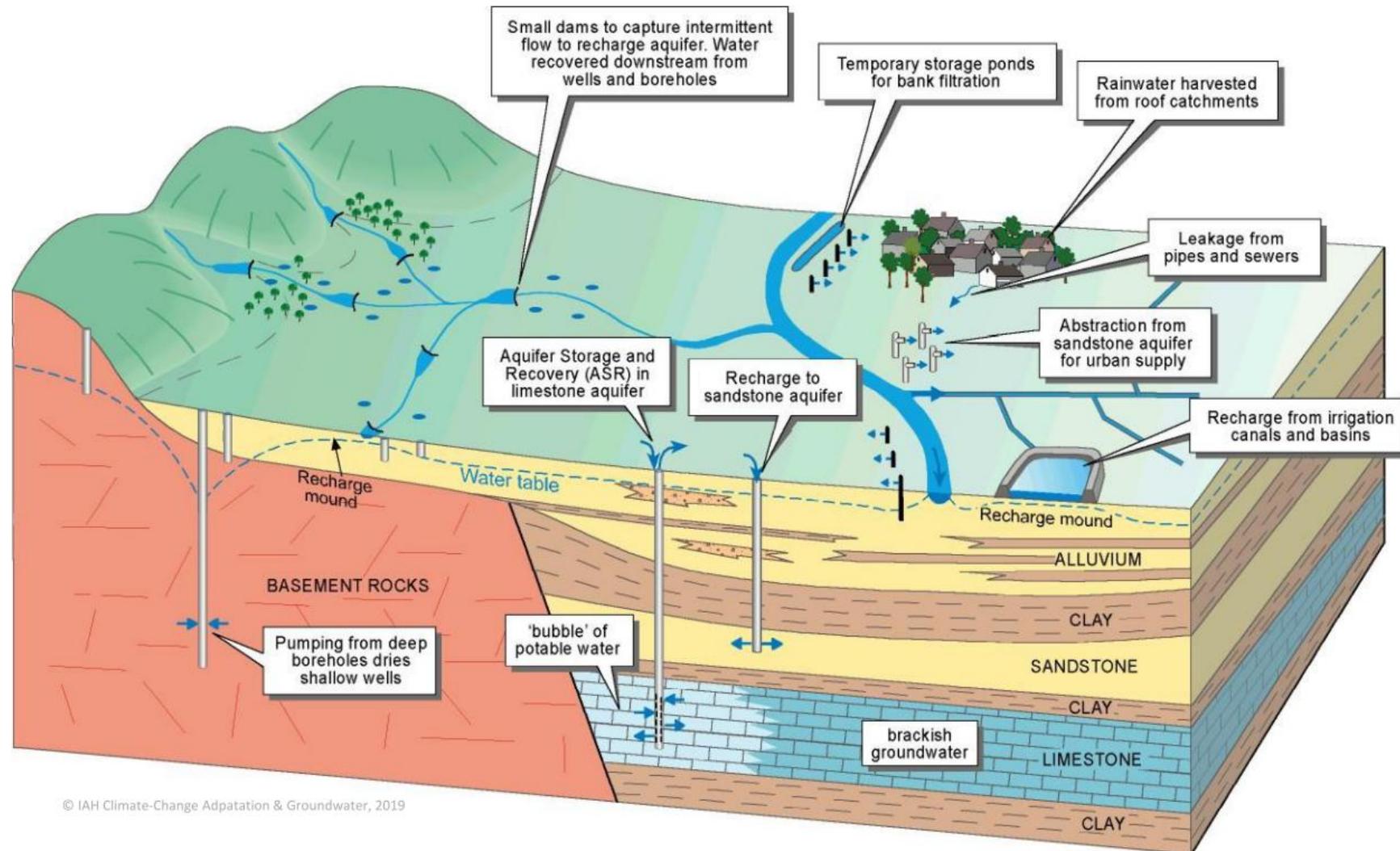
Comment l'aquifère se recharge naturellement ? Le temps de séjour ?

- Recharge direct (pluie efficace)
- Recharge par de cours d'eau
- Par l'apport d'eau de surface lors de crue
- Recharge par de nappe voisinée
- De l'aquifère profond par de fuite ascendante

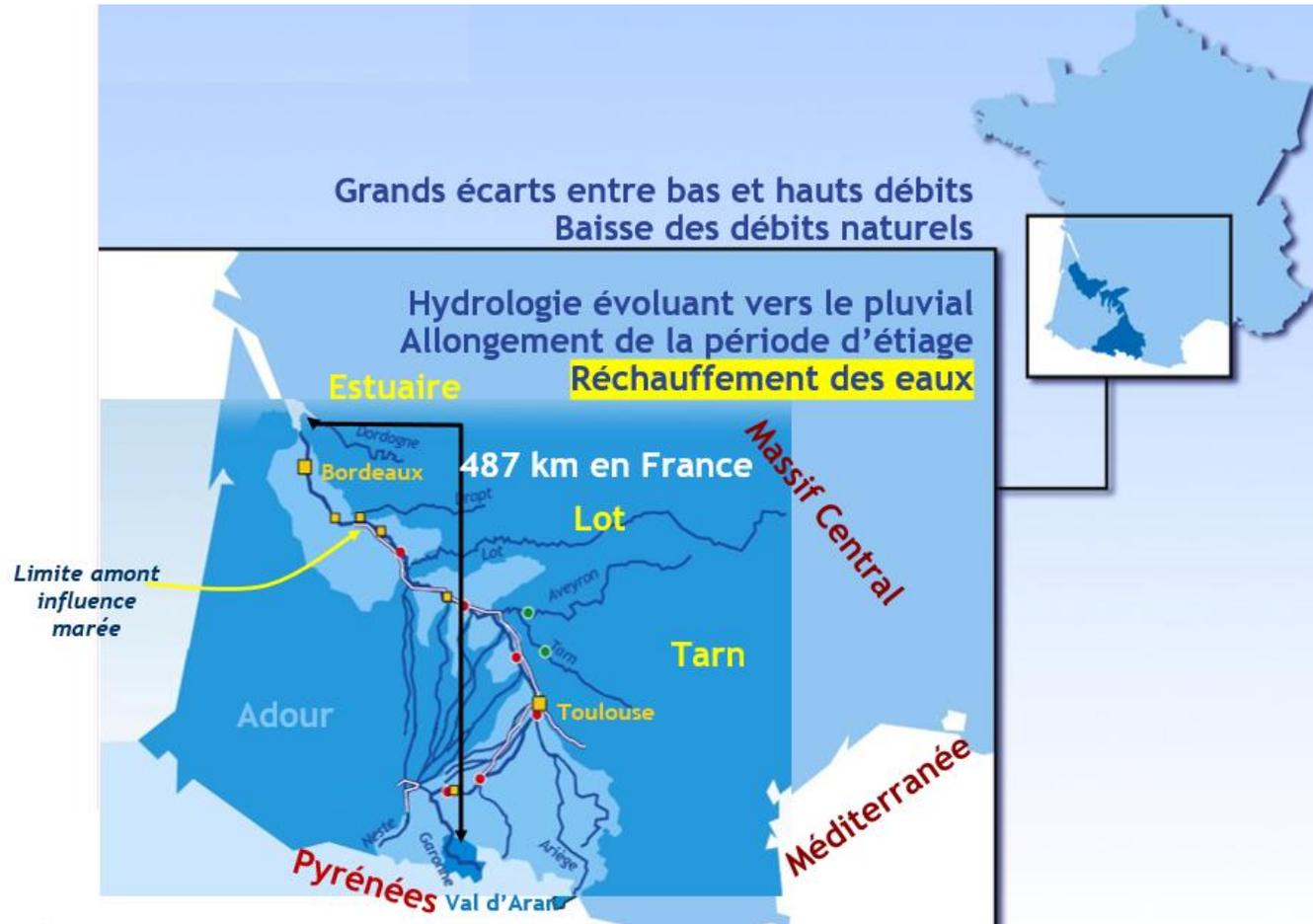


Echelle de temps des écoulements dans différents aquifères (d'après Toth, 1995)

C'est quoi la recharge artificielle des nappes ? Pourquoi ?



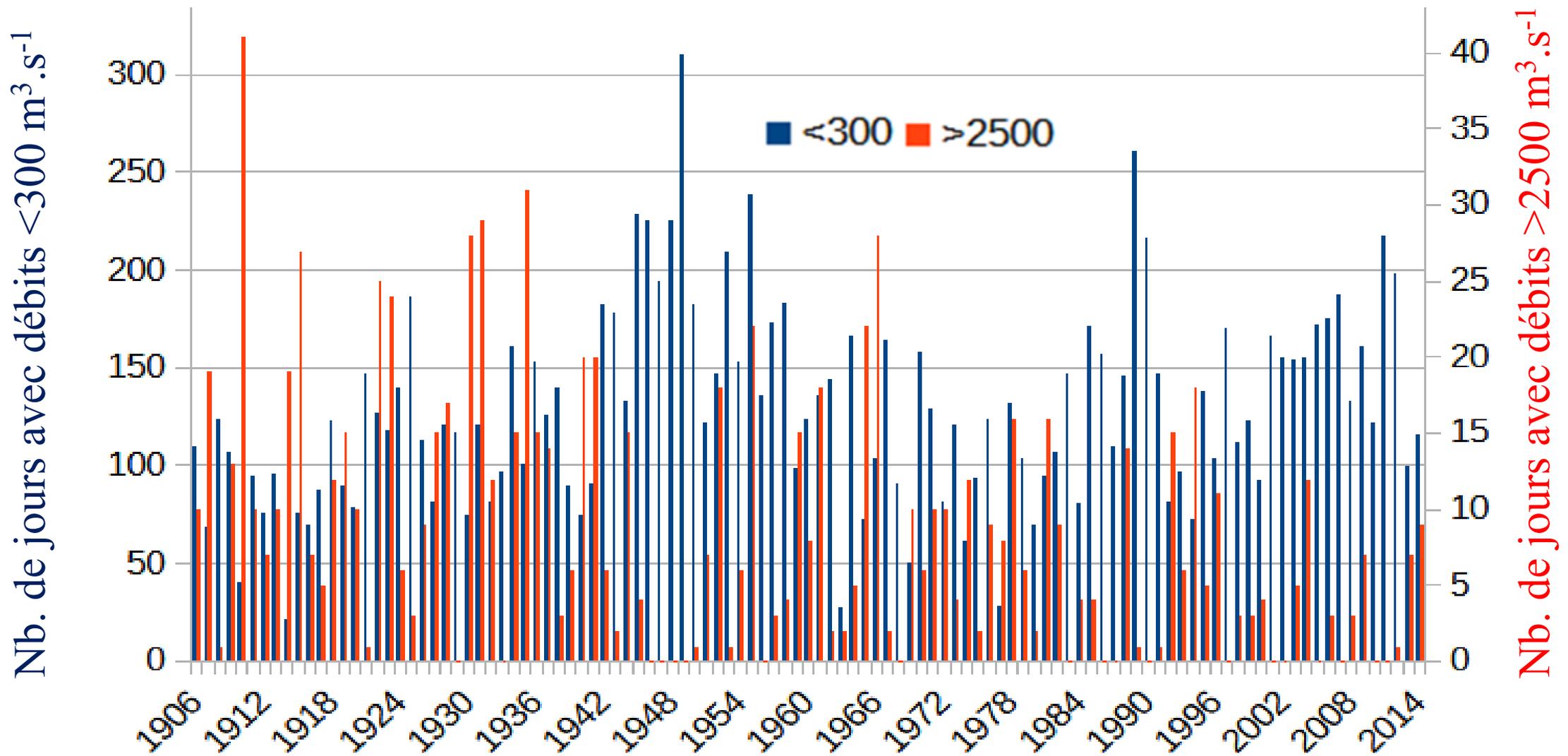
La Garonne impactée par le changement climatique ?



À l'horizon 2030 :

- une baisse des débits « naturels » en Garonne de l'ordre de 13 à 32 % (plus forte en pieds de Pyrénées)
- Une plus faible recharge des nappes (baisse de l'hydrologie)
- Une forte diminution de l'enneigement sur le massif Pyrénéen
- Une température en constante augmentation (+1,5 à 2°C en moyenne)

