

# Commission Locale de l'Eau élargie du 28 mai 2024 Compte-rendu

## Ordre du jour

Restitution de l'étude sur les volumes mobilisables réalisée par l'Agence de l'Eau Artois-Picardie

## Présents

Benoît ANQUEZ, Direction Départementale des Territoires et de la Mer du Pas-de-Calais  
Axel AUROUET, ANTEA  
Alain BAILLEUL, Syndicat des eaux des vallées du Gy et de la Scarpe  
Aurélien BEHAGUE, Douaisis Agglo  
Gabriel BERTEIN, Association Départementale des Maires du Pas-de-Calais  
Thierry BEUGNET, Association Sports et Loisirs Saint Laurent Blangy  
Thierry BEURRIER, ANTEA  
Jean-François BLONDEL, Département du Pas-de-Calais  
Damien BRICOUT, Communauté de Communes des Campagnes de l'Artois  
Catherine CADIX, Syndicat mixte du SCoT du Grand Douaisis  
Philippe CARTON, Communauté de Communes des Campagnes de l'Artois  
Patrick COEUGNET, Association Départementale des Maires du Nord  
Alexandre COGNON, Panel citoyen  
Christophe DE GUILLEBON DE RESNES, Syndicat de la Propriété Privée Rurale du Pas-de-Calais  
Francis DELASSUS, Panel citoyen  
Florence DESMARETZ, Direction Départementale des Territoires et de la Mer du Pas-de-Calais  
Alexia DUFOUR, Communauté de Communes des Campagnes de l'Artois  
Bernard DUHANEZ, Fédération Départementale des Associations Agréées pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique du Pas-de-Calais  
Gérard FLEURBAEY, Association Départementale des Maires du Pas-de-Calais  
Coralie FLEURQUIN, SAGE Scarpe amont  
Daniel GARIN, Panel citoyen  
Prisca GAUBERT, VEOLIA Eau  
Vincent GIBOT, Communauté urbaine d'Arras  
Claudine JOALLAND, Conservatoire des Espaces Naturels Hauts-de-France  
Sylvie JONIAUX, Communauté de Communes Osartis-Marquion  
Aurélie LEBORGNE, Conseil Départemental du Nord  
Delphine LEFEBVRE, Communauté de Communes des Campagnes de l'Artois  
Nadège LE GENTIL, Panel citoyen  
Baptiste LEMIRRE, Communauté urbaine d'Arras  
Christophe MANO, Communauté urbaine d'Arras  
Michel MATHISSART, Conseil Départemental du Pas-de-Calais  
Vincent MERCIER, Conservatoire des Espaces Naturels Hauts-de-France  
Eric NOREZ, Association Départementale des Maires du Pas-de-Calais  
Christian PARSY, SCoT de l'Arrageois

Stéphanie PASQUET, Agence de l'eau Artois-Picardie  
Jean-Noël ROCHE, Communauté de Communes Osartis-Marquion  
Louis-André ROHART, Syndicat des pisciculteurs Hauts-de-France  
Georges SENECAUT, Nord Nature Environnement  
Michel SEROUX, Association des Maires du Pas-de-Calais  
Thierry SPAS, Communauté urbaine d'Arras  
Raymond VENDEVILLE, Panel citoyen  
Karine VALLEE, Agence de l'Eau Artois-Picardie  
Claudine VICTOR, Association Départementale des Maires du Pas-de-Calais  
Béatrice WOZNIAK, Communauté urbaine d'Arras

### **Excusés**

Isabelle AIX, Panel citoyen  
Olivier BAYLE, Association Sports et Loisirs Saint Laurent Blangy  
Catherine BLOT, Douaisis Agglo  
Valérie BREBION, Panel citoyen  
Hubert BRISSET, Chambre interdépartementale d'agriculture du Nord-Pas-de-Calais  
Jacques DELAHAYE, Panel citoyen  
Gérald DELANNOY, Voies Navigables de France  
Valérie DUBOST, Communauté urbaine d'Arras  
Etienne DUCHATEAU, Association Départementale des Maires du Pas-de-Calais  
Francis DUMARQUEZ, Chambre de Commerce et d'Industrie Hauts-de-France  
Jean-Paul FONTAINE, Douaisis Agglo  
Edouard GAYET, Direction Départementale des Territoires et de la Mer du Pas-de-Calais  
Pierre GEORGET, Association Départementale des Maires du Pas-de-Calais  
Pierre HERBAUT, Association Départementale des Maires du Pas-de-Calais  
Adeline LAFONTAINE, SAGE Scarpe aval  
Patrick LEMAIRE, Communauté urbaine d'Arras  
Sophie MERLIER-LEQUETTE, Conseil Régional Hauts-de-France  
Arnold NORMAND, Communauté urbaine d'Arras  
Christian POIRET, Conseil Départemental du Nord  
Paul RAOULT, NOREADE SIDEN SIAN  
Jean-Pierre PUCHOIS, Association Départementale des Maires du Pas-de-Calais  
Françoise ROSSIGNOL, SCoT de l'Arrageois  
Bernard TROIN, Syndicat des pisciculteurs Hauts-de-France  
Benoit VALLET, Agence Régionale de Santé des Hauts-de-France

### **Diffusion**

Gérard BARBIER, UFC Que Choisir  
Jacques BILLANT, Préfet du Pas-de-Calais  
Stéphane COMBLE, Communauté de Communes Osartis-Marquion  
Philippe DECARSIN, Association Campagnes Vivantes Saint Laurent Blangy  
Jean-Michel DESAILLY, Association Départementale des Maires du Pas-de-Calais  
Christian DURLIN, Chambre interdépartementale d'agriculture du Nord-Pas-de-Calais  
Bertrand GAUME, Préfet coordonnateur du bassin Artois-Picardie  
Pierre HOUBRON, Fédération des Chasseurs du Pas-de-Calais  
Julien LABIT, DREAL Hauts-de-France  
Laurent LEJEUNE, DREAL  
Marie-Céline MASSON, Voies Navigables de France  
Audrey MELONI, Association Départementale des Maires du Nord  
Dominique WANEGUE, NOREADE SIDEN SIAN

M. Spas accueille les participants et introduit la réunion.

Le Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux de la Scarpe amont a été approuvé par arrêté inter-préfectoral le 19 décembre 2023. Afin de prévenir les situations de tension autour de la ressource en eau, la Commission Locale de l'Eau (CLE) du bassin versant de la Scarpe amont a souhaité anticiper l'apparition de déséquilibres quantitatifs liés à la raréfaction de la ressource et à l'augmentation de la demande.

Pour ce faire, l'article 1 du règlement du SAGE fixe la répartition des volumes globaux prélevables entre usages. Elle entrera en vigueur le 1<sup>er</sup> janvier 2026. Dans l'intervalle, une étude quantitative doit être menée sur notre bassin versant pour affiner les volumes énoncés dans la règle et les asseoir sur une réalité physique.

Cette étude quantitative, dite **HMUC**, permettra de

- |  |                          |
|--|--------------------------|
| - caractériser le fonctionnement de la ressource                   | <b>H</b> pour hydrologie |
| - en prenant en compte les besoins des milieux (actuels et futurs) | <b>M</b> pour milieux    |
| - et les demandes des usagers (actuelles et futures)               | <b>U</b> pour usages     |
| - dans un contexte de dérèglement climatique                       | <b>C</b> pour climat     |

L'appel d'offres pour choisir le bureau d'études qui accompagnera la Commission Locale de l'Eau dans ces travaux a été lancé mi-mai par la Communauté urbaine d'Arras, structure porteuse du SAGE de la Scarpe amont. L'attribution est prévue à la rentrée pour un démarrage de la mission à l'automne.

Dans une première approche et à une échelle plus large, une étude hydrogéologique sur les volumes mobilisables a été réalisée par l'Agence de l'Eau Artois-Picardie, dans un objectif d'estimation des volumes mobilisables, notamment dans le cadre des demandes croissantes pour l'irrigation.

Afin d'en partager largement les résultats, cette CLE élargie a été organisée. La diversité des structures représentées témoigne de l'importance de l'enjeu pour l'aménagement de notre territoire ou plutôt le ménagement de notre territoire. Ménager notre territoire, c'est :

- l'ancrer dans sa géographie - le H d'hydrologie, le territoire « bassin versant » qui dépasse et rassemble au-delà des frontières administratives
- prendre soin du vivant - le M de milieux et le U de usages car l'homme fait partie intégrante de la nature
- nous adapter au changement climatique - le C de climat, le C de carbone mais aussi le C de coopération, qui sera assurément une des clés de réussite de la mise en œuvre du SAGE en général et de la règle sur les volumes prélevables en particulier.

Mme Vallée de l'Agence de l'Eau Artois Picardie et M. Aurouet d'ANTEA présentent le diaporama ci-dessous.



## ÉTUDE HYDROGÉOLOGIQUE RELATIVE À L'ESTIMATION DES VOLUMES MOBILISABLES PROVISOIRES ANNUELS

*Présentation de la méthode et application sur le SAGE  
Scarpe amont*



28 mai 2024

# Rappel du contexte de l'étude et de l'articulation avec les HMUC

*Agence de l'eau Artois Picardie*

## Carte des territoires en tension dans le SDAGE



### Disposition B-2.3 : Définir un volume disponible

Les SAGE sont invités à définir leurs volumes disponibles par sous bassin et proposer une répartition par usages.

Si le volume disponible est inférieur ou proche des besoins du territoire à court ou moyen terme, et **a minima pour les territoires identifiés en tension quantitative à l'issue de l'étude sur la vulnérabilité quantitative de la ressource en eau sur le bassin Artois Picardie** (cf. carte « Territoires en tension quantitative à court, moyen ou long terme », partie 1.3 – Objectifs, Livret 4 - Annexes), les CLE des SAGE engagent la démarche suivante avant l'échéance du présent SDAGE(2027):

- Mise en place d'une structure de concertation entre les différents acteurs et usagers concernés ;
- Réalisation d'un diagnostic ;
- Elaboration concertée et partagée d'un plan d'actions et de règles de gestion des prélèvements.

Cette démarche peut être réalisée dans le cadre d'un Projet de Territoire pour la Gestion de l'Eau (PTGE) conformément à l'instruction gouvernementale du 7 mai 2019.

Plan eau : mesure 10 : trajectoire de sobriété par sous bassin d'ici 2027  
mesures 33 et 34 : pour chaque SAGE organisation du partage la ressource et définition des priorités d'usage et répartition par usage d'ici 2027

# Etude estimation Volumes mobilisables

(Etude MO AEAP/AMO BRGM réalisée par ANTEA)

- 6 SAGE prioritaires : Delta de l'Aa, Lys, Yser, Scarpe aval, Sensée et Haute-Somme
- 8 autres SAGE : Boulonnais, Canche, Authie, Somme aval, Marque-Deule, Scarpe amont, Escaut et Sambre

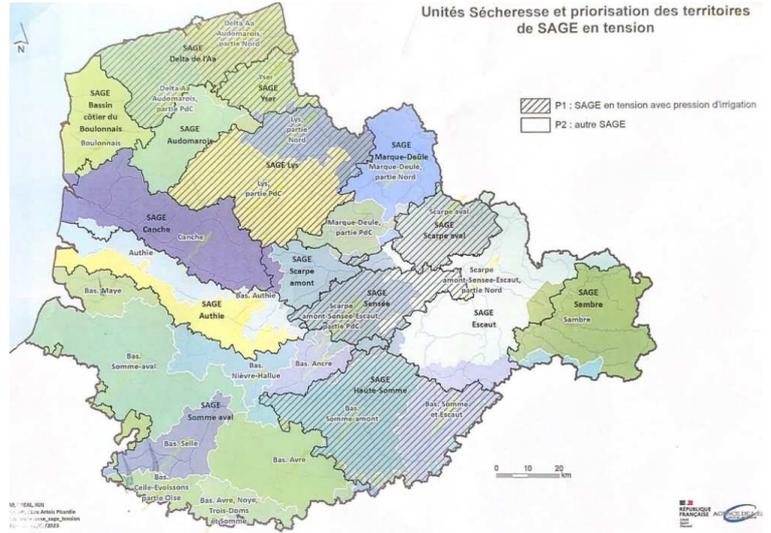
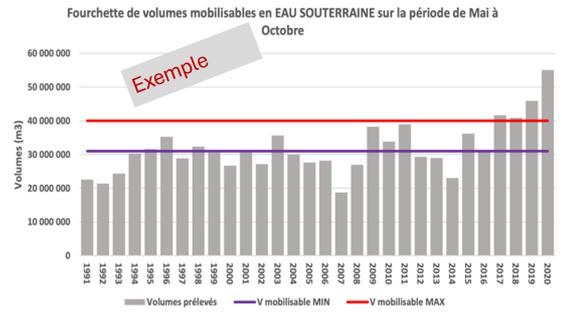
## Limites de l'exercice

- Basé sur analyse historique, pas de prospective du CC
- Méthode non adaptée sur nappes captives et de recharge extérieure
- Extrapolations à l'échelle des zones d'alerte liées à des manques de données de suivi

**Approche qualitative** consistant à faire le lien entre volumes prélevés, impacts et recharge hivernale => **gamme de valeurs pour encadrer l'incertitude**

« On considèrera qu'un volume prélevé est acceptable si on ne note pas de tendances d'évolution à la baisse, et/ou nombre de dépassements des seuils plus importants, et/ou augmentation de la durée des niveaux bas (sous les seuils) »

**Première estimation des volumes prélevables provisoires** → utiliser le terme de **mobilisable** car ne répond pas au décret



Préfet de bassin a demandé à la profession agricole d'adopter une gestion volumétrique de ses besoins en irrigation pour **début 2024** !



2023-2024

Début 2024 → 2027

Mi 2024 → 2026/2027

### Etude ANTEA : MO AEAP

- Recueil des données piézo, hydro, analyse statistique des chroniques
- Calculs de recharge selon différentes méthodes : Gardenia, SIM2...
- Données prélèvements sur 1991-2021
- Analyse des impacts : dépassements de seuils, assècs, solde piézo...
- Identification des données manquantes et propositions de suivis complémentaires pour HMUC

### Etudes HMUC : MO SAGE

#### Prestataire HMUC :

- Hydrologie : données ANTEA + jaugeages, campagnes piézométriques
- Milieux : mesures de débits, suivis milieux, profils en long des cours d'eau, côte, largeur... (prévoir options dans marché HMUC) → DMB
- Usages : compléments sur prélèvements, rejets, projection des usages
- Climat : Scénario GIEC 8,5, données GIEC 2024 et explore 2

#### SAGE :

- Fourniture des données ANTEA + prestataire HMUC au BRGM : éléments pour affiner le modèle sur le SAGE
- Élaboration des scénarios à modéliser

### Modélisation BRGM : MO AEAP

- Remise à niveau globale du modèle sur le bassin
- Affinage sur les SAGE de la craie au fur et à mesure des études HMUC
- Modélisation des scénarios sur chaque SAGE
- Détermination des volumes prélevables

**Fourchette de volume mobilisable basé sur analyse historique** → aide à la décision pour Services de l'Etat pour déterminer les volumes dédiés à l'irrigation dans l'AOB sécheresse en 2024

[Lien vers guide PTGE 2022](#)

**Volume prélevable (décret 2021-795)** pouvant être prélevé 8 années sur 10 en période de basses eaux dans le milieu naturel en respectant le bon fonctionnement des milieux aquatiques

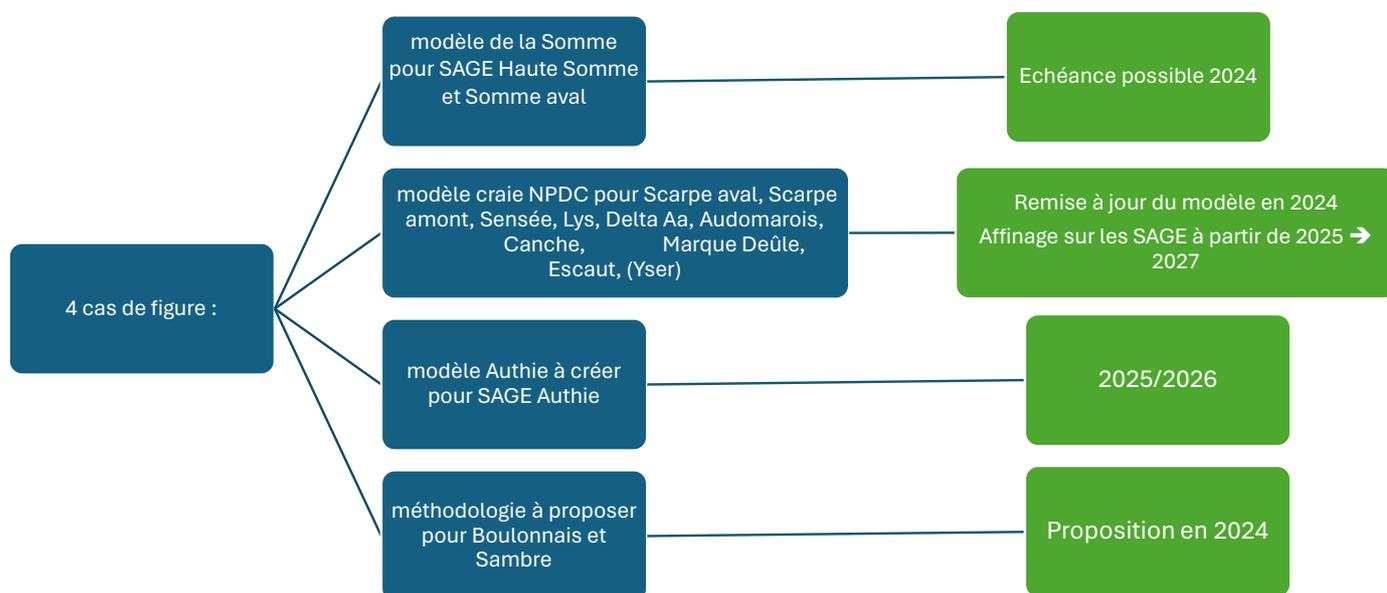
**MO SAGE :**  
Répartition par usage  
Règles de gestion dans le règlement du SAGE

## Mission du BRGM

Utilisation de modèles maillés sur la nappe de la craie pour modéliser différents scénarios sur les SAGE incluant des conditions climatiques et de prélèvement actuel et futur

Phase de remise à jour ou création de modèles

Phase d'affinage et d'utilisation du modèle SAGE/SAGE



## Rappel des enjeux, objectifs et méthodes de l'étude

*pour la définition de Volumes mobilisables provisoires sur l'ensemble du territoire de l'Agence de l'eau Artois Picardie*

# Objectifs - Quelle(s) méthode(s) ?

*Définir des Volumes mobilisables provisoires par une approche qualitative et homogène entre les territoires, basée sur l'analyse de l'historique*

## Approche qualitative consistant à faire le lien entre volumes prélevés, impacts et recharge hivernale

- « On considérera qu'un volume prélevé est acceptable si on ne note pas de tendances d'évolution à la baisse, et/ou un nombre de dépassements des seuils plus importants, et/ou une augmentation de la durée des niveaux bas (sous les seuils) »

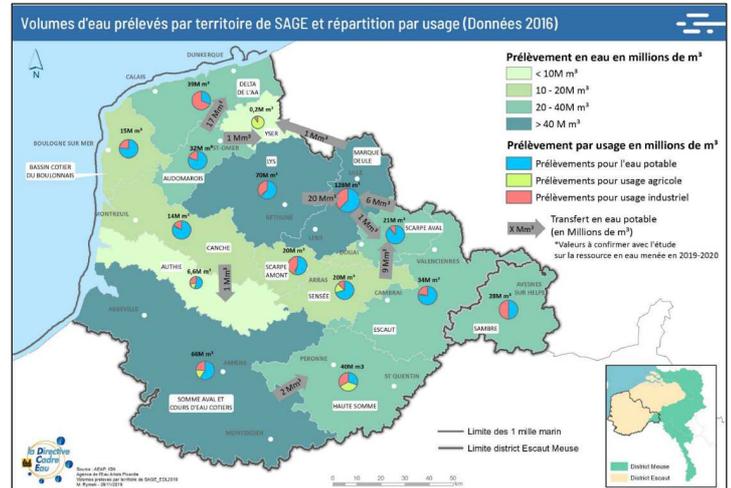
=> **gamme de valeurs pour encadrer l'incertitude**

## Variables étudiées pour mesurer l'impact

- Seuils de gestion (débits, niveaux)
- QMNA5 / HMNA5 si stations non réglementaires
- Assecs (réseau ONDE)
- Solde piézométrique (vidange - recharges apparentes)

## Volumes définis valables pour une configuration donnée

- Répartition prélèvements par milieu (ESU / ESO)
- Répartition usages (IRR / IND / AEP)
- Distribution géographique des points de prélèvements
- Imports / Exports
- ...



# Quelles conditions d'application de l'approche ?

*Hydrosystèmes, recouvrement, cyclicité et représentativité*

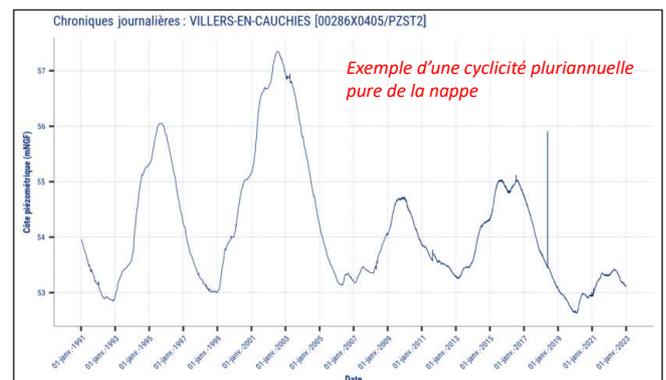
## Aquifères à nappe libre

- Drainés par les cours d'eau
- À cyclicité saisonnière ou mixte

## Recharge par les précipitations au droit de la zone d'alerte

- Contre exemples : SAGE Yser, Delta Aa pour partie

## Stations de surveillance représentatives de la zone d'alerte en termes de superficie, de fonctionnement hydrogéologique et de pressions





# Le territoire

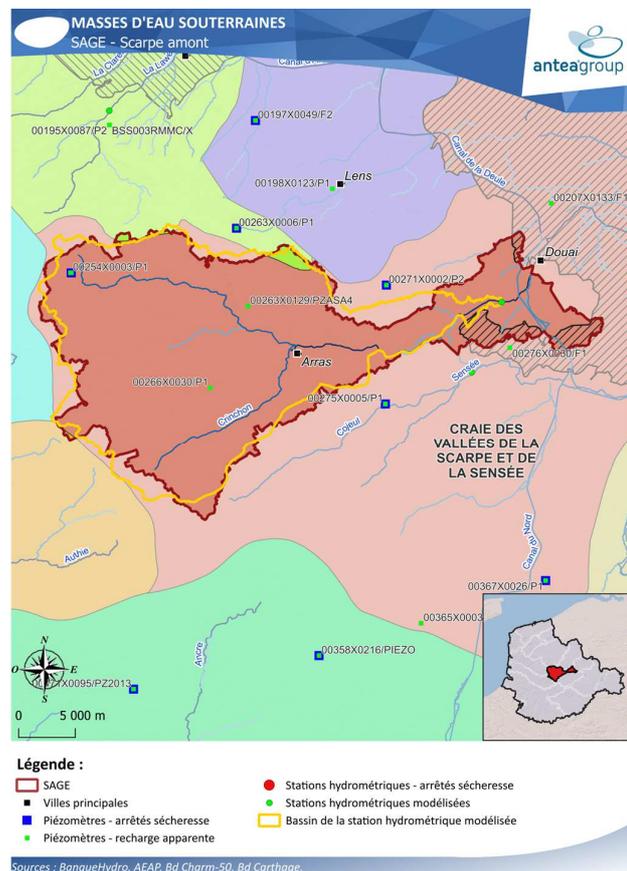
## Le territoire de la Scarpe amont

*2 départements, 1 masse d'eau souterraine principale et 1 unité sécheresse principale*