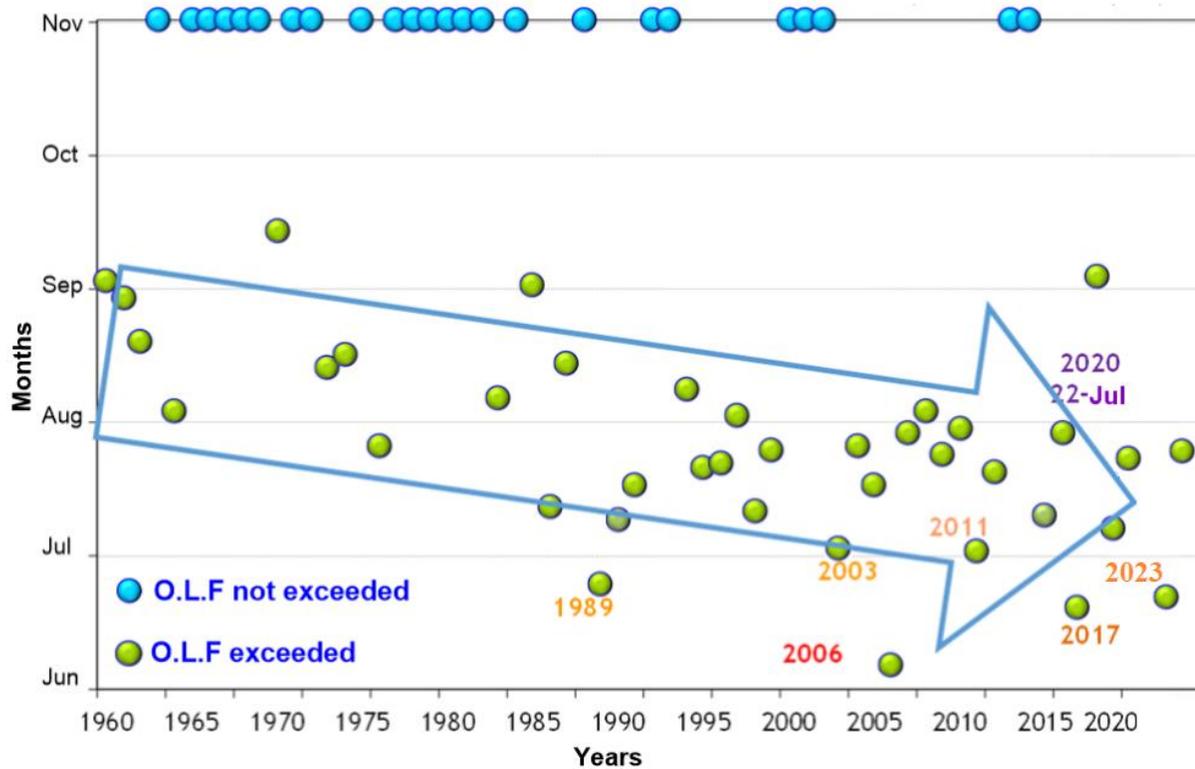
Indice d'étiage du fleuve 1



Débit de la Garonne à Bordeaux

Vincent Bascoul, 2023

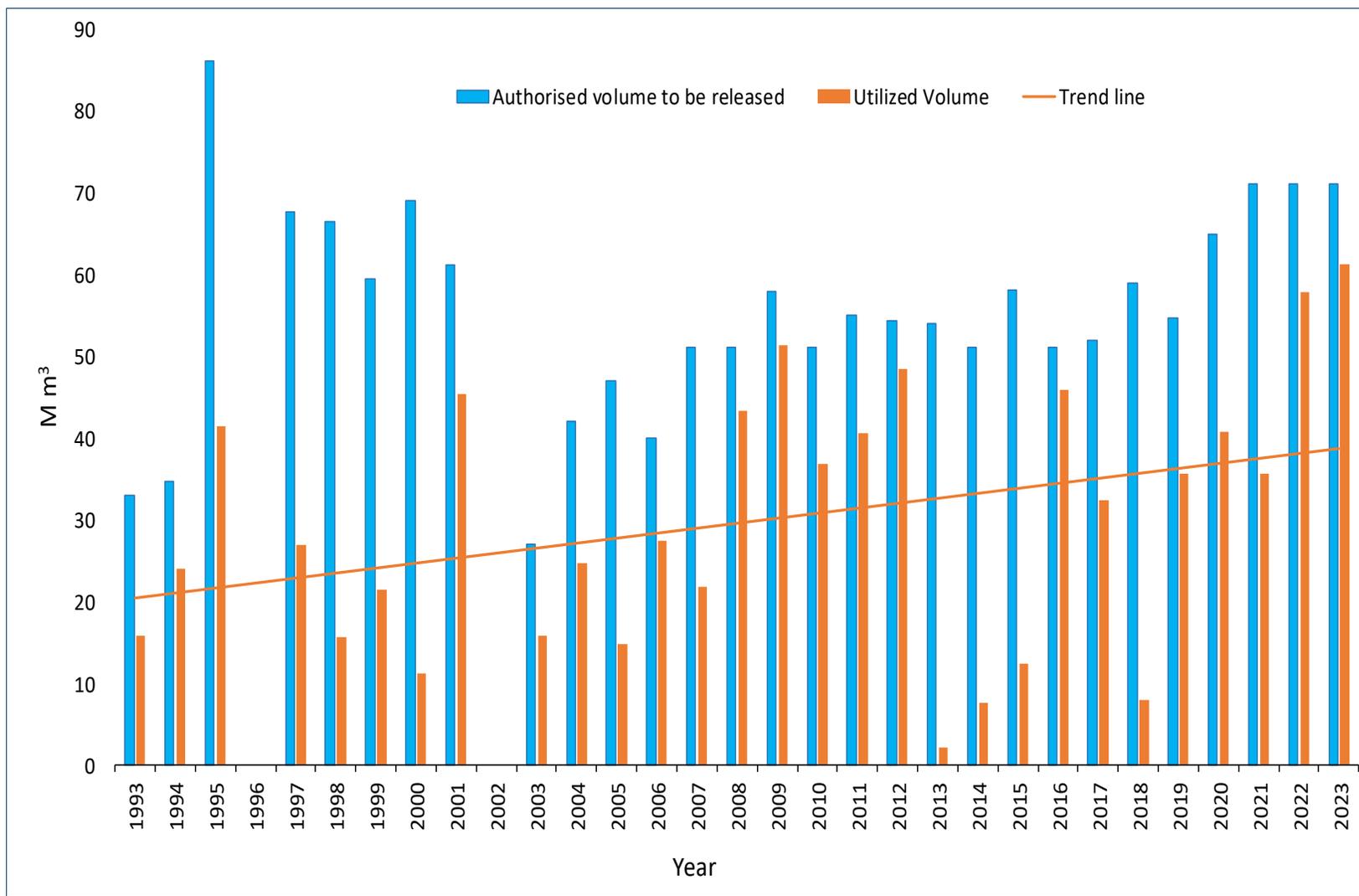
Indice d'étiage du fleuve 2



Date de franchissement de DOE à Tonneins (1960 - 2024), source : **SMEAG**

- Augmentation du nombre d'années au cours desquelles les mesures du débit objectif d'étiage sont atteintes, voire commencent à l'avance.
- Réduction du nombre d'années pendant lesquelles le débit objectif d'étiage n'est pas dépassé

Changement climatique et stratégies d'adaptation 1



Volume d'eau mobilisé par le SMEAG (Syndicat Mixte d'Etudes et d'Aménagement de la Garonne) pour soutenir l'étiage de la Garonne entre 1993 et 2023

RAMAGE :

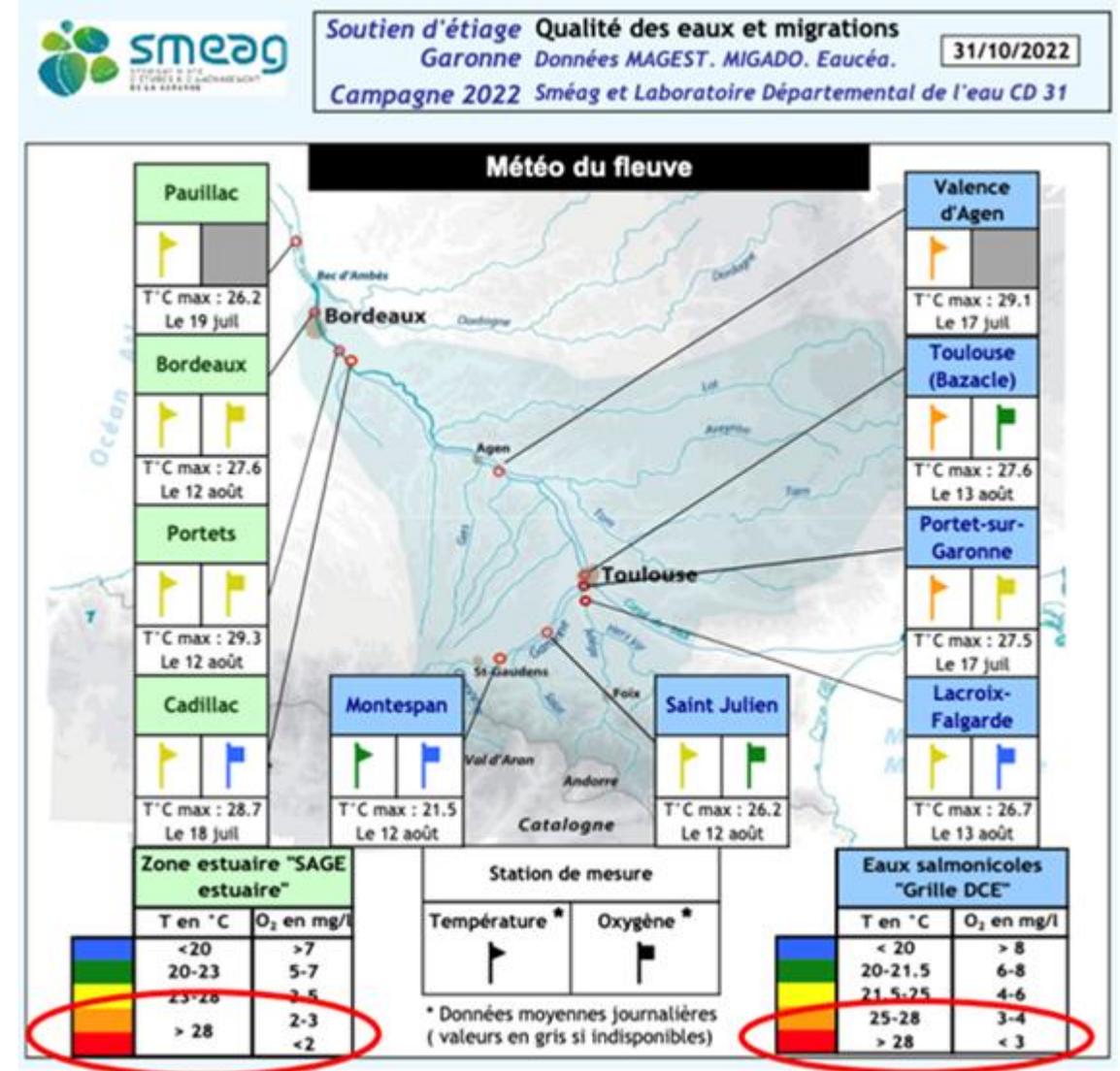
Projet porté par le **SMEAG** dans le cadre du Plan de Gestion d'Etiage de la Garonne (Mesure M8 et disposition II.8 du SAGE Vallée de la Garonne

Principe :

En année de mauvaise recharge hivernale, **stocker une eau de surface dans l'aquifère à des fins de soutien d'étiage naturel**, diffus, en eau fraîche...

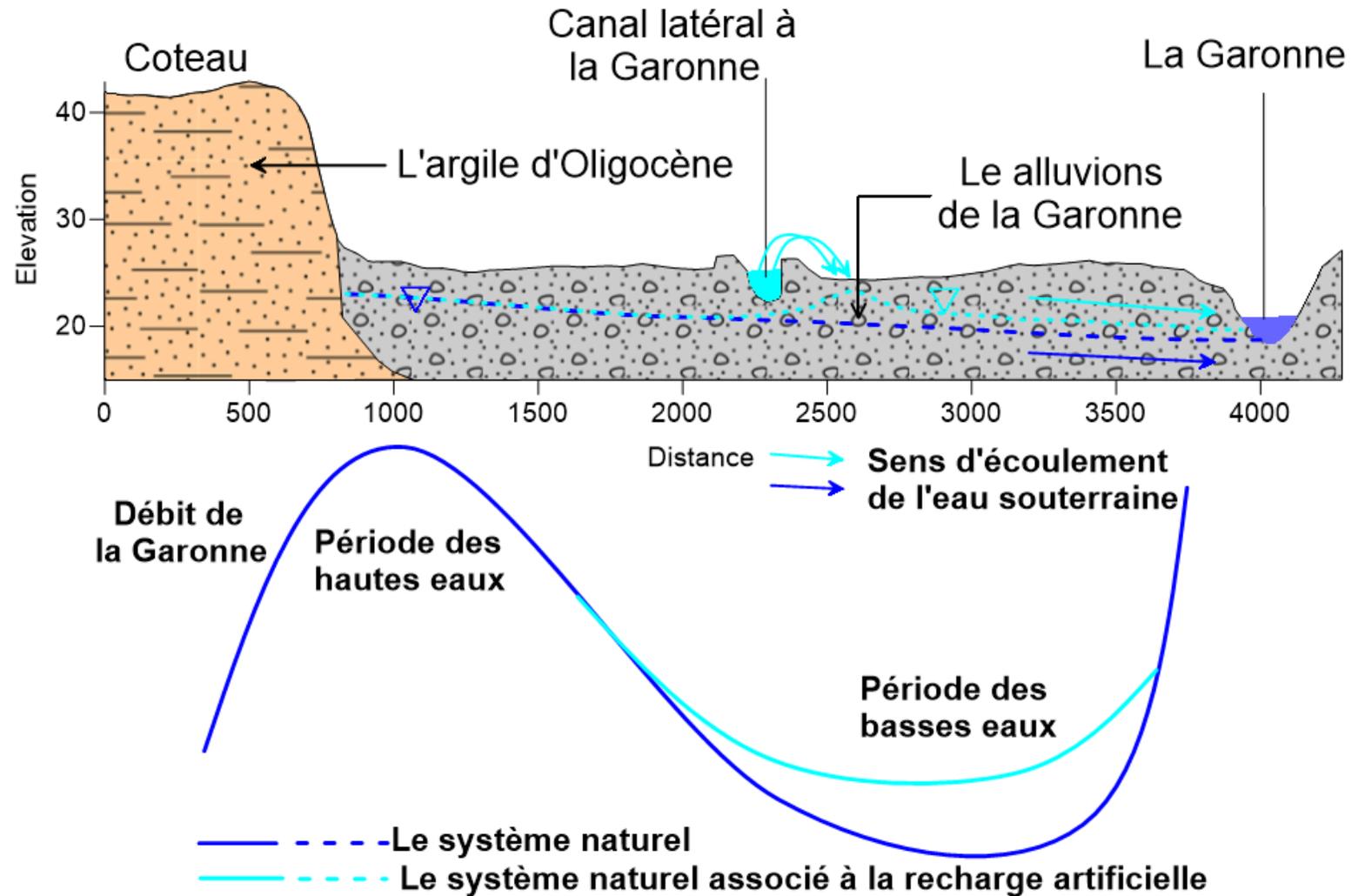
Potentiel d'infiltrer **1 m³/s** sur **3 à 4** mois d'infiltration pour un volume de **8 à 10 Mm³**

Soutien l'étiage de la Garonne avec une eau fraîche (14-15°C) permettant également localement de **maintenir en eau les zones humides**