- ✓ La principale, Craie des vallées de la Scarpe et de la Sensée, qui couvre une grande partie du territoire en partie centrale sur près de 550 km<sup>2</sup> (99 %)
- ✓ 1 masse d'eau à la craie périphérique :
  - La Craie de l'Artois et de la vallée de la Lys, d'extension très limitée, sur la bordure extrême Nord du SAGE, sur près de 5,5 km<sup>2</sup> (1 %)

A noter, la présence localisée des sables du Landénien d'Orchies à l'extrême Est du territoire, qui viennent en recouvrement de la craie sur une faible superficie de 20 km<sup>2</sup> (4 %)

Département du Pas-de-Calais pour l'essentiel et  
département du Nord pour une petite partie



# Le territoire de la Scarpe amont

2 départements, 1 masse d'eau souterraine principale et 1 unité sécheresse principale

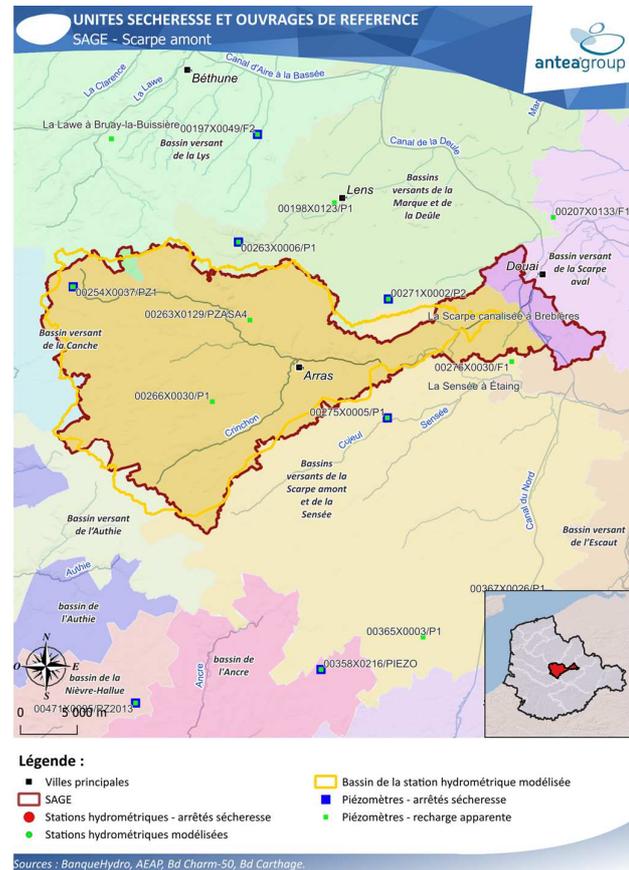
Une **unité sécheresse principale** présente sur le territoire du SAGE (bassins versants de la Scarpe amont et de la Sensée) qui couvre 93% du territoire

Une **unité sécheresse secondaire**, d'extension plus limitée, au Sud (bassin versant de la Scarpe aval) qui couvre 7% du territoire

Unité sécheresse	% concerné sur le SAGE
Bassin versant de la Scarpe aval	7%
Bassins versants de la Scarpe amont et de la Sensée	93%

Les **ouvrages de références** de l'unité sécheresse principale, qui déterminent les seuils de prise d'arrêtés sécheresses, sont les suivants :

- ✓ **Piézométrie** : 2 ouvrages de référence, s'adressant tous deux à la Craie des vallées de la Scarpe et de la Sensée
  - 00254X0037/PZ1, situé à l'Ouest sur le territoire du SAGE
  - 00275X0005/P1, situé sur le SAGE voisin de la Sensée
- ✓ **Hydrométrie** : Une seule station hydrométrique de référence, située sur le territoire du SAGE voisin de l'Escaut : [station de L'Ecaillon à Thiant](#)



## Déploiement de la méthode

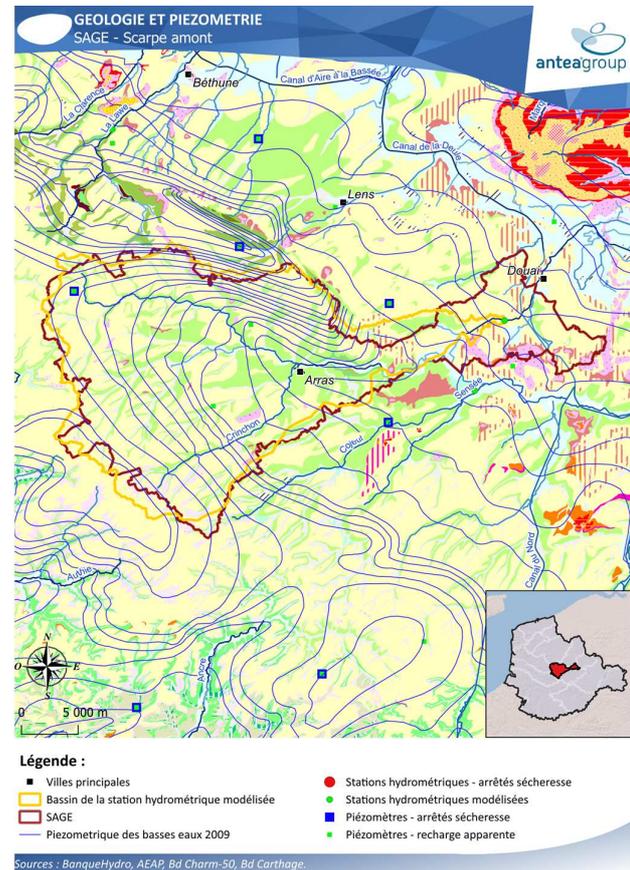
Analyses réalisées



# Analyse réalisée sur les données

## sur l'ensemble des compartiments

<p><b>Sur la ressource en eaux souterraines</b></p>	<p>Variations piézométriques mensuelles, annuelles et interannuelles Tendance piézométrique sur les 30 dernières années Cyclicité et périodes de cycles piézométriques Franchissement de seuils statistiques classiques (HMNA<sub>5</sub>, HCN<sub>3</sub> 5) Franchissement des seuils d'arrêtés sécheresse Evaluation de la recharge apparente (delta de niveaux entre hautes eaux &amp; basses eaux) et de la vidange apparente qui la précède.</p>
<p><b>Sur la ressource en eaux de surface</b></p>	<p>Variations de débit mensuelles, annuelles et interannuelles Franchissement de seuils statistiques classiques (QMNA<sub>5</sub>, VCN<sub>3</sub> 5) Franchissement des seuils d'arrêtés sécheresse Evaluation des étiages sur les stations hydrométriques Analyse des résultats du réseau ONDE (assecs)</p>
<p><b>Sur la recharge et les événements climatiques</b></p>	<p>Analyse des recharges pluviométriques sur la base de la chaine SIM2 (Safran – ISBA – MODCOU) Analyse des recharges à travers des mise en œuvre de modèles GARDENIA sur des bassins versants cibles Analyse des recharges par la méthode de WALLINGFORD Analyses statistiques des fréquences de retour sur les recharges</p>
<p><b>Sur les prélèvements</b></p>	<p>Analyse des prélèvements annuels et sur les périodes de basses eaux de mai à octobre Analyse des prélèvements par type de ressource sollicitée Analyse des prélèvements par type d'usage</p>

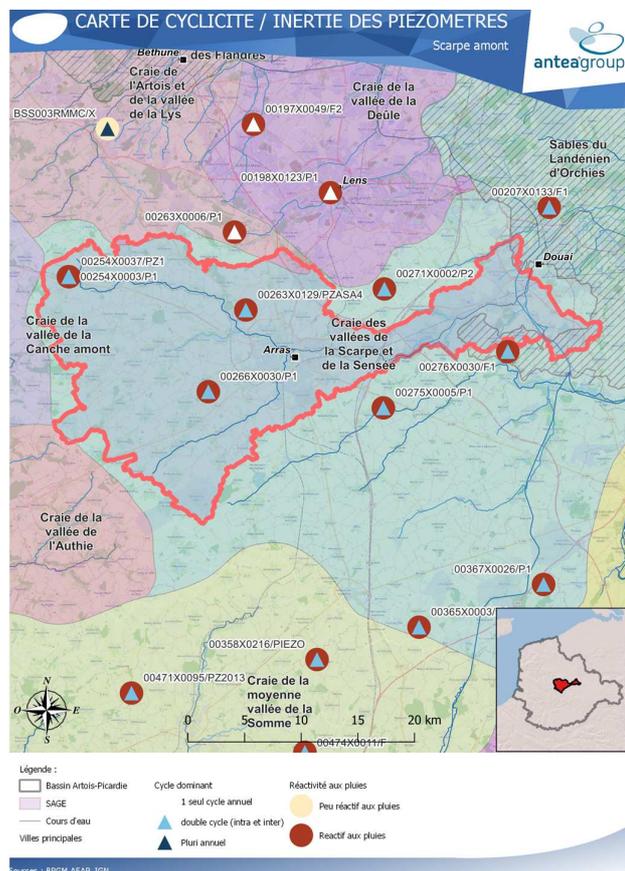


# Fonctionnement des hydrosystèmes

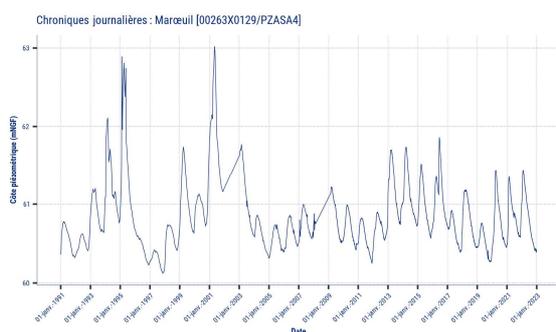
# Scarpe amont : un fonctionnement de l'hydrosystème homogène pour la masse d'eau principale

La nappe de la Craie des vallées de la Scarpe et de la Sensée présente une **double cyclicité** avec sensibilité aux événements climatiques de l'année.

En revanche, celle de la Craie de l'Artois et de la vallée de la Lys en limite Nord présente une **cyclicité annuelle** avec sensibilité aux événements climatiques de l'année (cf. 00263X0006/P1 sur Marque-Deûle).

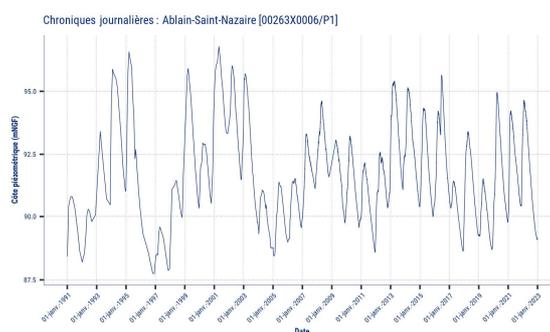


# Scarpe amont : un fonctionnement de l'hydrosystème homogène pour la masse d'eau principale



Craie des vallées de la Scarpe et de la Sensée

**Double cyclicité** avec sensibilité aux événements climatiques de l'année



Craie de l'Artois et de la vallée de la Lys

**Cyclicité annuelle** avec sensibilité aux événements climatiques de l'année

# Scarpe amont : pas de tendance récente à la baisse ou à la hausse des niveaux piézométriques de la craie

Piézomètres à la Craie des vallées de la Scarpe et de la Sensée

## Depuis les années 1970

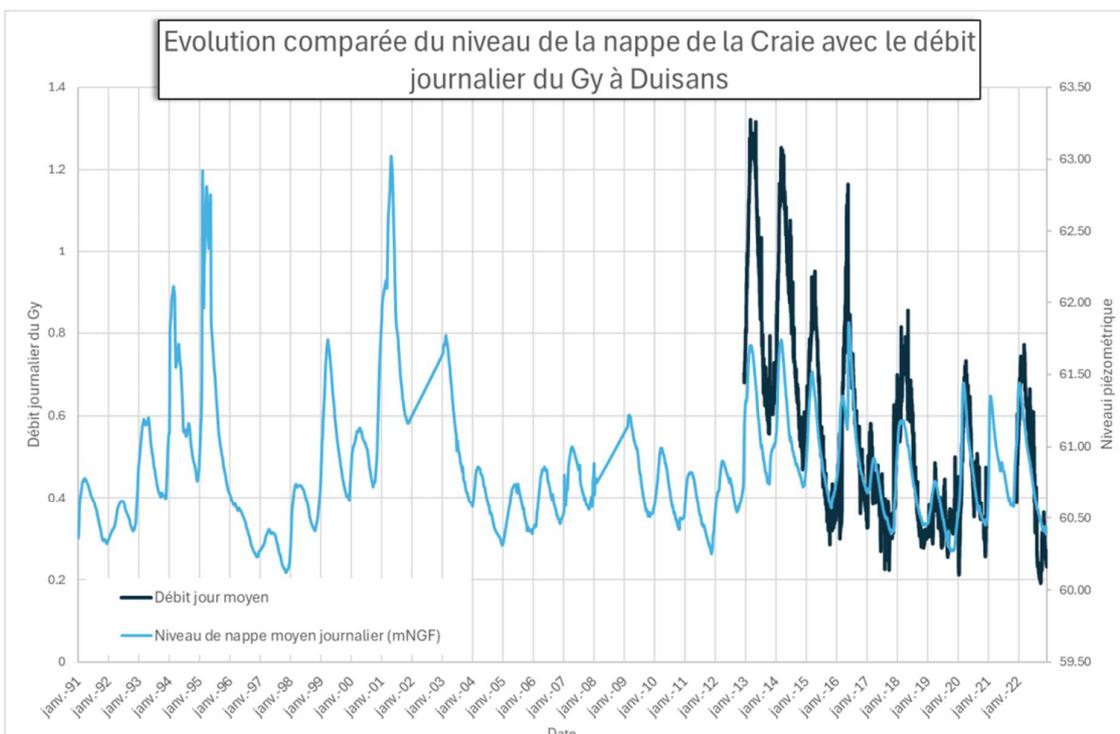
Piézomètre	Niveau moyen	P value global	Chronique lissée	Tendance globale	Significativité globale	Périodes	Tendances avec ruptures
BSS000CLBA 00234X0037/PZ1	103,8 m	0.0735		X	non significatif	janv. 1970 - avr. 1979 avr. 1979 - mai 2023	X -2.4 cm/an
BSS000CMBL 00234X0037/PZ4	60,9 m	0.4857		X	non significatif	janv. 1974 - août 1978 août 1978 - mai 2023	+11.4 cm/an -0.5 cm/an

## Depuis les années 1991

Piézomètre	Niveau moyen	P value global	Chronique lissée	Tendance globale	Significativité globale	Périodes	Tendances avec ruptures
BSS000CLBA 00234X0037/PZ1	103,8 m	0.096		X	non significatif	janv. 1991 - janv. 1999 janv. 1999 - déc. 2022	X X
BSS000CMBL 00234X0037/PZ4	60,9 m	0.1374		X	non significatif	janv. 1991 - mars 1999 mars 1999 - déc. 2022	X X

Understanding today. Improving tomorrow.

# Scarpe amont : une intrication entre les eaux souterraines et les eaux de surface



Understanding today. Improving tomorrow.

# Scarpe amont : une intrication entre les eaux souterraines et les eaux de surface durant les étiages

## Chroniques journalières : Marœuil [00263X0129/PZASA4]

Le Gy à Duisans : [E201000301]

Evolution des débits journaliers de l'année 2017 vis-à-vis du seuil d'étiage [Q15 = 326 (l/s)]



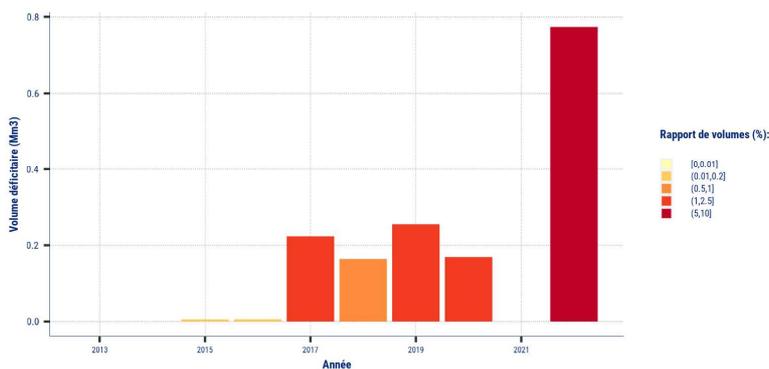
Le Gy à Duisans : [E201000301]

Evolution des débits journaliers de l'année 2022 vis-à-vis du seuil d'étiage [Q15 = 326 (l/s)]



Le Gy à Duisans : [E201000301]

Evolution des volumes déficitaires d'étiage sur la période [2013-2022] et classes de rapport (%) au volume annuel écoulé



Source : Hub Eau

© 2022 Hub Eau - Tous droits réservés

# Evaluation des recharges annuelles

# Sur les recharges : Scarpe amont

à partir des méthodes SIM2 – GARDENIA & WALLINGFORD

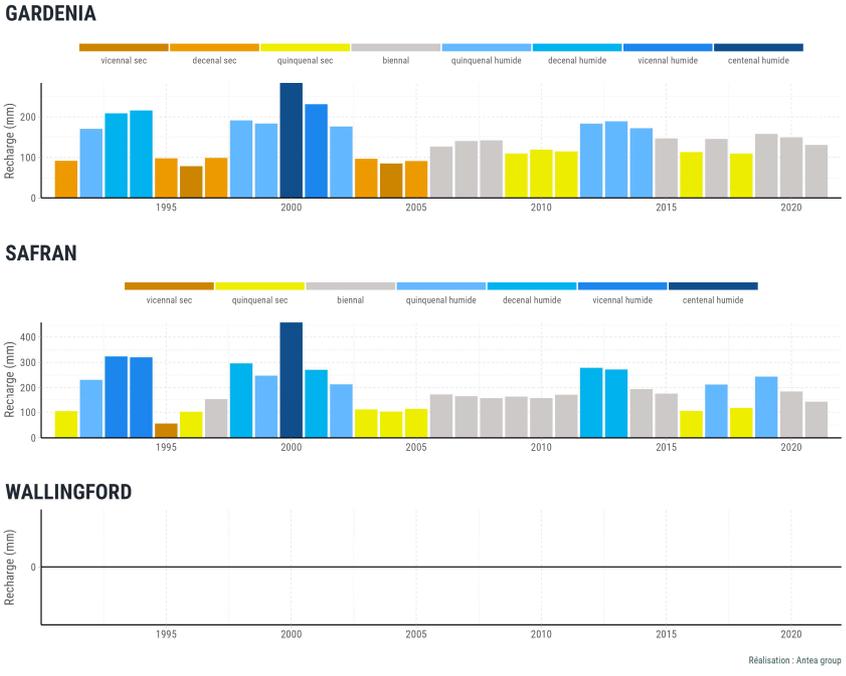
Une recharge finale pour la craie à l'échelle du SAGE estimée à 146 mm/an en moyenne pour un volume moyen de recharge à la craie de 81 Mm3 pour le SAGE (63 Mm3 pour une quinquennale sèche = 1 année sur 5)

Une forte hétérogénéité dans les typologies entre les 2 méthodes SAFRAN et GARDENIA, avec 39% de correspondance (WALLINGFORD non évalué du fait de la faible complétude de données pour l'application de cette méthode).

Une forte hétérogénéité dans les valeurs obtenues avec une surestimation importante pour SAFRAN.

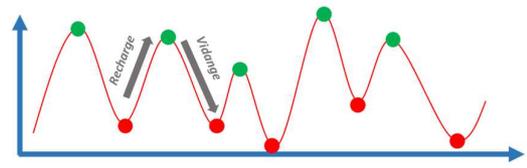
Les années hydrologiques de plus faibles recharges sont 1995-1997, 2003-2005, dans une moindre mesure 2009-2011, 2016 et 2018.  
Les plus élevées concernent les années hydrologiques 1992-1994, 1998-2002, 2012-2014, ainsi que 2017 et 2019 (SAFRAN).

Typologie de la recharge (Période d'analyse : Mai à octobre)  
SAGE Scarpe amont - E207111003 La Scarpe canalisée à Brebières

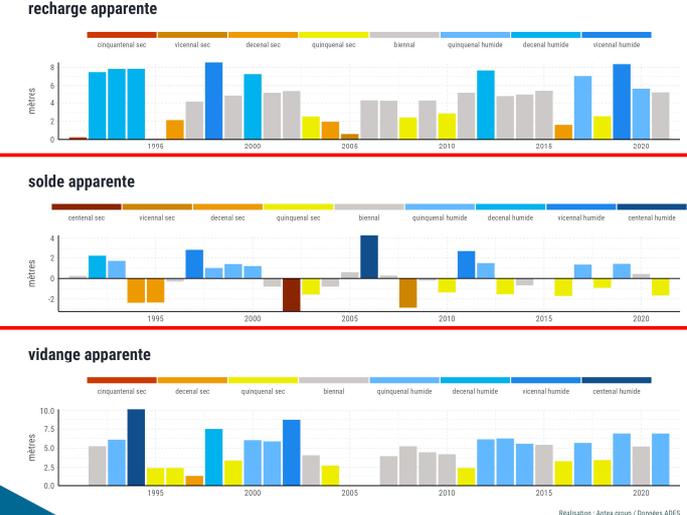


# Sur les recharges : Scarpe amont

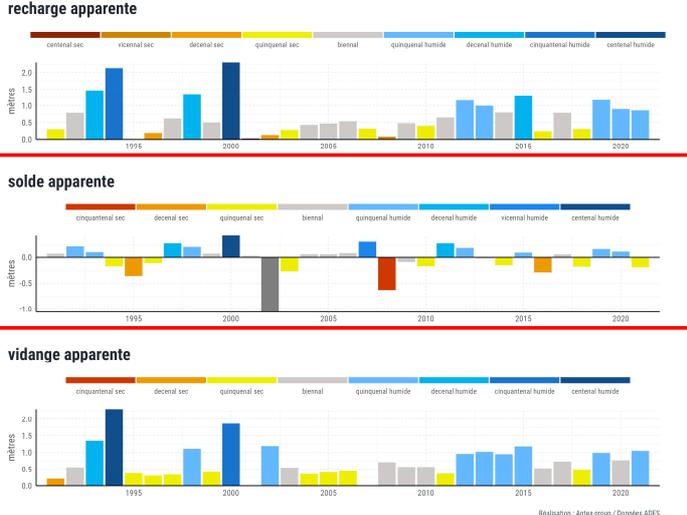
Cohérence satisfaisante avec les recharges « apparentes », aux cyclicités près



SAGE Scarpe amont - Piézomètre 00254X0037/PZ1  
Craie des vallées de la Scarpe et de la Sensée



SAGE Scarpe amont - Piézomètre 00263X0129/PZSA4  
Craie des vallées de la Scarpe et de la Sensée



$$\text{Recharge} - \text{vidange} = \text{Solde}$$



Des alternances de soldes positifs et négatifs pour l'ensemble de la Craie avec des vidanges déficitaires souvent moins fréquentes mais fréquemment plus fortes quand elles apparaissent que les recharges excédentaires.