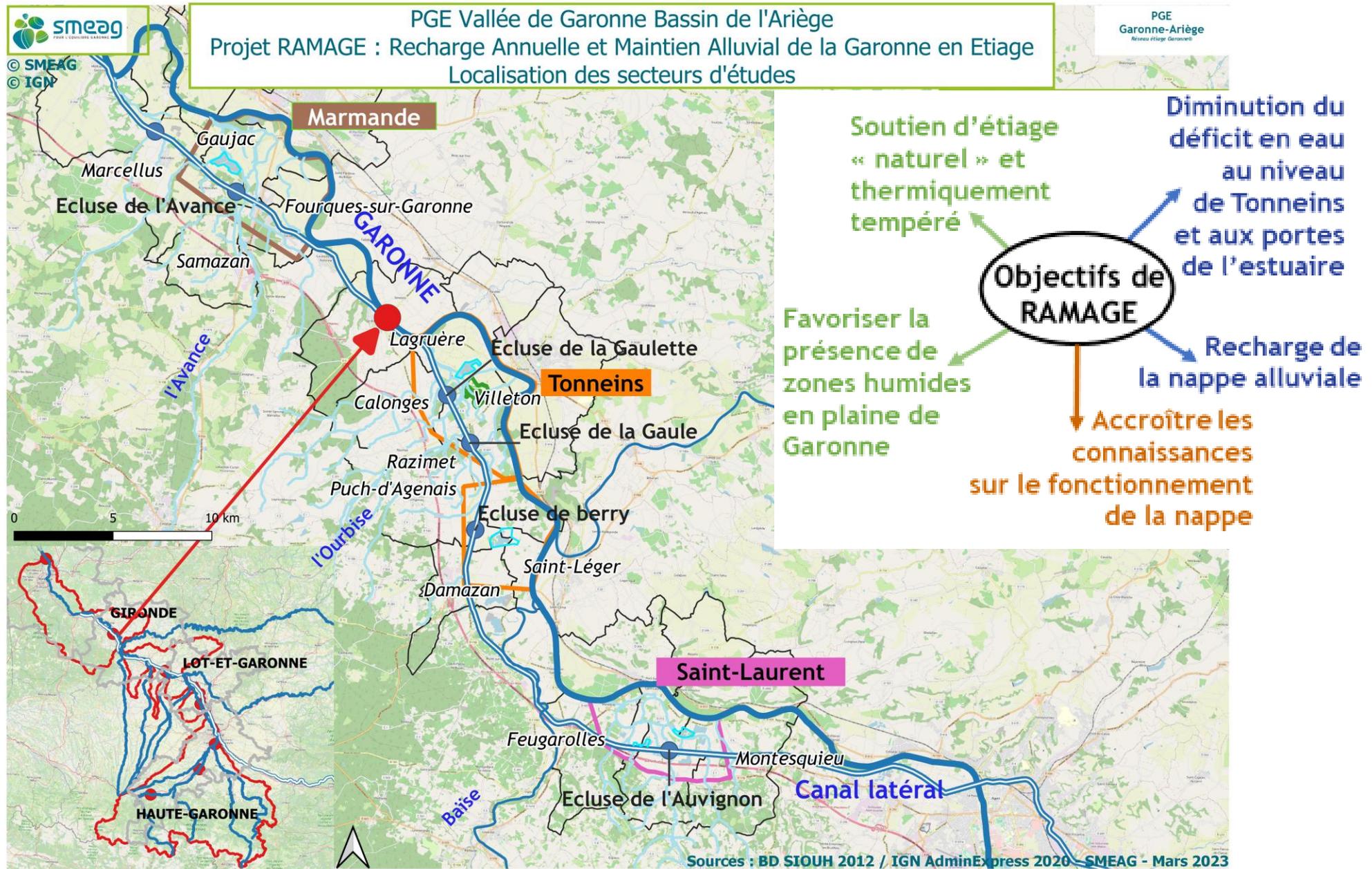


Principe de la recharge de la nappe dans le cadre du projet RAMAGE

- Utilisation des infrastructures existantes : Canal Latéral de La Garonne comme ressource pour la recharge annuelle
- Favoriser un écoulement gravitaire ;
- Drainage d'eau souterraine « froide » dans la Garonne « chaude » en été ;



Sites pilotes, identifié par le SMEAG, pour la recharge annuelle de la nappe alluviale.



4 Sites pilotes sélectionnés dans la vallée de la Garonne pour la recharge annuelle de la nappe alluviale.

C'est quoi la recharge annuelle de la nappe? Et pourquoi ? Dans quelle condition?

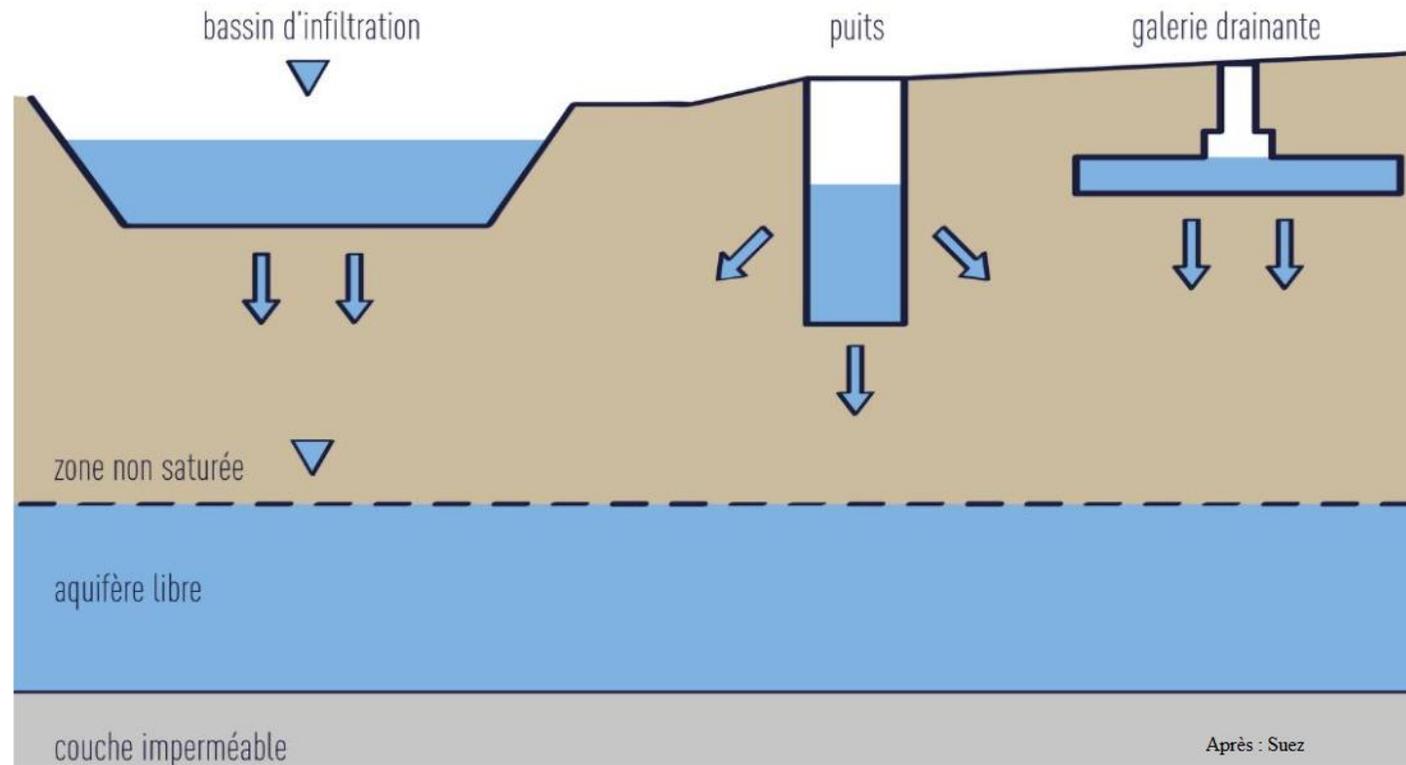
Le projet vise à :

- (1) Déterminer la réponse potentielle de la nappe alluviale à la recharge artificielle.
- (2) Identifier comment cette stratégie peut participer à l'augmentation du débit de l'étiage de la Garonne (eau thermiquement tempérée).
- (3) Identifier le potentiel de cette stratégie en tant qu'outil de gestion, pour le SMEAG, dans la vallée de la Garonne pour limiter les impacts du réchauffement climatique sur les ressources en eau et sur les écosystèmes associés.

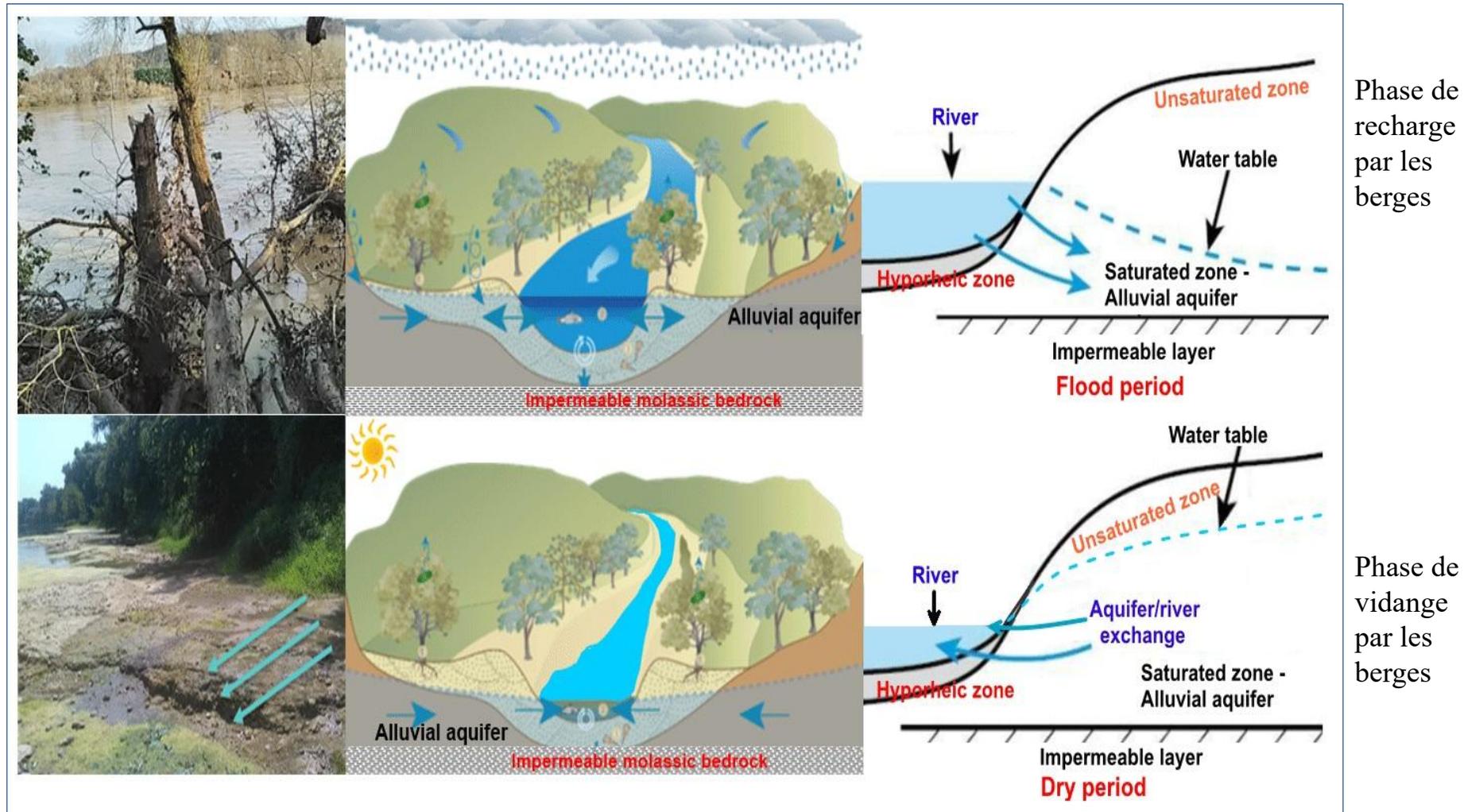
Quels sont les différents dispositifs de recharge artificiellement?

Puits,
Forages,
Puisards,
Noues,
Tranchées,
Bassins,
Gravières,
Canaux,
Épandage,

...



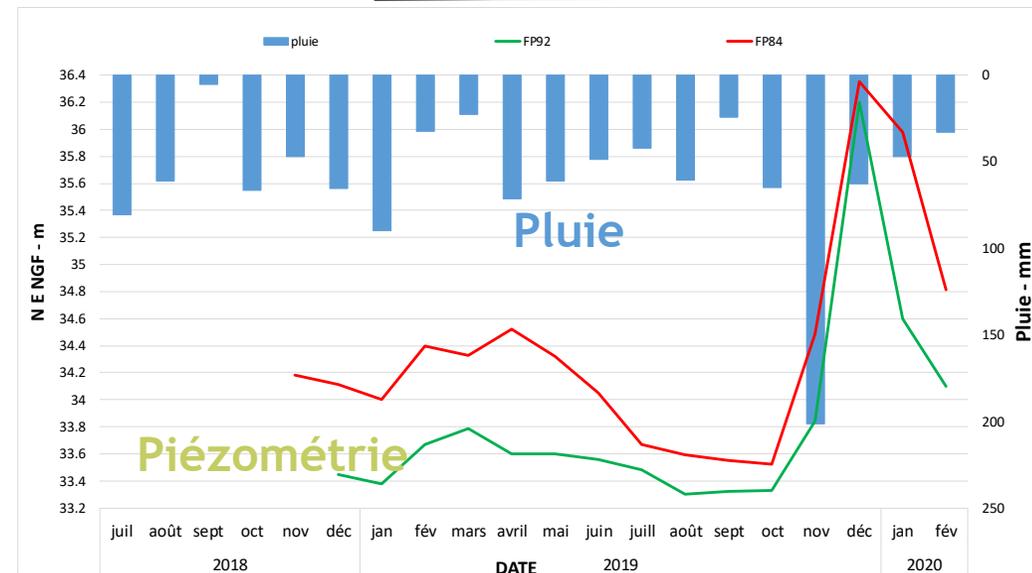
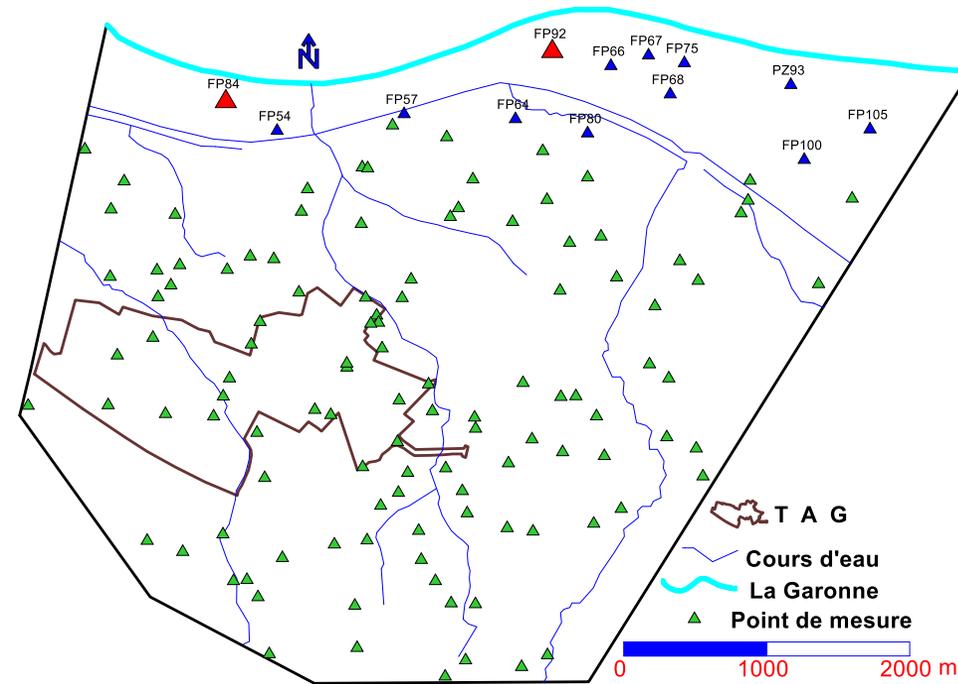
Fonctionnement hydraulique / Échanges nappe-rivière