# Observations sur les ressources

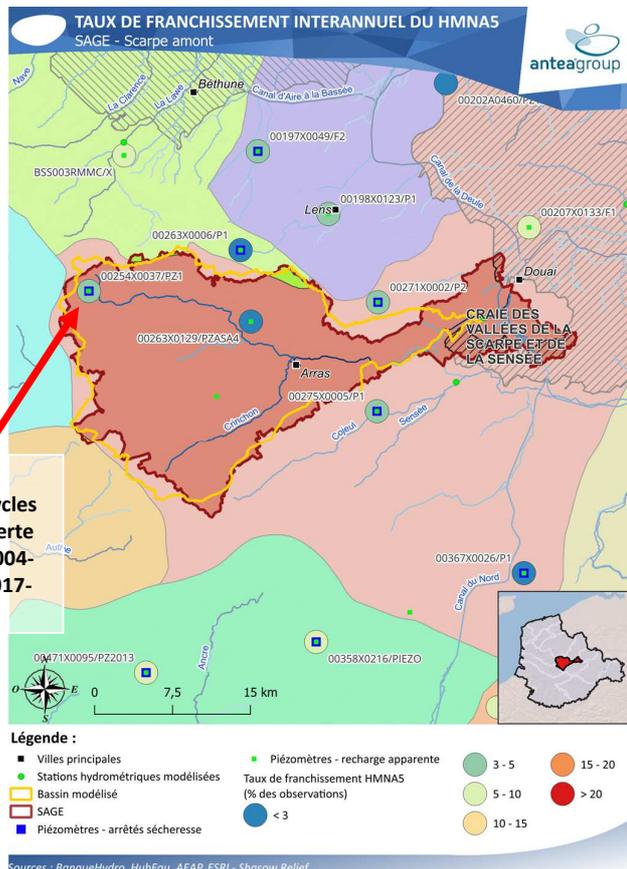
## Sur la ressource : Scarpe amont

Piézométrie – taux de franchissement HMNA5 et seuils des arrêts sècheresse

**Statistique**      **Vigilance**      **Alerte**      **Crise**  
PIEZOMETRIE - Taux de franchissement du HMNA5 (%)      PIEZOMETRIE - Franchissement des seuils d'arrêtés sècheresse

Année civile	Année hydrologique (Octobre à Mai)	Piézométrie		Piézométrie - Franchissement des seuils d'arrêtés sècheresse				
		00254X0037/P21 Craie des vallées de la Scarpe et de la Sensée	00263X0129/PZASA4 Craie des vallées de la Scarpe et de la Sensée	00254X0037/P21 Craie des vallées de la Scarpe et de la Sensée	00254X0037/P21 Craie des vallées de la Scarpe et de la Sensée	00254X0037/P21 Craie des vallées de la Scarpe et de la Sensée	00254X0037/P21 Craie des vallées de la Scarpe et de la Sensée	00254X0037/P21 Craie des vallées de la Scarpe et de la Sensée
		Cyclicité Annuelle dominante	Cyclicité Annuelle dominante	Nombre de jours de franchissement du seuil de vigilance	Nombre de jours de franchissement du seuil de vigilance renforcée	Nombre de jours de franchissement du seuil d'alerte	Nombre de jours de franchissement du seuil d'alerte renforcée	Nombre de jours de franchissement du seuil de crise
1991	1990 - 1991			51	15	0	0	0
1992	1991 - 1992			46	31	18	3	0
1993	1992 - 1993			0	0	0	0	0
1994	1993 - 1994			0	0	0	0	0
1995	1994 - 1995			0	0	0	0	0
1996	1995 - 1996			48	44	34	7	0
1997	1996 - 1997			52	52	45	10	0
1998	1997 - 1998			34	5	1	0	0
1999	1998 - 1999			0	0	0	0	0
2000	1999 - 2000			0	0	0	0	0
2001	2000 - 2001			0	0	0	0	0
2002	2001 - 2002			0	0	0	0	0
2003	2002 - 2003			1	0	0	0	0
2004	2003 - 2004			239	131	0	0	0
2005	2004 - 2005	48		316	316	164	0	0
2006	2005 - 2006	32		350	182	89	64	0
2007	2006 - 2007	0		23	0	0	0	0
2008	2007 - 2008	0		0	0	0	0	0
2009	2008 - 2009	0		35	0	0	0	0
2010	2009 - 2010	0	0	84	0	0	0	0
2011	2010 - 2011	19	25	250	127	0	0	0
2012	2011 - 2012	1	0	55	10	0	0	0
2013	2012 - 2013	0	0	0	0	0	0	0
2014	2013 - 2014	0	0	0	0	0	0	0
2015	2014 - 2015	0	0	0	0	0	0	0
2016	2015 - 2016	0	0	0	0	0	0	0
2017	2016 - 2017	12	2	334	100	0	0	0
2018	2017 - 2018	0	0	9	0	0	0	0
2019	2018 - 2019	0	33	270	0	0	0	0
2020	2019 - 2020	0	0	0	0	0	0	0
2021	2020 - 2021	0	0	0	0	0	0	0
2022	2021 - 2022	0	1	90	0	0	0	0
MOYENNE 1991-2022								

Seuils franchis régulièrement par cycles en vigilance et en alerte notamment entre 2004-2006, 2010-2012, 2017-2019 et 2022



# Sur la ressource : Scarpe amont

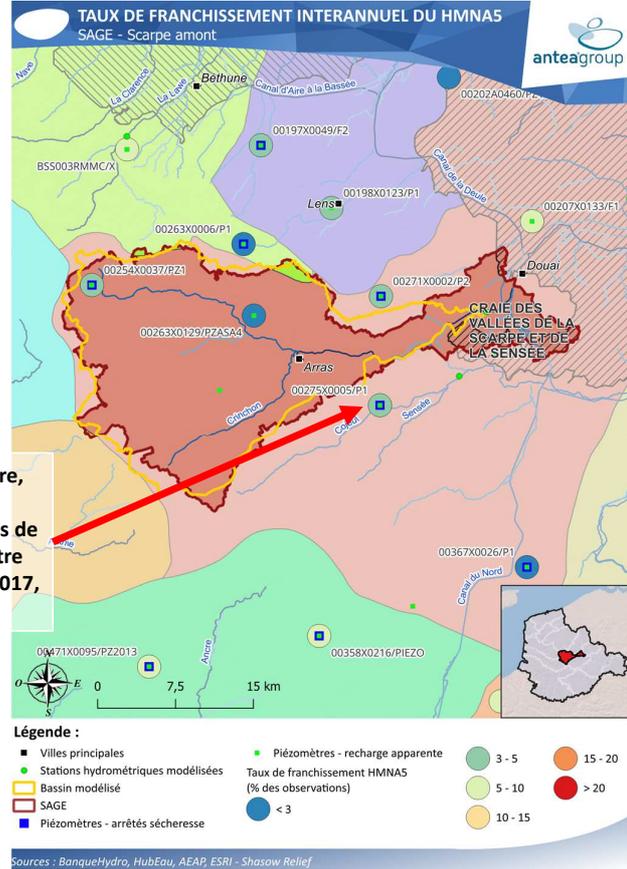
Piézométrie – taux de franchissement HMNA5 et seuils des arrêts sèche

Vigilance      Alerte      Crise

PIEZOMETRIE - Franchissement des seuils d'arrêts sèche

Année civile	Année hydrologique (Octobre à Mai)	Piézomètre 00275X0005/P1 Craie des vallées de la Scarpe et de la Sensée		Piézomètre 00275X0005/P1 Craie des vallées de la Scarpe et de la Sensée		Piézomètre 00275X0005/P1 Craie des vallées de la Scarpe et de la Sensée		Piézomètre 00275X0005/P1 Craie des vallées de la Scarpe et de la Sensée		Piézomètre 00275X0005/P1 Craie des vallées de la Scarpe et de la Sensée	
		Nombre de jours de franchissement du seuil de vigilance	Nombre de jours de franchissement du seuil de vigilance renforcée	Nombre de jours de franchissement du seuil d'alerte	Nombre de jours de franchissement du seuil d'alerte renforcée	Nombre de jours de franchissement du seuil de crise	Nombre de jours de franchissement du seuil de crise renforcée	Nombre de jours de franchissement du seuil de crise	Nombre de jours de franchissement du seuil de crise renforcée	Nombre de jours de franchissement du seuil de crise	Nombre de jours de franchissement du seuil de crise renforcée
1991	1990 - 1991	43	5	0	0	0	0	0	0	0	0
1992	1991 - 1992	43	41	7	0	0	0	0	0	0	0
1993	1992 - 1993	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1994	1993 - 1994	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1995	1994 - 1995	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1996	1995 - 1996	20	1	0	0	0	0	0	0	0	0
1997	1996 - 1997	37	37	27	17	0	0	0	0	0	0
1998	1997 - 1998	36	36	23	5	0	0	0	0	0	0
1999	1998 - 1999	5	2	0	0	0	0	0	0	0	0
2000	1999 - 2000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2001	2000 - 2001	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2002	2001 - 2002	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2003	2002 - 2003	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2004	2003 - 2004	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2005	2004 - 2005	51	31	0	0	0	0	0	0	0	0
2006	2005 - 2006	52	47	2	0	0	0	0	0	0	0
2007	2006 - 2007	68	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2008	2007 - 2008	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2009	2008 - 2009	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2010	2009 - 2010	38	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2011	2010 - 2011	340	219	22	0	0	0	0	0	0	0
2012	2011 - 2012	189	111	1	0	0	0	0	0	0	0
2013	2012 - 2013	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2014	2013 - 2014	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2015	2014 - 2015	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2016	2015 - 2016	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2017	2016 - 2017	185	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2018	2017 - 2018	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2019	2018 - 2019	291	162	0	0	0	0	0	0	0	0
2020	2019 - 2020	53	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2021	2020 - 2021	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2022	2021 - 2022	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MOYENNE 1991-2022											

Idem pour ce piézomètre, avec les cycles de franchissements de seuils de vigilance et d'alerte entre 2004-2007, 2010-2012, 2017, 2019 et 2020