Échanges nappe-rivière en période des hautes eaux et des basses eaux

Fonctionnement hydraulique / Échanges nappe-rivière

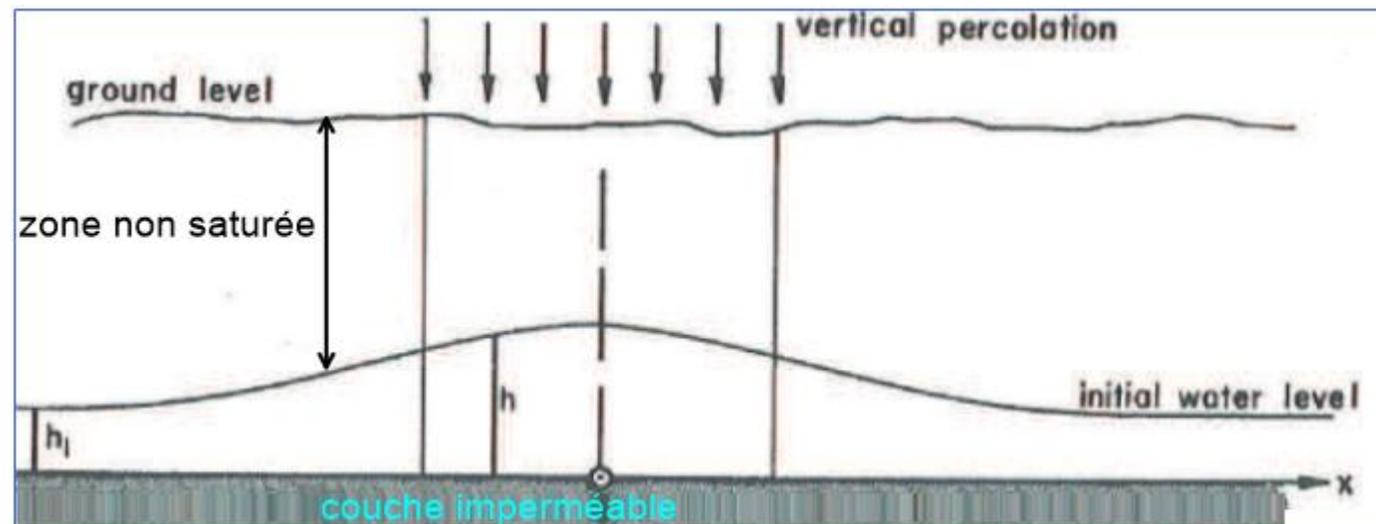
Observation
d'une hausse
du niveau
piézométrique
de 3 m après la
crue du 25
novembre 2019



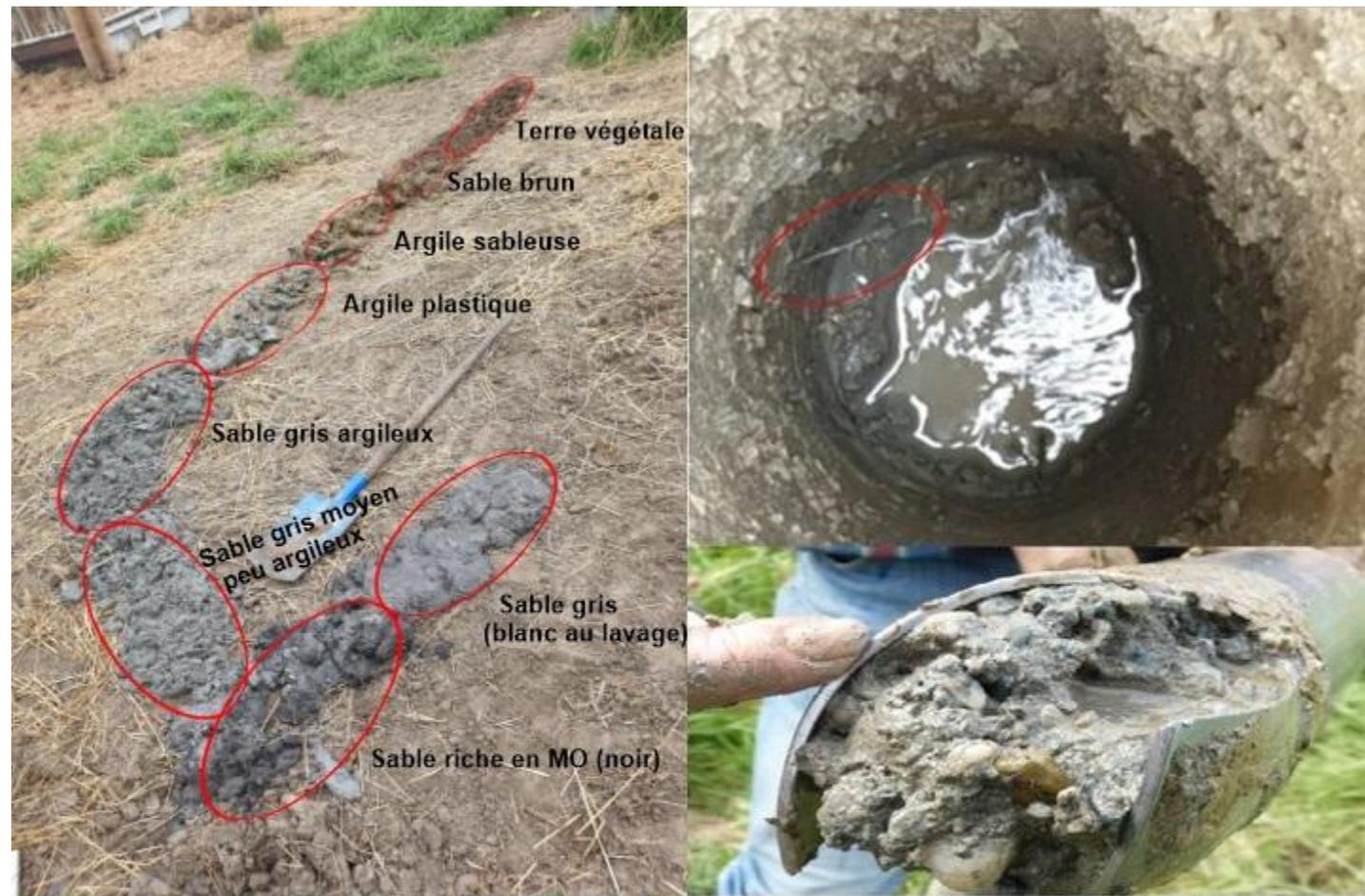
Contraintes hydrogéologiques

La nappe ciblée à la recharge artificielle doit répondre à plusieurs contraintes :

- Importante hauteur de la **zone non saturée** pour autoriser le stockage et permettre l'autoépuration si nécessaire.
- **Caractéristiques hydrogéologiques** favorables (transmissivité, coefficient d'emmagasinement, etc.).
- **Conductivité hydraulique horizontale** modérée pour augmenter le temps de résidence de l'eau et permettre la conservation de la réserve constituée selon les objectifs de recharge.



Travaux préliminaires : Forages à la tarière

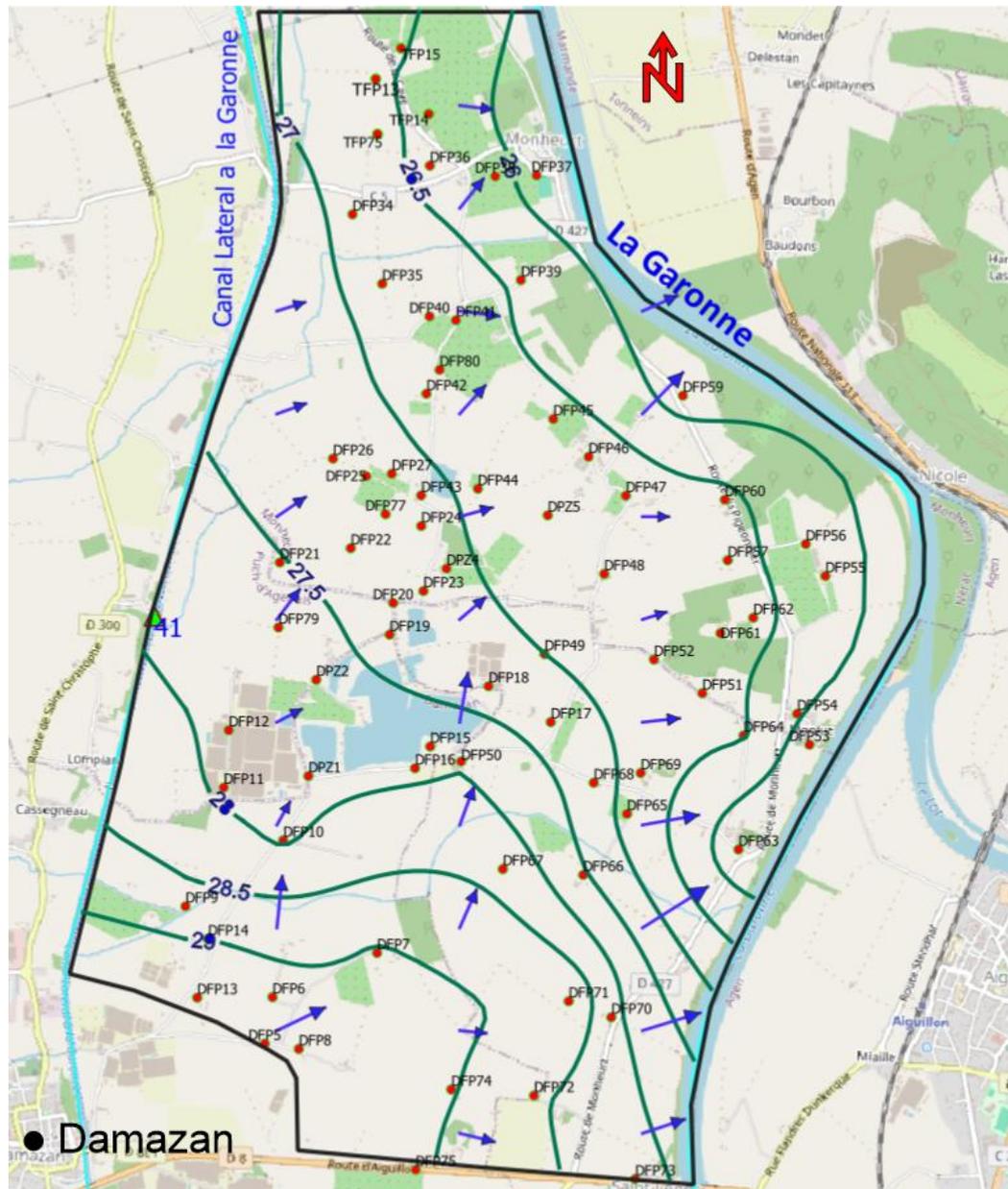


Visites de gravières



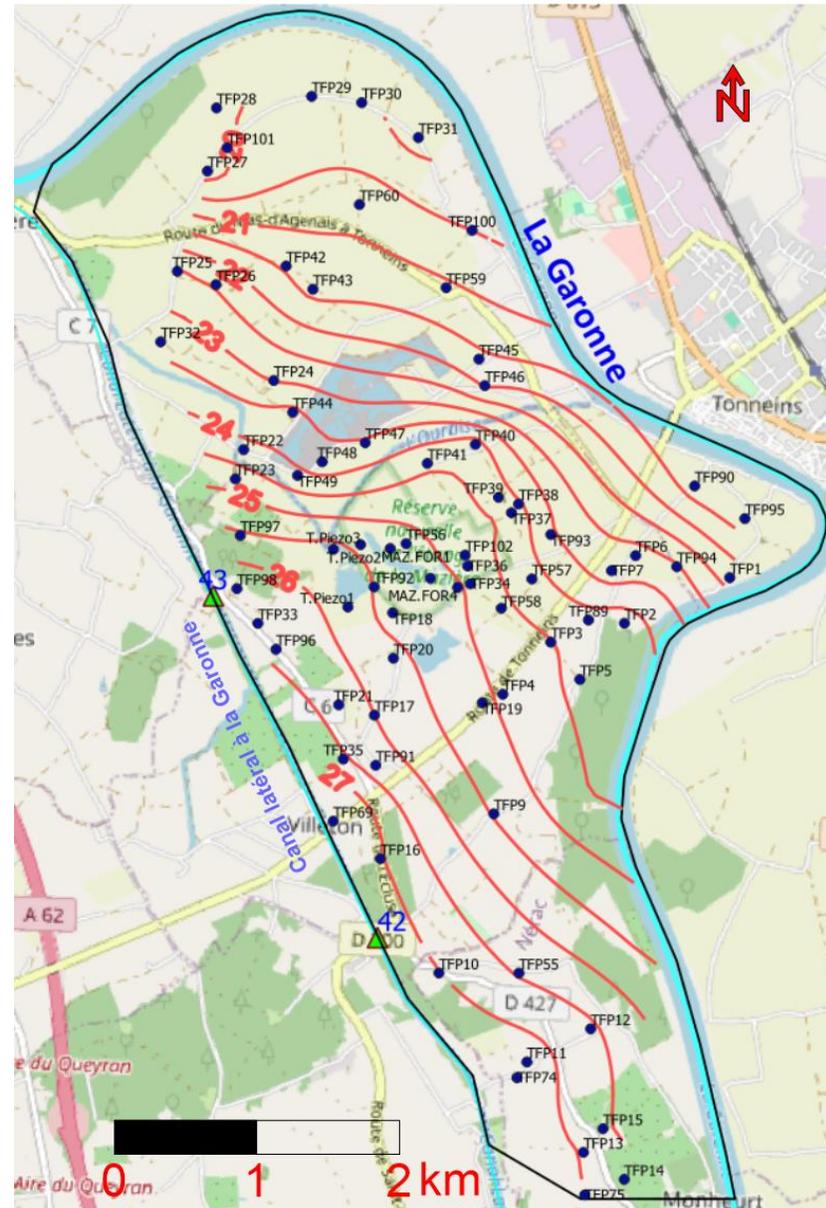
- Plusieurs phases d'érosion et sédimentation, témoins de dynamiques fluviales très différentes
- Fortes variabilités des lithologies: cartographie nécessaire sur zones réduites pour construire des modèles et tester les paramètres d'écoulement

Damazan



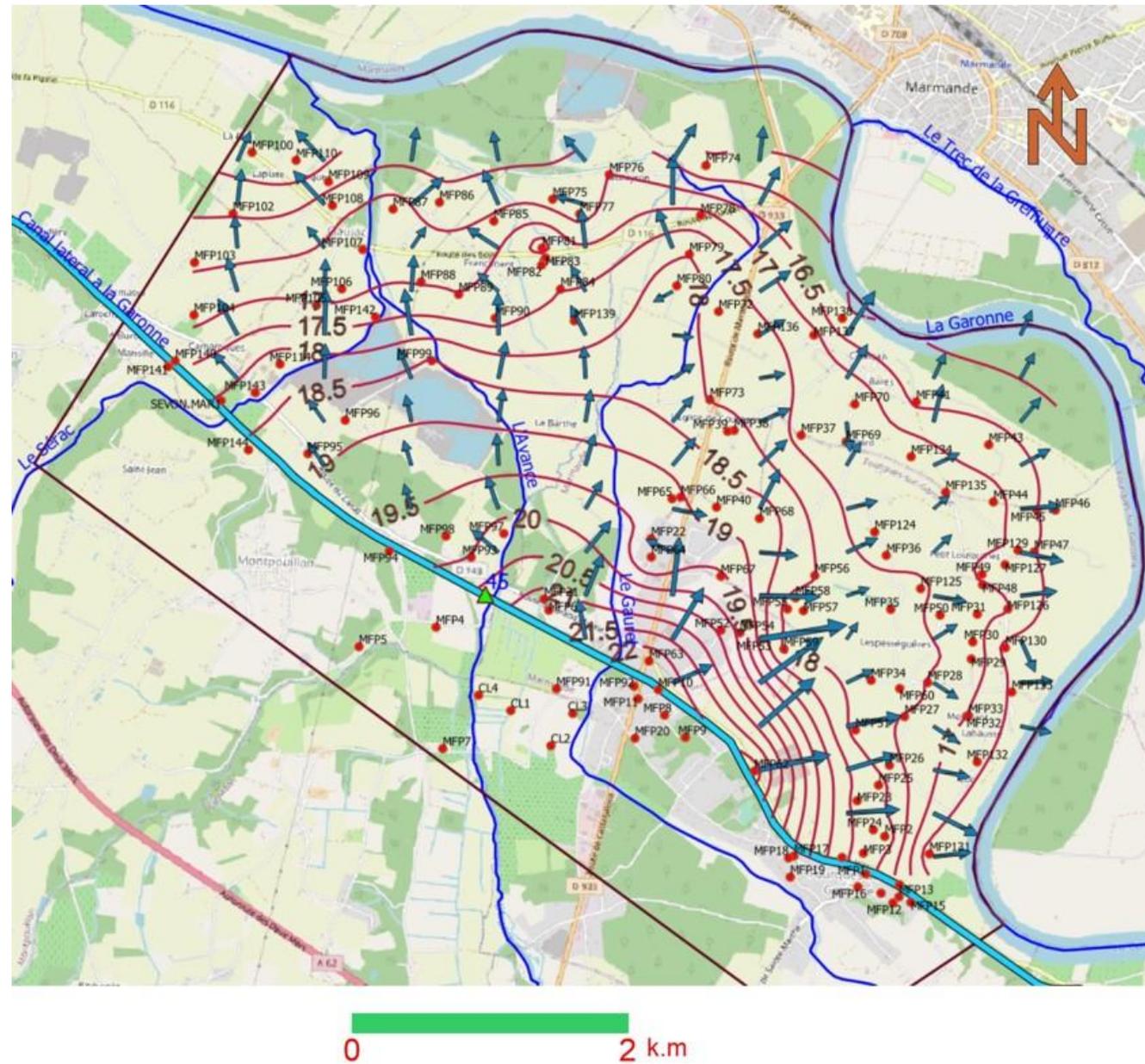
0 2 4 km
La carte piézométrique du site de Damazan, avril 2022

Tonneins



La carte piézométrique du site de Tonneins, avril 2024

Marmande



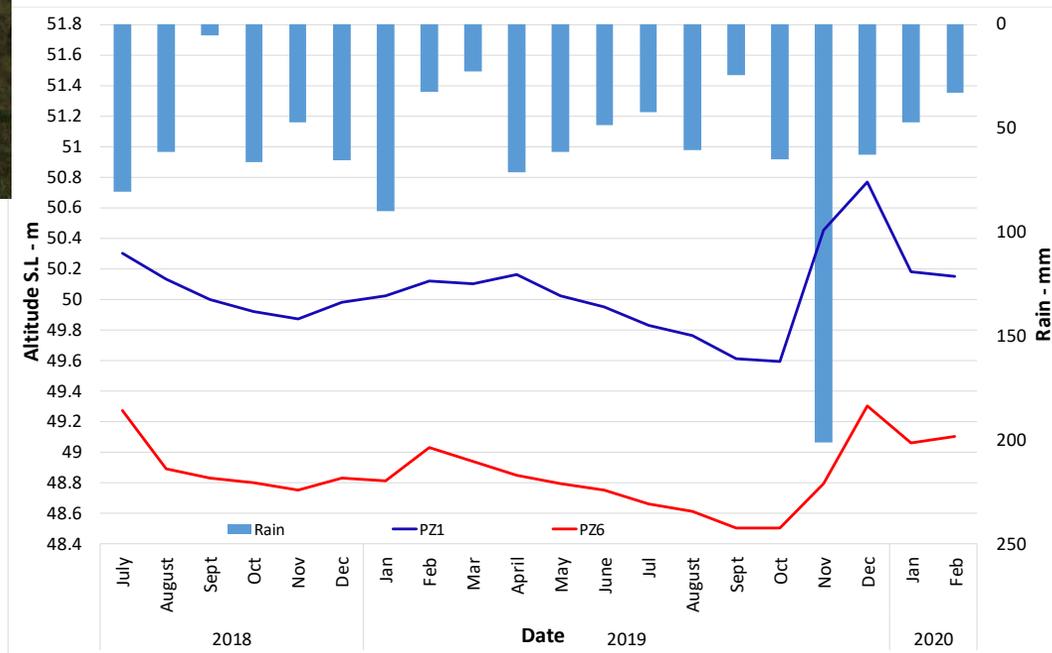
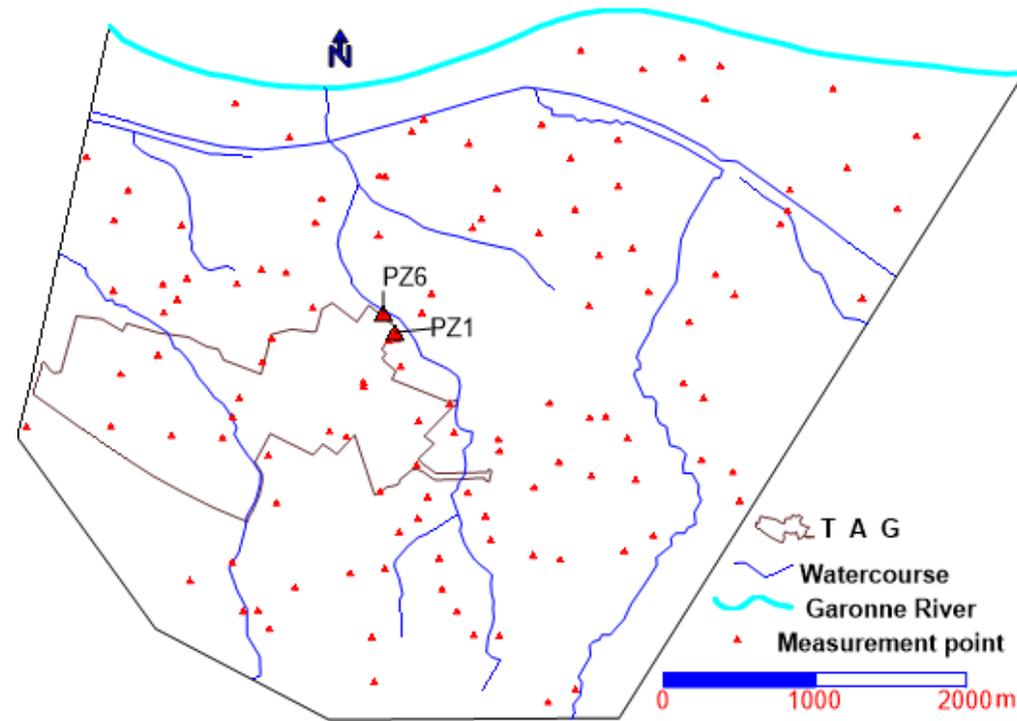
Brax



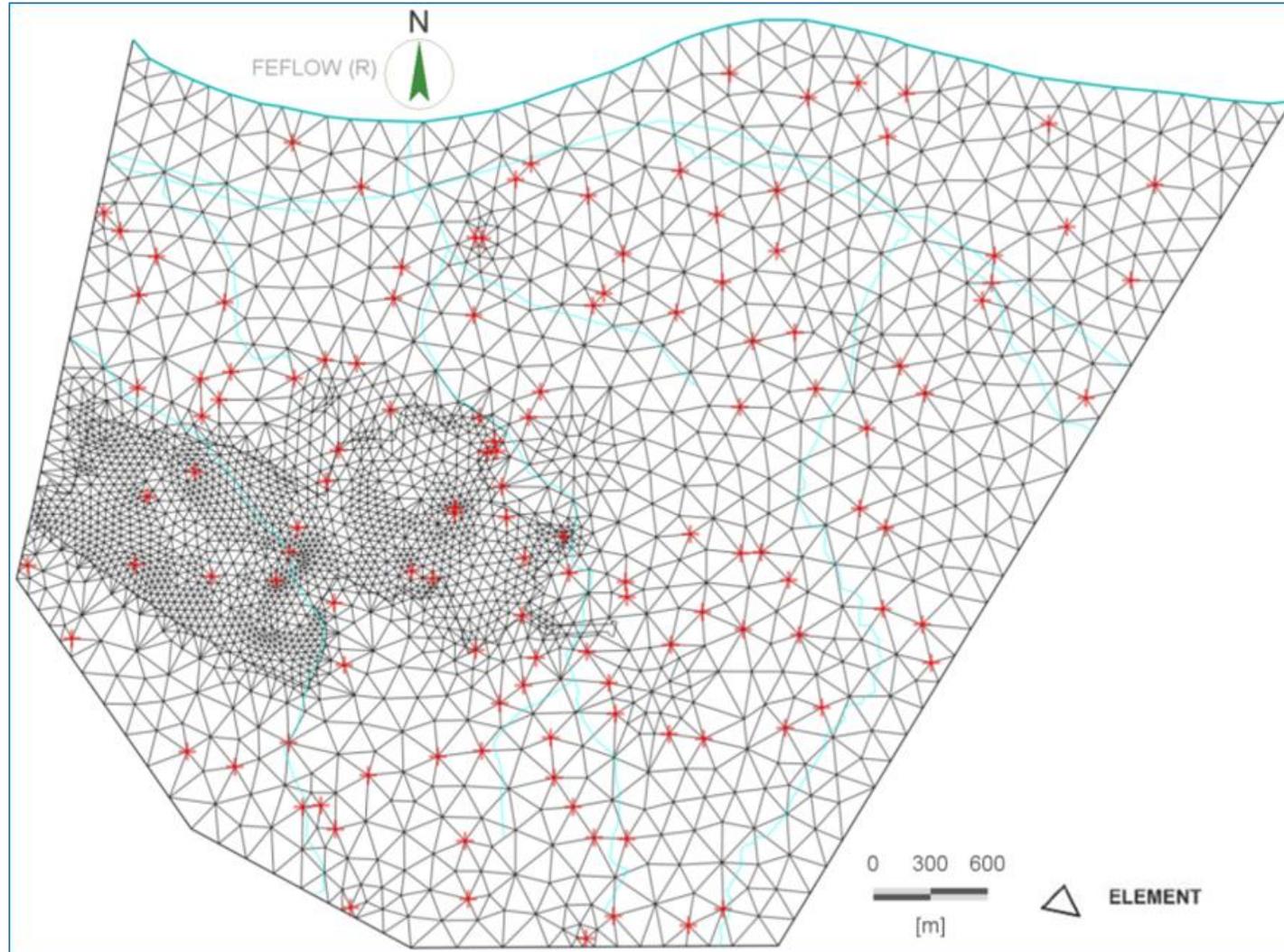
Fossé de collecte des eaux de ruissellement