# Sur la ressource : Scarpe amont

Hydrométrie – taux de franchissement QMNA5 et seuils des arrêts sèche

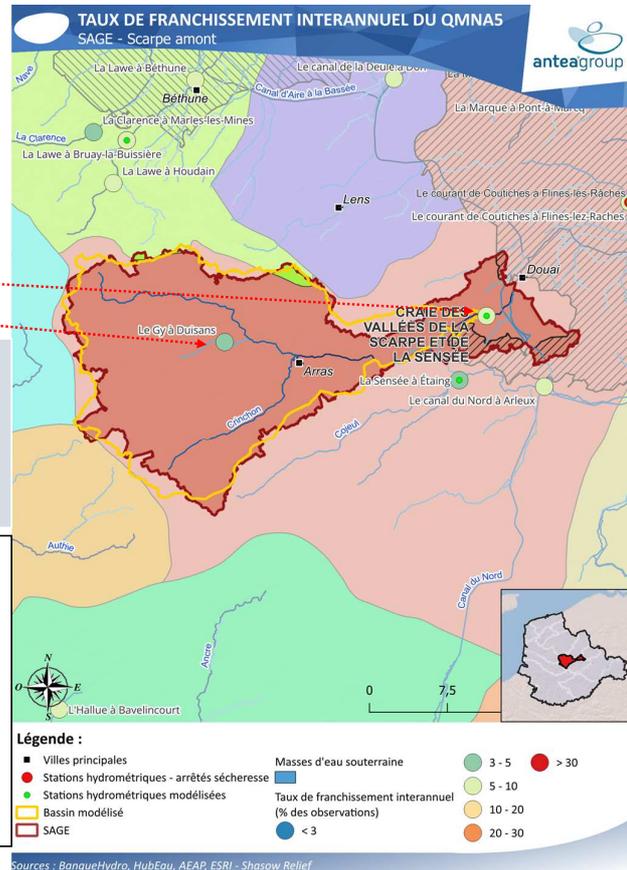
Statistique      Vigilance      Alerte      Crise

PIEZOMETRIE - Taux de franchissement du HMNA5 (%)      HYDROLOGIE - Nb jours de franchissement des seuils d'arrêts sèche

Année civile	Année hydrologique (Octobre à Mai)	La Scarpe canalisée à Brebrières		Le Gy à Duisans		PAS DE STATION HYDROLOGIQUE DE REFERENCE SITUÉE SUR LE TERRITOIRE DU SAGE (Station de l'Ecaillon à Thiant)						
		Nombre de jours de franchissement du seuil de vigilance	Nombre de jours de franchissement du seuil de vigilance renforcée	Nombre de jours de franchissement du seuil d'alerte	Nombre de jours de franchissement du seuil d'alerte renforcée	Nombre de jours de franchissement du seuil de crise	Nombre de jours de franchissement du seuil de crise renforcée	Nombre de jours de franchissement du seuil de crise	Nombre de jours de franchissement du seuil de crise renforcée	Nombre de jours de franchissement du seuil de crise	Nombre de jours de franchissement du seuil de crise renforcée	
1991	1990 - 1991					279	206	53	5	0		
1992	1991 - 1992					301	276	214	139	47		
1993	1992 - 1993					262	214	117	34	0		
1994	1993 - 1994					230	142	19	0	0		
1995	1994 - 1995					5	0	0	0	0		
1996	1995 - 1996					188	76	0	0	0		
1997	1996 - 1997					253	178	75	25	0		
1998	1997 - 1998					187	98	16	0	0		
1999	1998 - 1999					37	0	0	0	0		
2000	1999 - 2000					8	0	0	0	0		
2001	2000 - 2001					0	0	0	0	0		
2002	2001 - 2002					0	0	0	0	0		
2003	2002 - 2003					0	0	0	0	0		
2004	2003 - 2004					188	56	0	0	0		
2005	2004 - 2005	138				258	97	3	0	0		
2006	2005 - 2006	59				150	29	0	0	0		
2007	2006 - 2007	0				0	0	0	0	0		
2008	2007 - 2008	0				4	0	0	0	0		
2009	2008 - 2009	0				0	0	0	0	0		
2010	2009 - 2010	2				0	0	0	0	0		
2011	2010 - 2011	0				126	10	0	0	0		
2012	2011 - 2012	0				28	7	0	0	0		
2013	2012 - 2013	0				0	0	0	0	0		
2014	2013 - 2014	0				8	0	0	0	0		
2015	2014 - 2015	0	1			37	2	0	0	0		
2016	2015 - 2016	0	0			7	2	0	0	0		
2017	2016 - 2017	0	33			167	66	0	0	0		
2018	2017 - 2018	0	37			298	271	224	159	25		
2019	2018 - 2019	0	36			305	271	224	142	68		
2020	2019 - 2020	0	24			279	205	111	39	0		
2021	2020 - 2021	0	0			70	31	9	3	0		
2022	2021 - 2022	0	0			229	135	0	0	0		
MOYENNE 1991-2022		199	131									

QMNA5 franchis par cycles de manière variable sur les années récentes 2005-2006 (Scarpe canalisée), 2017-2020 (le Gy)

Des franchissements de seuils de vigilance des arrêts sèche réguliers sur l'Ecaillon à Thiant Moins de fréquence en seuils d'alertes (1991-1994, 1997-1998, 2018-2020) Et en seuils de crise (1992 et 2018-2019)

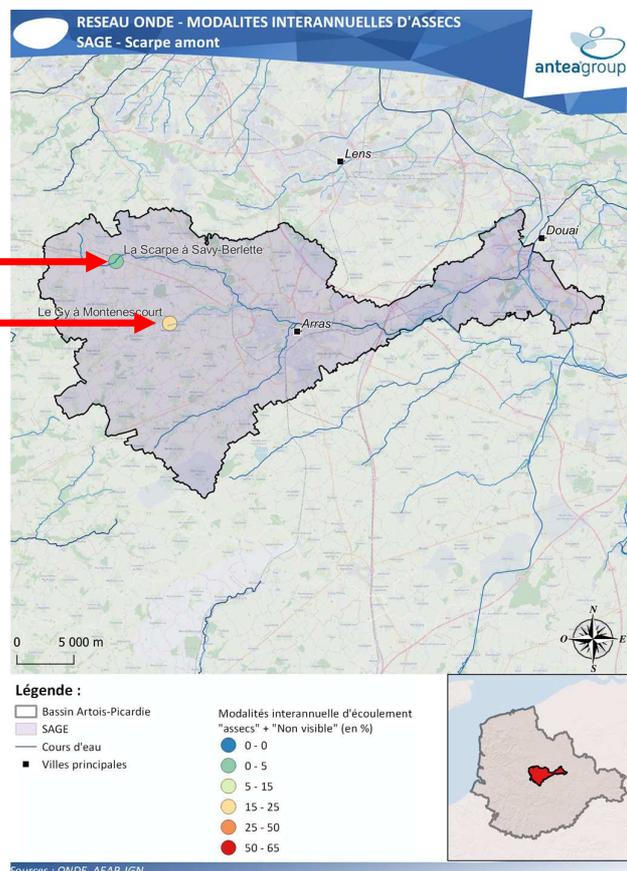


# Sur la ressource : Scarpe amont

Hydrométrie – Indicateurs d'assecs ONDE

Année civile	Année hydrologique (Octobre à Mai)	La Scarpe à Savy-Berlette	Le Gy à Montenescourt
1991	1990 - 1991		
1992	1991 - 1992		
1993	1992 - 1993		
1994	1993 - 1994		
1995	1994 - 1995		
1996	1995 - 1996		
1997	1996 - 1997		
1998	1997 - 1998		
1999	1998 - 1999		
2000	1999 - 2000		
2001	2000 - 2001		
2002	2001 - 2002		
2003	2002 - 2003		
2004	2003 - 2004		
2005	2004 - 2005		
2006	2005 - 2006		
2007	2006 - 2007		
2008	2007 - 2008		
2009	2008 - 2009		
2010	2009 - 2010		
2011	2010 - 2011		
2012	2011 - 2012	5	5
2013	2012 - 2013	0	0
2014	2013 - 2014	0	0
2015	2014 - 2015	0	0
2016	2015 - 2016	0	0
2017	2016 - 2017	2	7
2018	2017 - 2018	0	2
2019	2018 - 2019	0	9
2020	2019 - 2020	0	0
2021	2020 - 2021	0	0
2022	2021 - 2022	0	5
<b>MOYENNE 1991-2022</b>		<b>2</b>	<b>28</b>

Observations des assecs à l'écoulement sur les têtes de bassin versant depuis 2012



## Recensement des prélèvements



# Prélèvements : Scarpe amont

## à partir des données fournies (Agence)

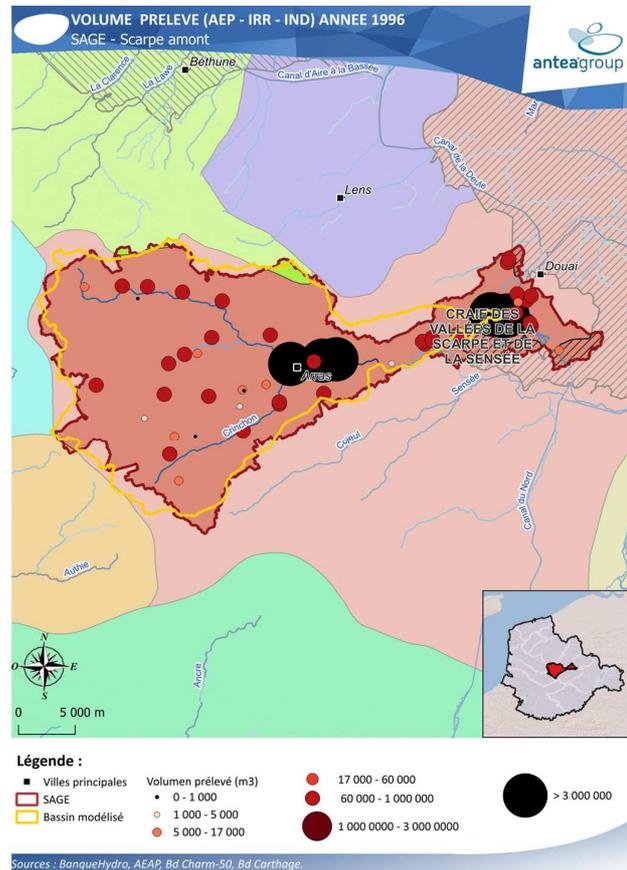
Les volumes prélevés au sein et au droit de la craie, sur l'ensemble du territoire du SAGE, s'établissent aux environs de 31,8 Mm<sup>3</sup> en moyenne sur la période 1991-2022

- Près de 62,6% en eaux superficielles (assez constants entre 1991 et 2006 – 33 Mm<sup>3</sup> / marqués par une forte diminution entre 2006 et 2015 / constant depuis aux environs de 3,6 Mm<sup>3</sup>, quasi exclusivement à usage industriel)
- Près de 37,4% en eaux souterraines (en diminution constante entre 1991 et 2011, suivi d'une augmentation régulière depuis 2011)

Les volumes prélevés au sein et au droit de la craie, sur mai à octobre s'établissent aux environs de 16,1 Mm<sup>3</sup> en moyenne sur la période 1991-2022, soit 51% des prélèvements annuels, avec une répartition entre eaux superficielles (48%) et eaux souterraines (52%) sensiblement différente de la répartition annuelle.