Bassin de rétention après un épisode pluvieux

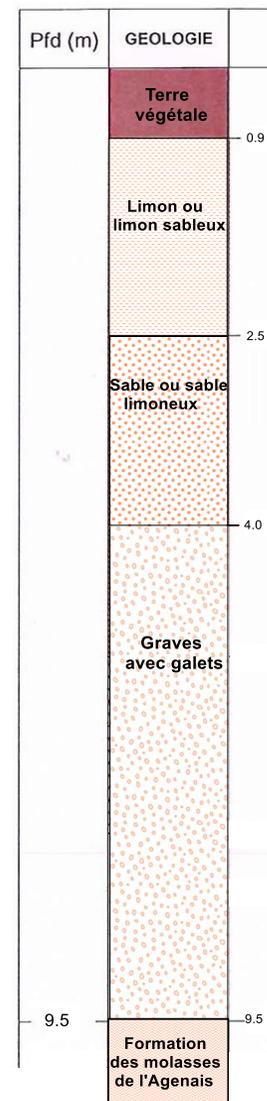
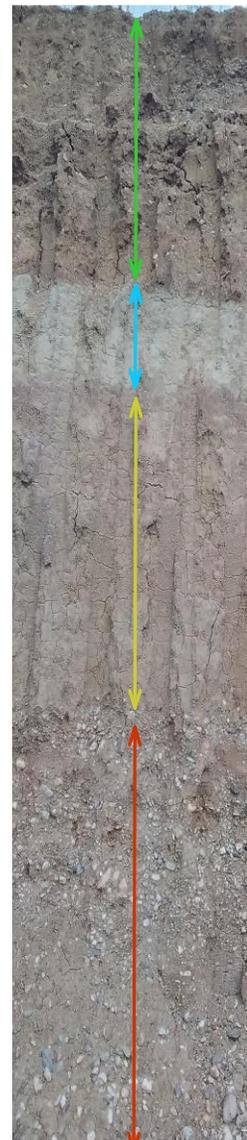
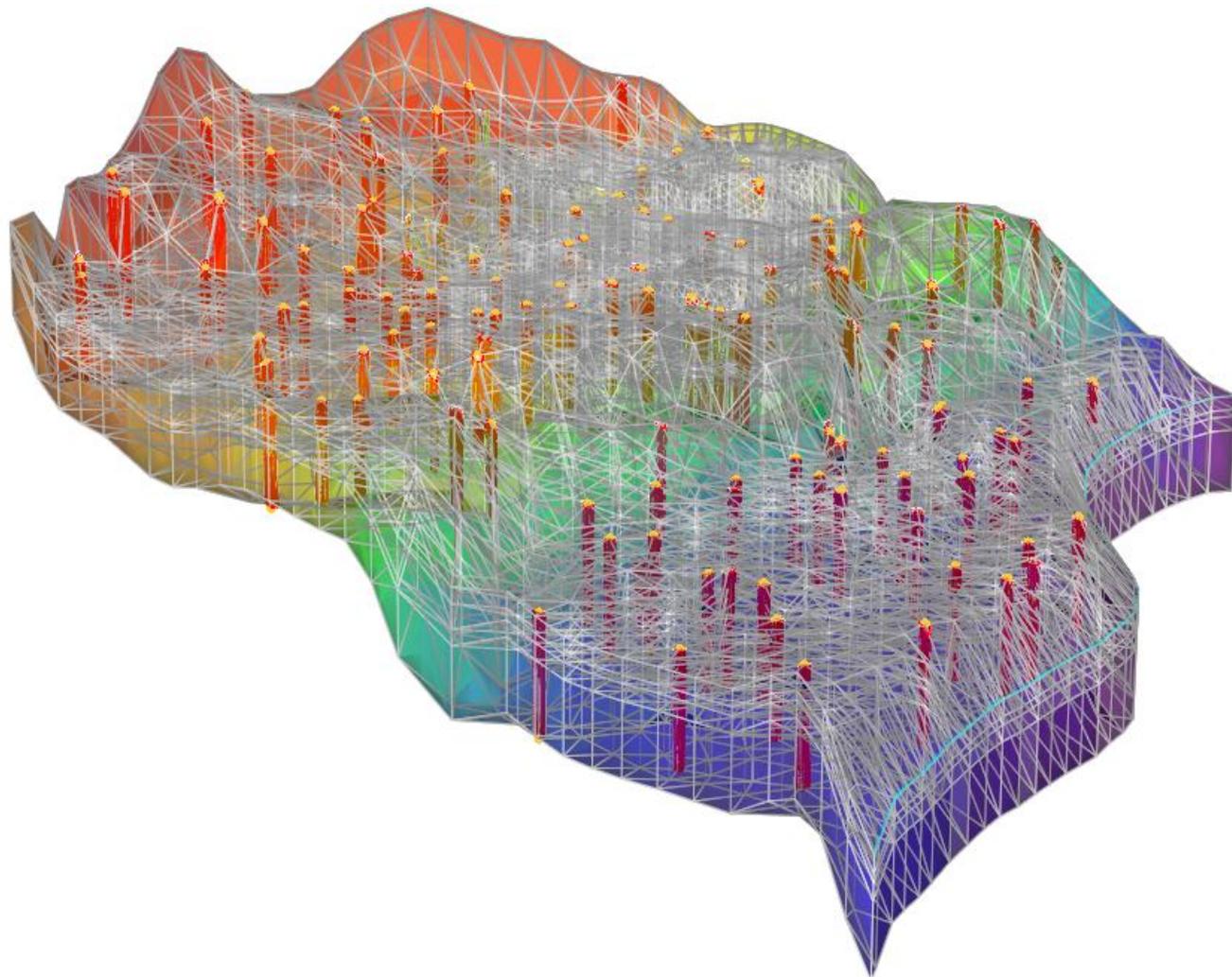


Modèle 2D



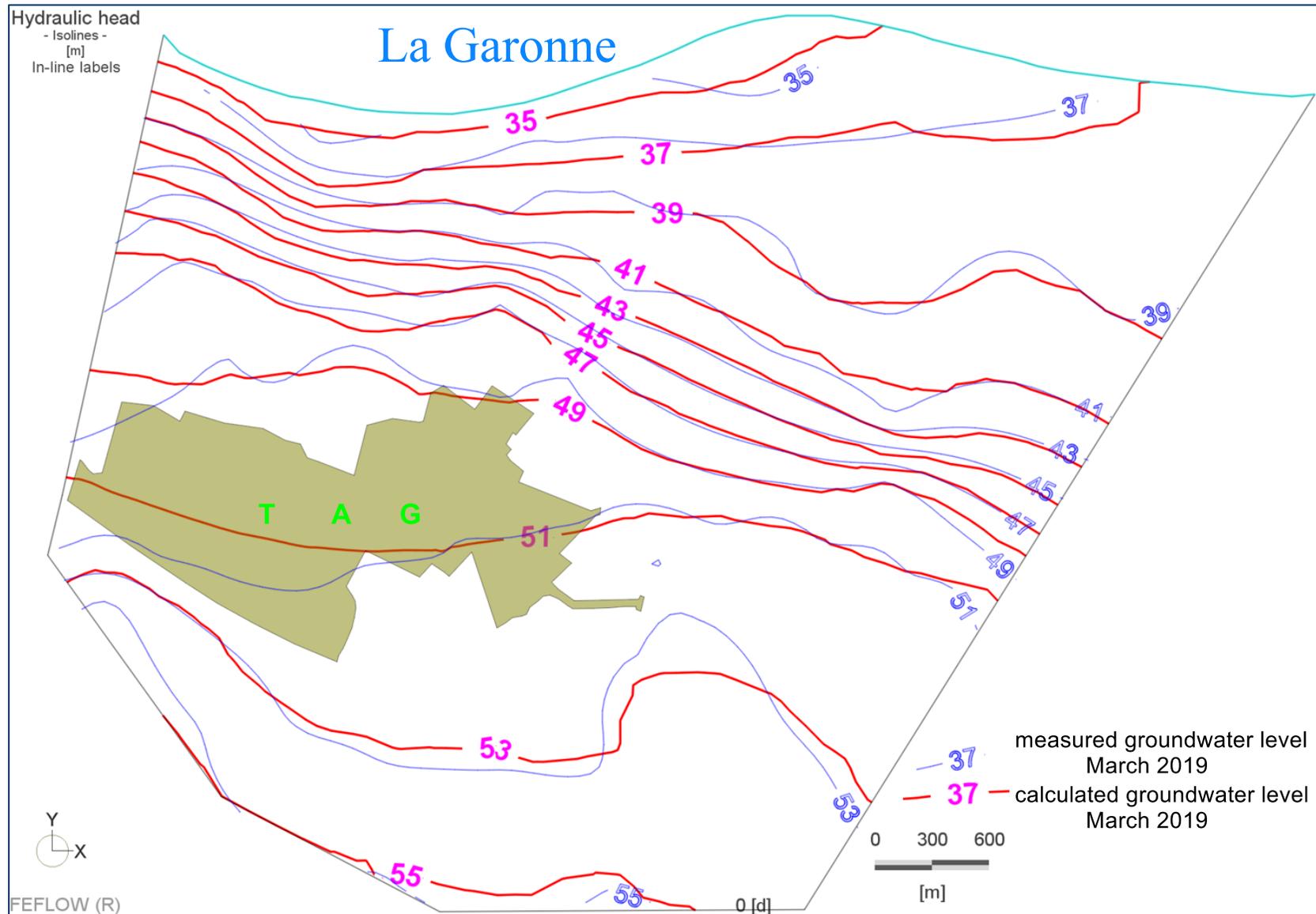
Génération du maillage éléments finis par FEFLOW. Un raffinement a été appliqué à la zone du TAG.

Modèle 3D



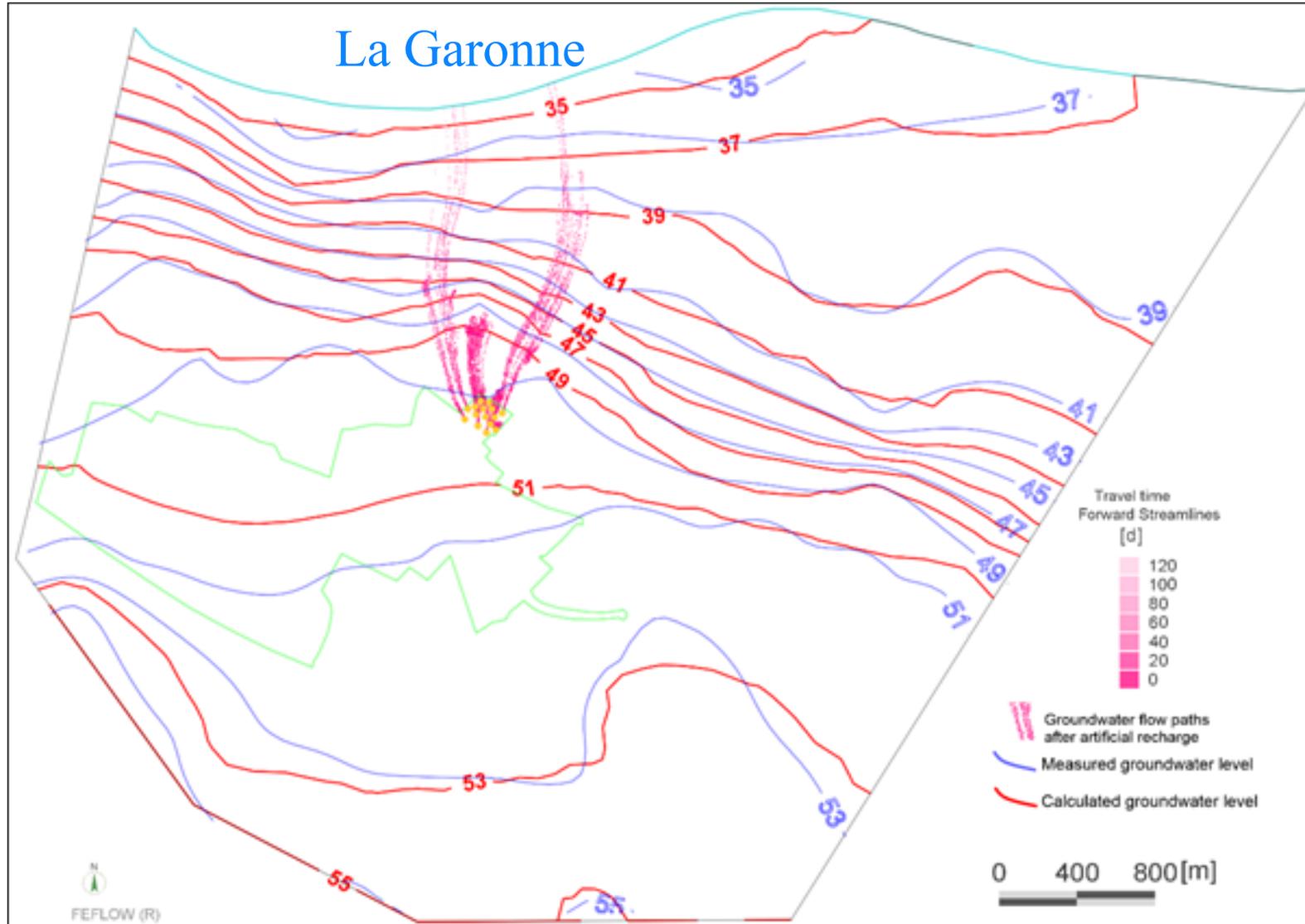
Maillage 3D d'éléments finis généré par FEFLOW montrant le point de mesure dans l'aquifère alluvial

Calage du Modèle



Cartes des niveaux d'eau souterraine mesurés et calculés, mars - 2019

Groundwater modelling result



Résultat de la simulation après la recharge annuelle appliquée dans le bassin de rétention.

L'eau du canal, Marmande



Investigation géologique, curage et remplissage d'un fossé à proximité du canal latéral.
Fossé mis à disposition par VNF (gestionnaire du canal)

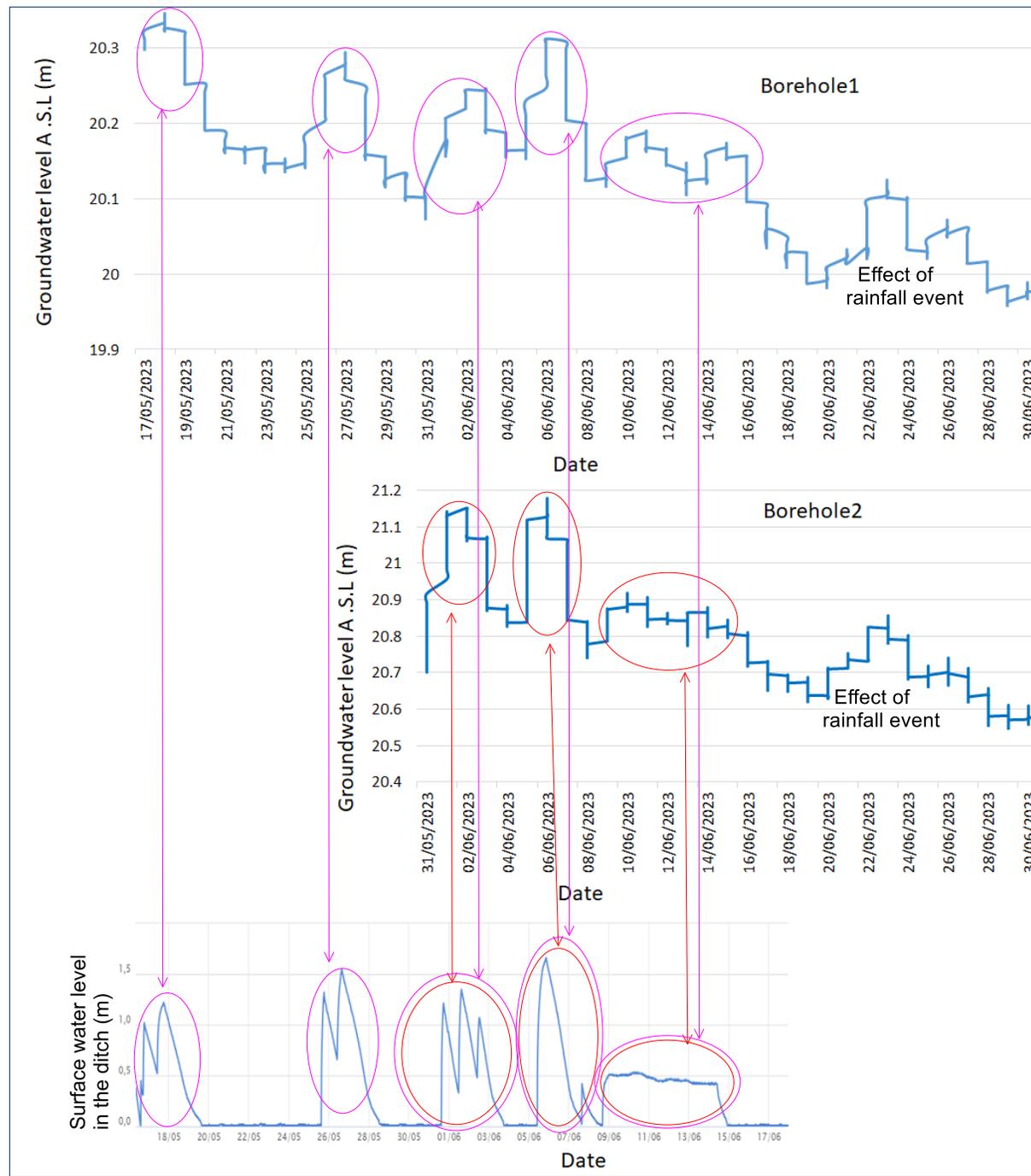
Mise en charge

$Q_R = 62 \text{ m}^3 / \text{h}$ puis à $10 \text{ m}^3 / \text{h}$ fixe

$\Delta L = 130 \text{ m}$

$\Delta H = 150 \text{ cm}$

Mesure du niveau de l'eau



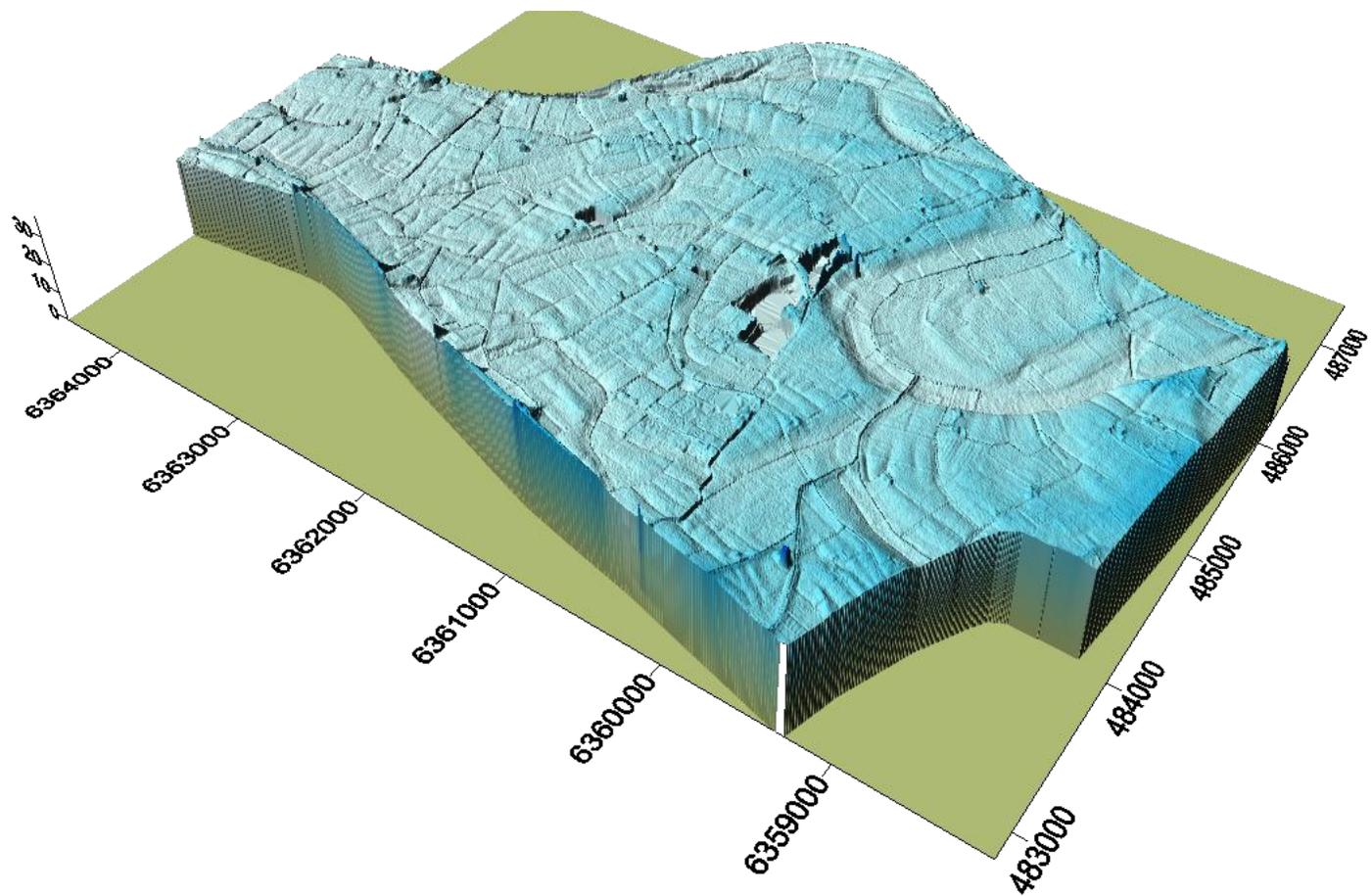
Tonneins



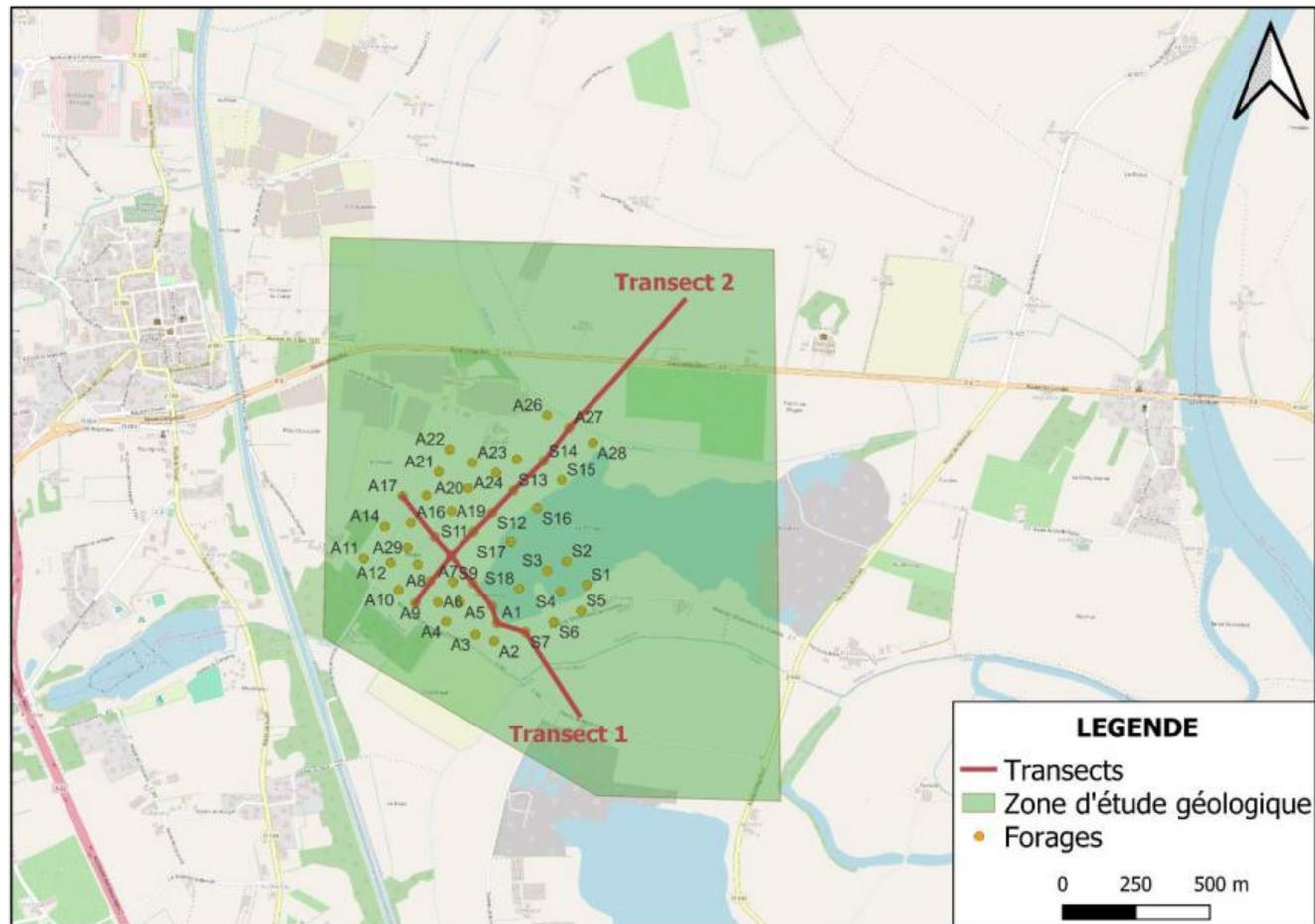
Test d'infiltration réalisé en
2024 et 2025

Une parcelle d'une superficie d'environ 0,5 ha de peuplier.

3D Damazan

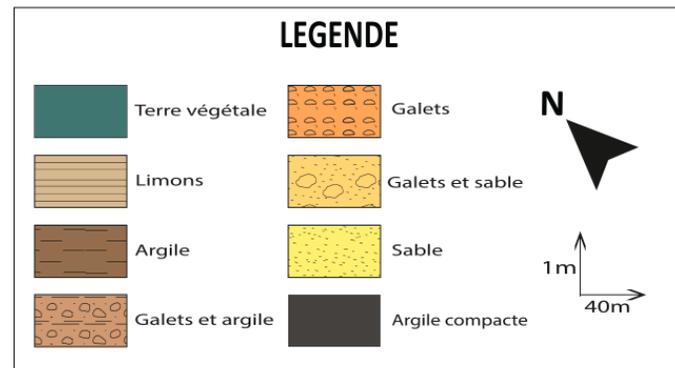
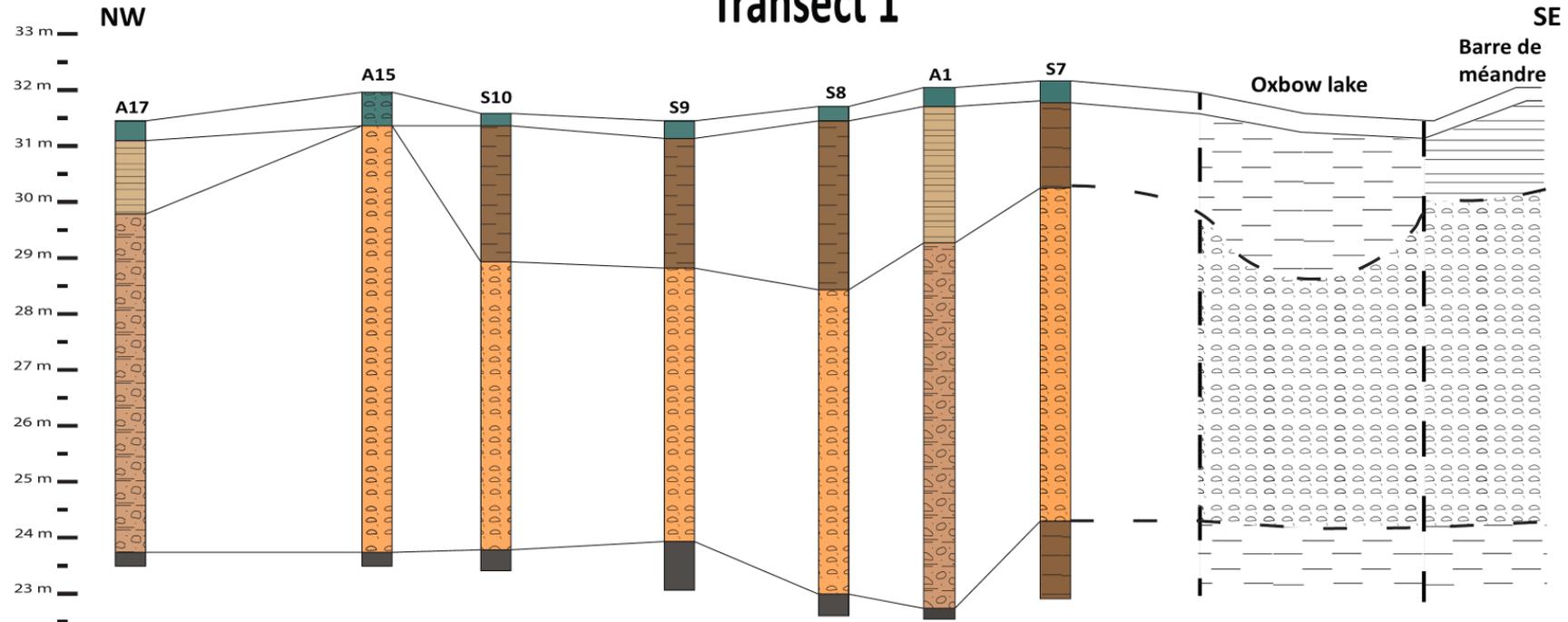