Sur la période 1991 à 2022, la répartition entre les usages en eaux souterraines au sein des formations crayeuses est la suivante :

- Pour l'alimentation en eau potable, 81 et 83% en annuel et en basses eaux, relativement constants (en annuel, 8,5 à 11,9 Mm<sup>3</sup> selon les années, avec une moyenne de 10,1 Mm<sup>3</sup>)
- Pour l'industrie près de 13% en annuel comme en basses eaux, en diminution régulière jusqu'en 2018 (minimum atteint à 700 000 m<sup>3</sup>, avec une forte remontée sur 2019-2022 (1,6 Mm<sup>3</sup> sur les 4 dernières années)
- Des prélèvements à usage agricole représentant 4% en annuel et 7% en basses eaux, en progression sensible jusqu'en 2015, mais en forte accélération depuis (248 000 m<sup>3</sup> sur 1993-2014, plus de 2,1 Mm<sup>3</sup> en 2022)

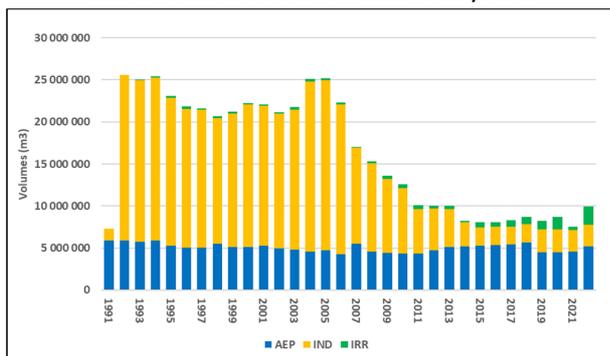


# Prélèvements : Scarpe amont

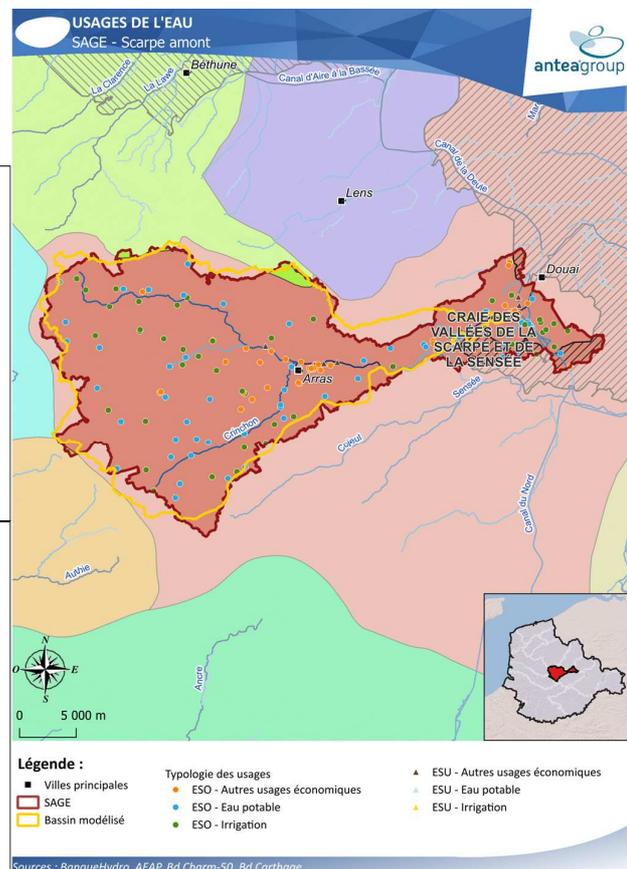
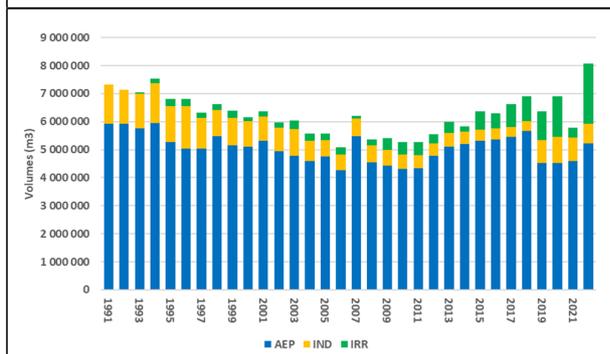
## à partir des données fournies (Agence)

Au sein et au droit des formations crayeuses

Evolution et répartition des volumes prélevés en eau (toutes ressources) sur la période de mai à octobre



Evolution et répartition des volumes prélevés en eau souterraine sur la période de mai à octobre

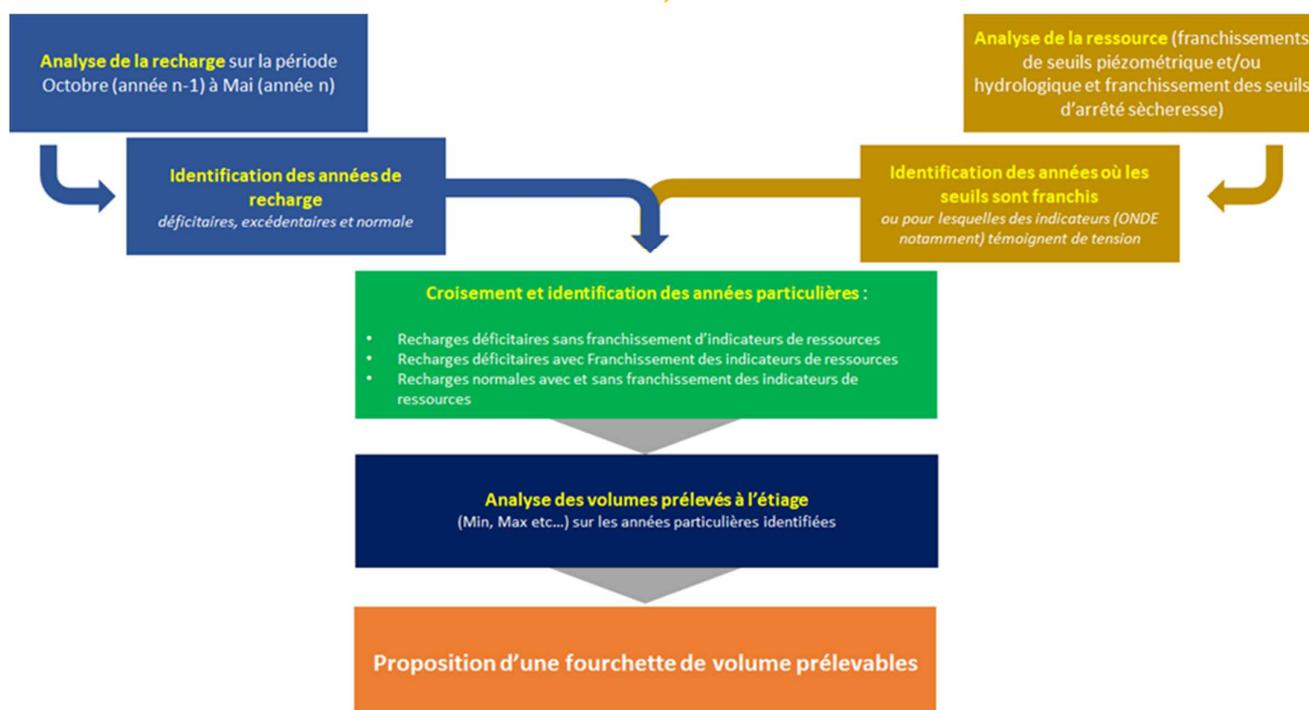


# Déploiement de la méthode

## Evaluation des volumes mobilisables provisoires

### Approche détaillée

à partir de l'ensemble des données et analyses réalisées

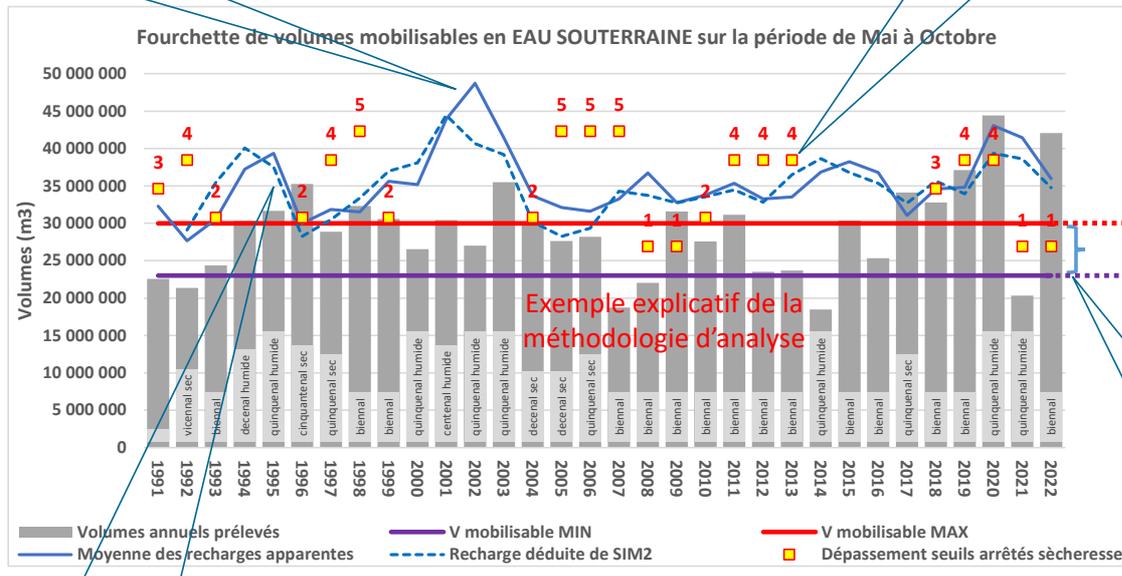


# Éléments synthétiques d'analyse

## Volumes et incidences sur la ressource

Recharge constatée de la nappe annuellement

Franchissement des seuils d'arrêt – constatée sur au moins 1 station (ESU ou ESO)  
 1 = vigilance  
 3 = Alerte  
 5 = crise



*Volume trop important*

*Volume à arbitrer selon la situation de la ressource*

*Volume acceptable*

Enveloppe de volume proposée (Min violet / Max rouge)

Recharge déduite par les données climatiques

Understanding today. Improving tomorrow.

# Définition des Volumes mobilisables provisoires

# Enveloppes de volume proposées : Scarpe amont

à partir de l'ensemble des données et analyses réalisées

Période et ressource concernée	Fourchette proposée	Equivalent en % de d'une recharge normale (biennale)	Equivalent en % de d'une recharge quinquennale sèche
VP en eaux souterraines sur la <u>période de basses eaux</u>	Entre 5.5 et 6.7 Mm3	Entre 7 et 8 %	Entre 8 et 10 %
VP en eaux souterraines sur la <u>période annuelle</u>	Entre 11 et 12.3 Mm3	Entre 14 et 15 %	Entre 17 et 19 %
VP en eaux de surface sur la <u>période de basses eaux</u>	<b>Sur les 12 dernières années</b> Prélèvements actuels en basses eaux # 2,5 Mm3 Prélèvements actuels annuels # 5,0 Mm3		
VP en eaux de surface sur la <u>période annuelle</u>			
VP toutes ressources confondues sur la <u>période de basses eaux</u>	Entre 5.5 et 6.7 Mm3	Entre 7 et 8 %	Entre 8 et 10 %
VP toutes ressources confondues sur la <u>période annuelle</u>	Entre 11 et 12.3 Mm3	Entre 14 et 15 %	Entre 17 et 19 %

Prélèvements superficiels identifiés au droit des formations crayeuses  
A noter : assez constant jusqu'en 2006, suivi d'une forte diminution des prélèvements industriels à partir de 2006 à 2015, stable aux environs de 3,6 Mm<sup>3</sup> (annuel) et 1,8 Mm<sup>3</sup> (basses eaux)