Coupes géologiques - Damazan

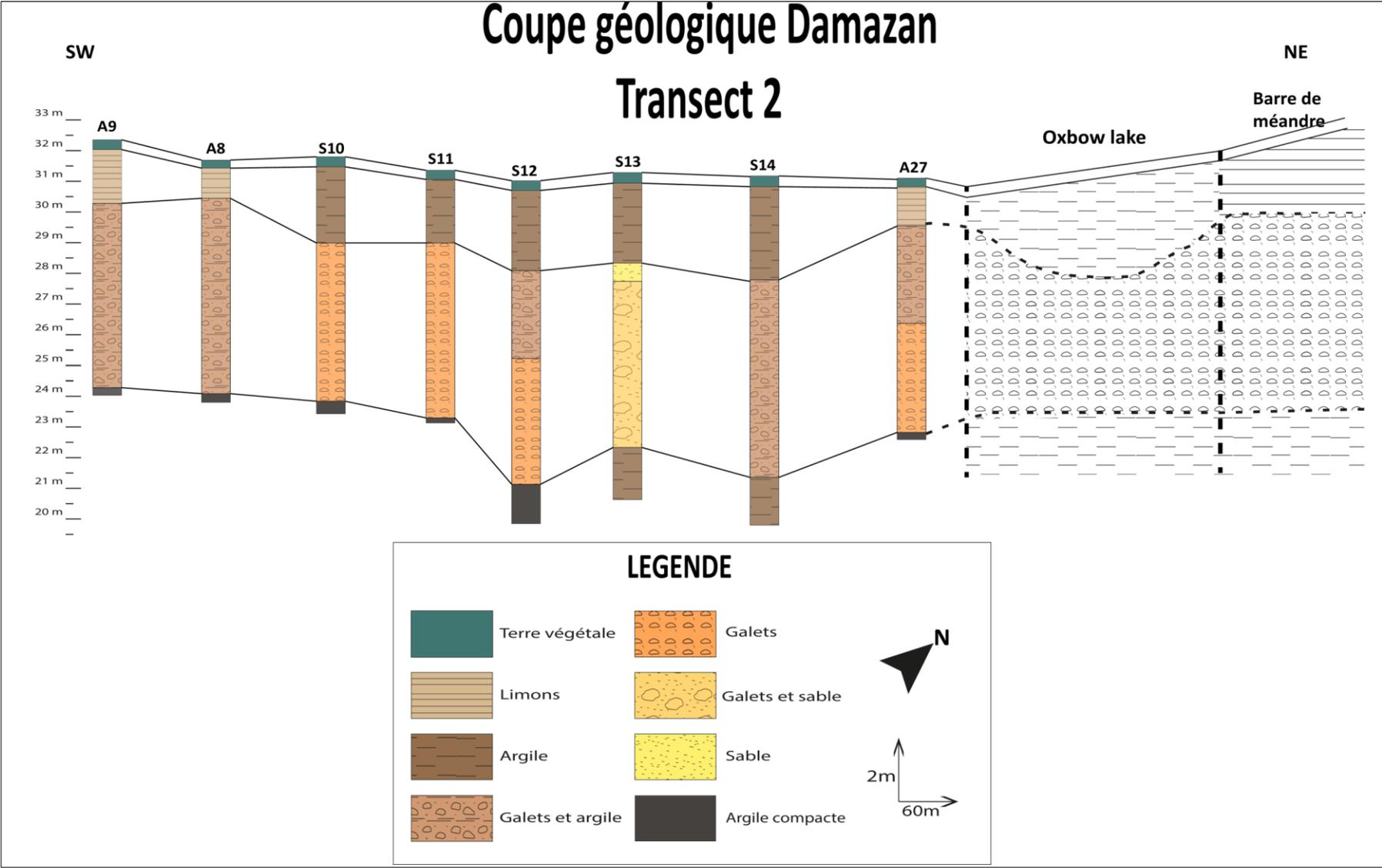


Les forages utilisés pour les coupes géologiques et les transects réalisés, après l'INRAP

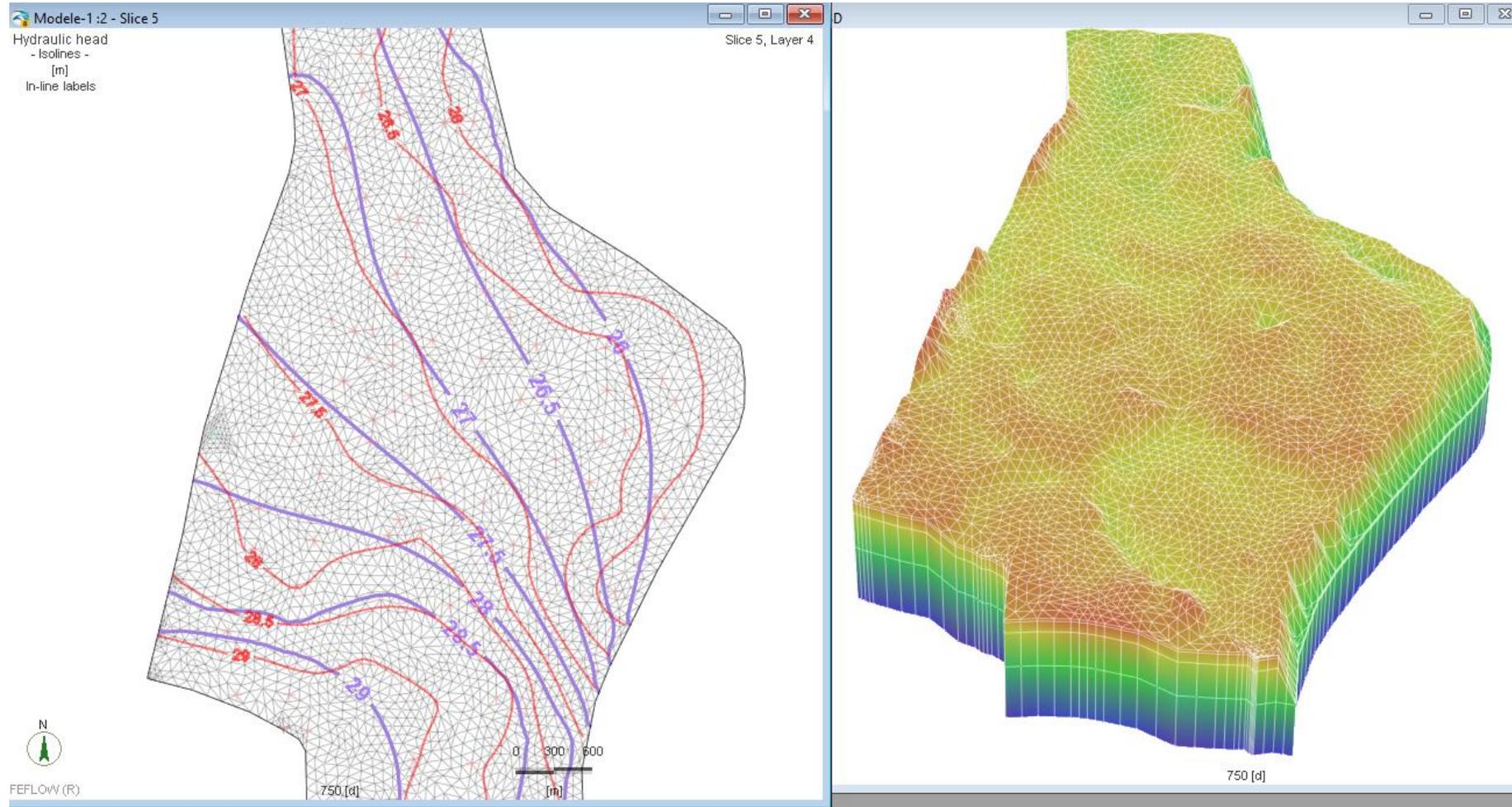
Coupe géologique Damazan Transect 1



Coupes géologique 2



Damazan

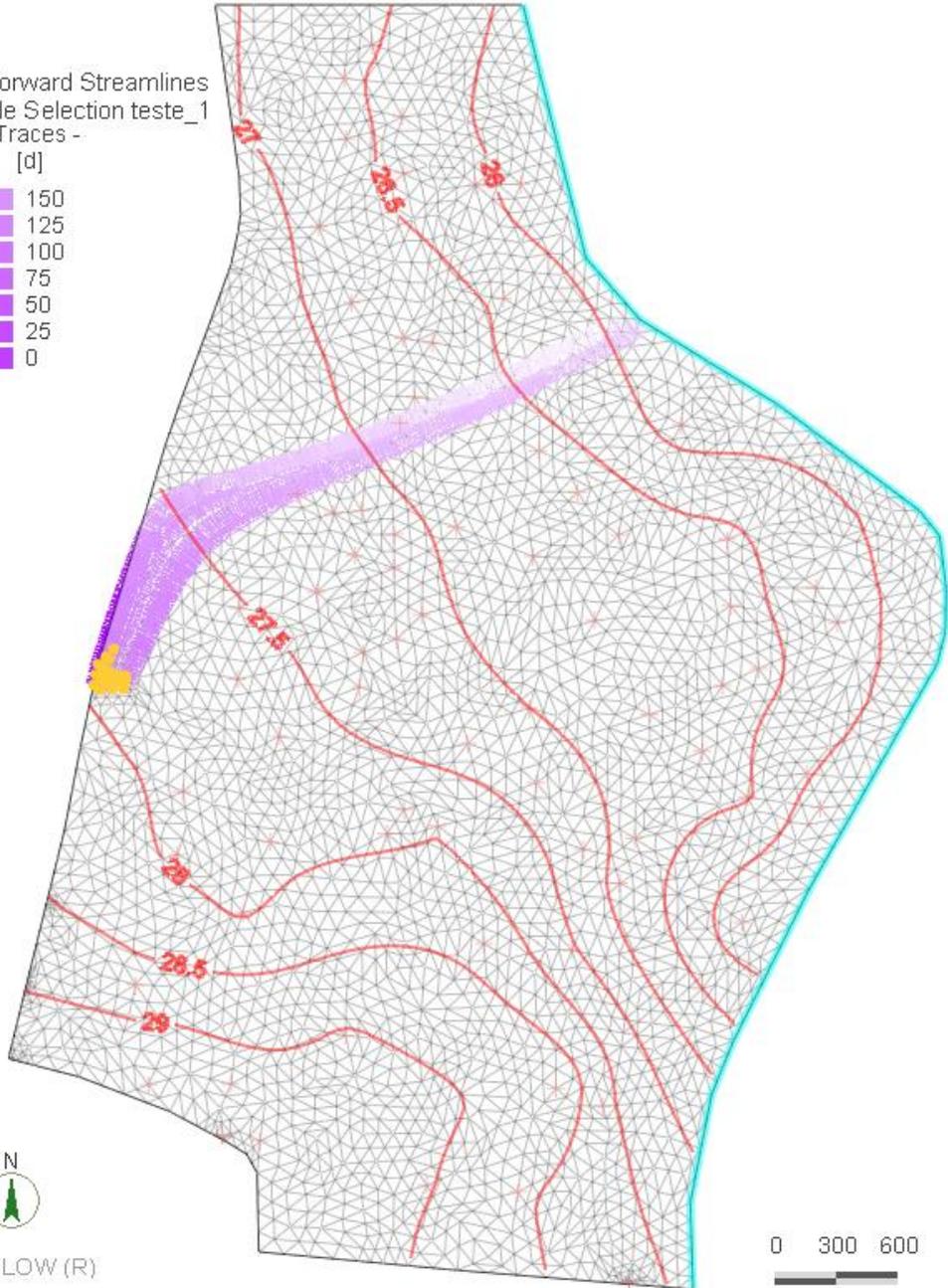


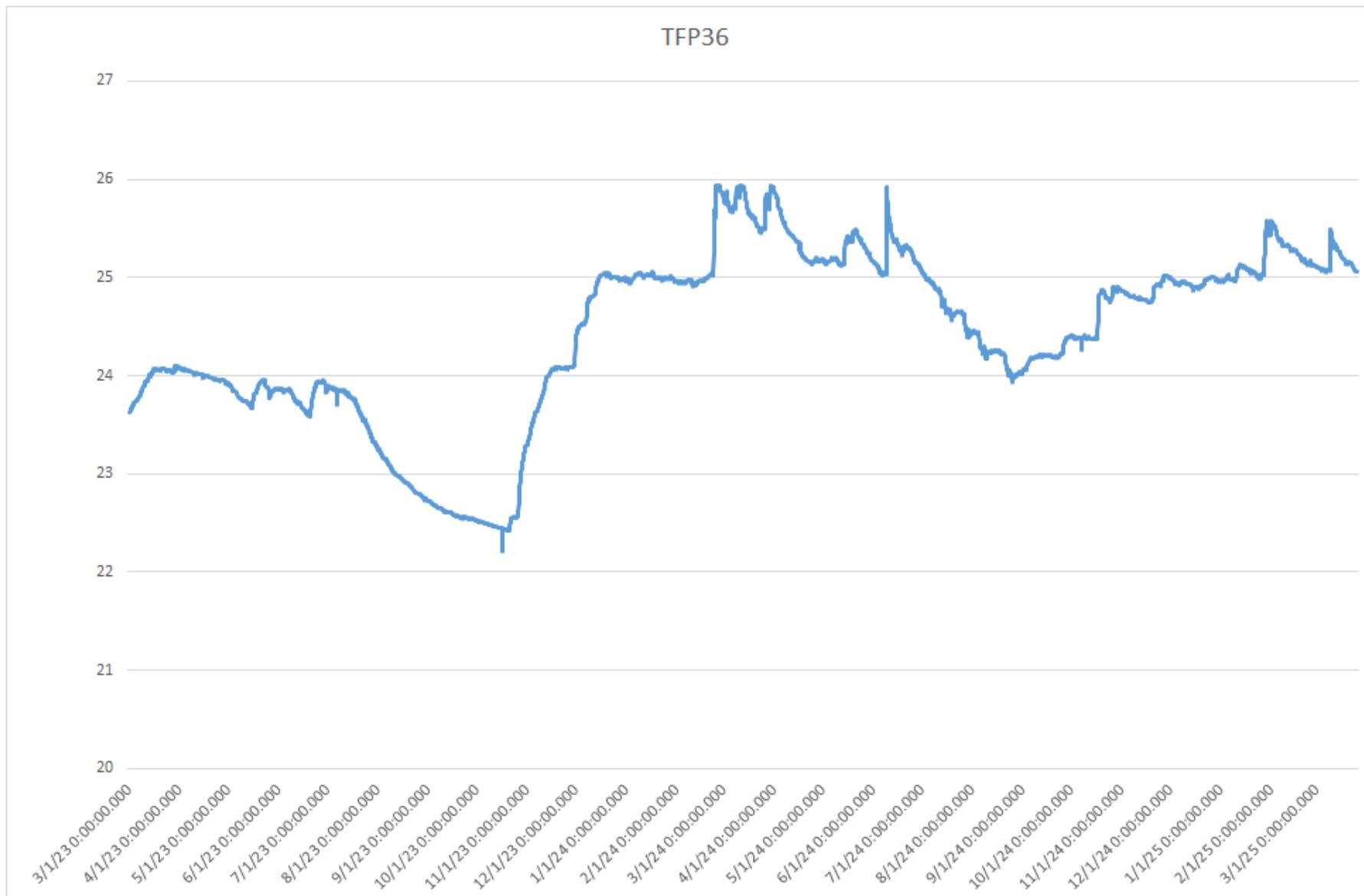
Modèle 3D sous calage

Modèle Damazan : résultat préliminaire de la simulation-2

Travel time, Forward Streamlines
seeded @Node Selection teste_1

- Traces -
- [d]
- 150
- 125
- 100
- 75
- 50
- 25
- 0





Niveau piézométrique – puits de la Mazière Villetton - 47

Conclusion

- La **recharge maîtrisée** de la nappe peut être un outil considérable pour maintenir le niveau de la nappe et soutenir l'étiage de la Garonne.
- Cela permettra d'assurer le **bon fonctionnement** de la rivière et ses milieux écologiques, ainsi que de contribuer au maintien des zones humides dans les zones ciblées.
- Cette **solution basée sur la nature** peut être considérée comme une stratégie d'adaptation au changement climatique dans la vallée de la Garonne.
- Projet innovant porté par le SMEAG et identifié comme un site pilote du projet NBRACER (projet Européen visant à promouvoir les solutions fondées sur la nature)

Aquifer drainage in the Garonne River during the summer period 2022