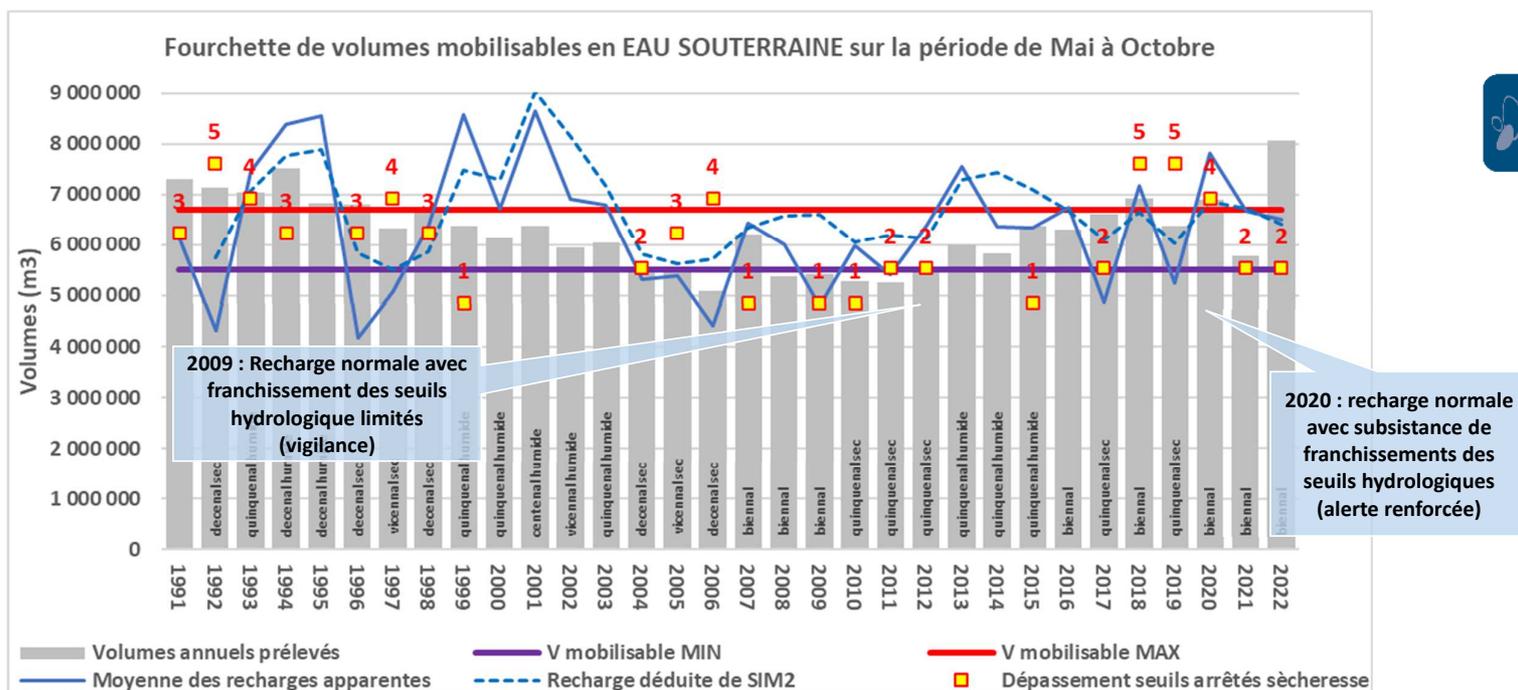
La recharge intégrée dans les statistiques correspond à :

- la recharge GARDENIA observée sur la station de la Scarpe canalisée à Brebières
- Pondérée par la surface de l'ensemble du territoire du SAGE

Understanding today. Improving tomorrow.

# Incidences sur les pratiques actuelles : Scarpe amont (ESO)

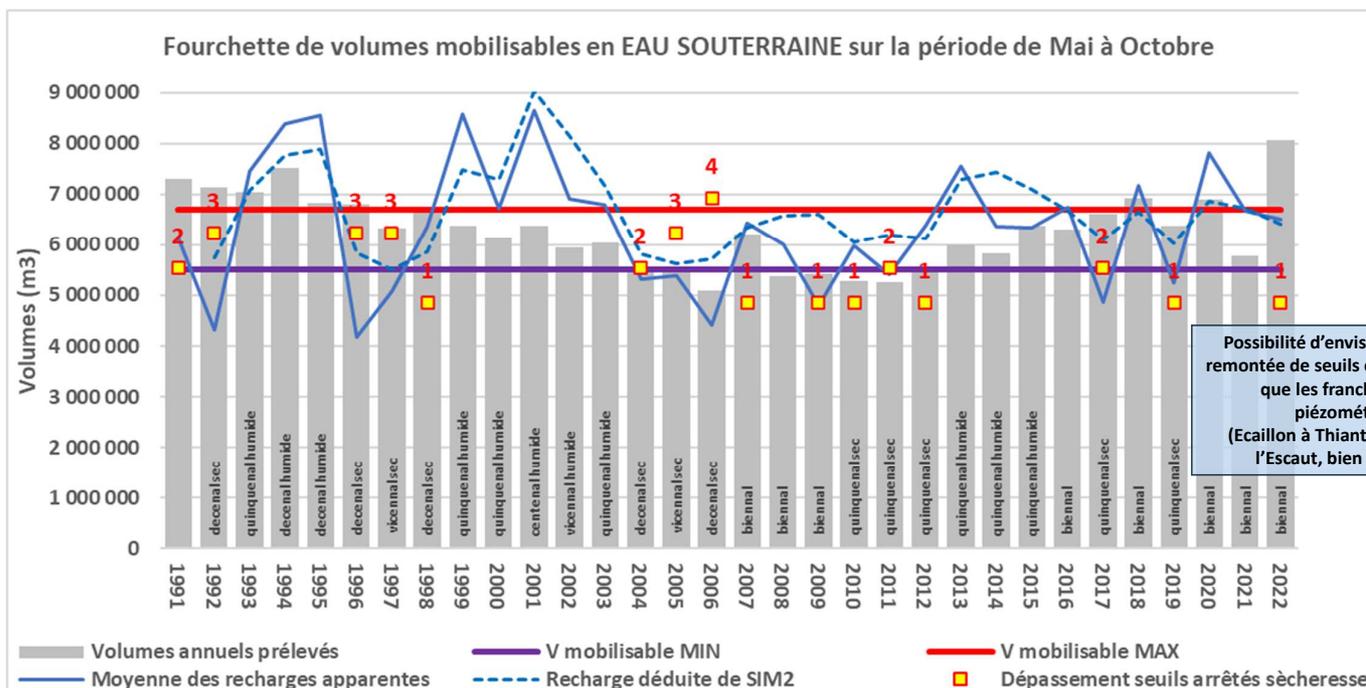
à partir de l'ensemble des données et analyses réalisées



Understanding today. Improving tomorrow.

# Incidences sur les pratiques actuelles : Scarpe amont (ESO)

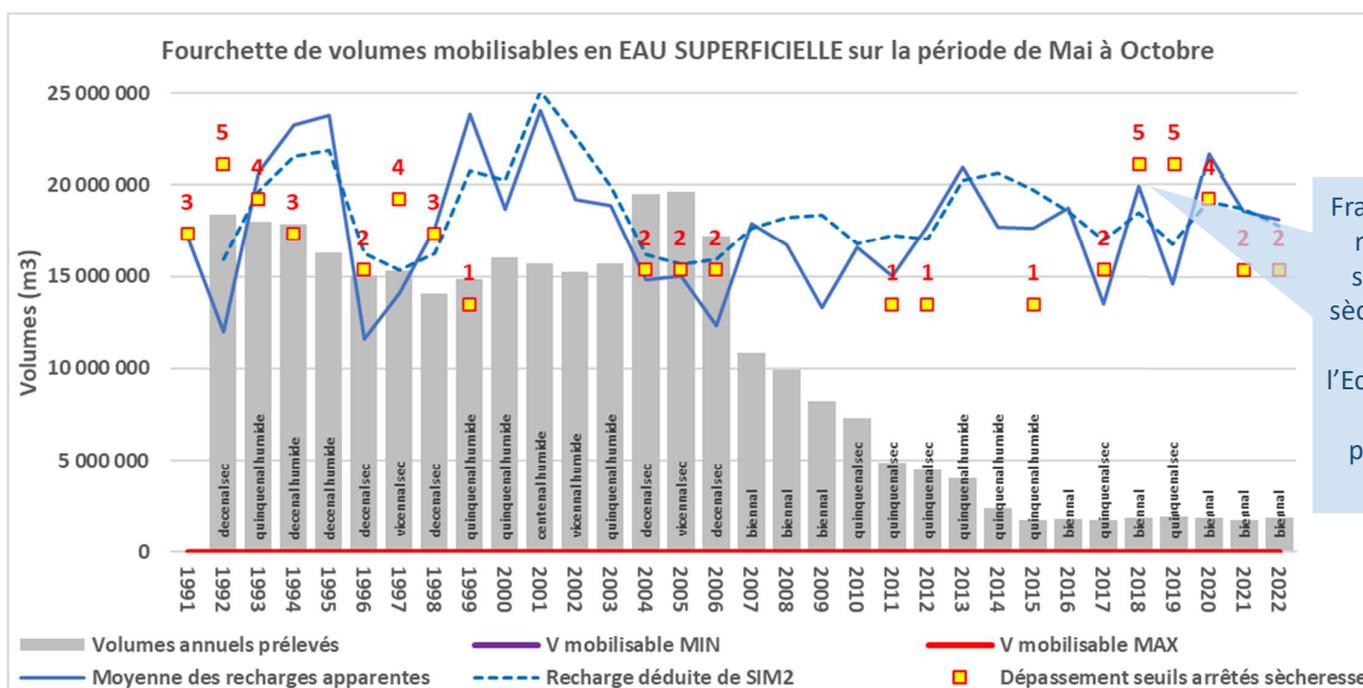
une alternative sans prise en compte des franchissements de seuil hydrologiques sur l'Ecaillon à Thiant



Understanding today. Improving tomorrow.

# Incidences sur les pratiques actuelles : Scarpe amont (ESU)

à partir de l'ensemble des données et analyses réalisées

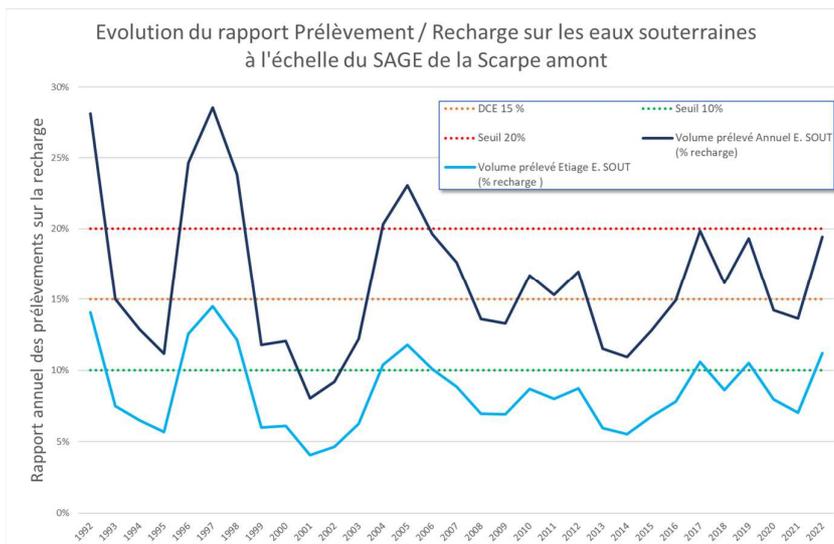
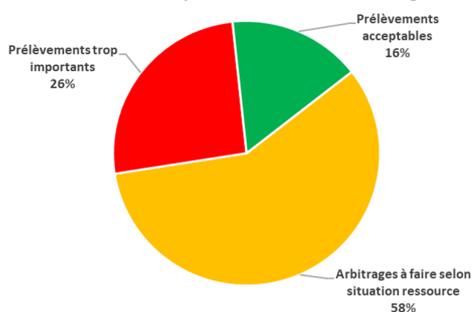


Improving tomorrow.

# Incidences sur les pratiques actuelles : Scarpe amont

à partir de l'ensemble des données et analyses réalisées

Répartition des années en fonction des volumes en eaux souterraines prélevés à la craie à l'été



Le ratio des prélèvements annuels en eaux souterraines à la craie, fluctuant selon les années, est régulièrement supérieur à 10%, voire 15% sur l'essentiel de la période analysée. Ce ratio dépasse 20% en 1992, 1996-1998, ainsi que sur la période 2004-2006. A partir de 2008, les ratios sont plus réguliers, mais restent élevés, entre 10 et 20%, malgré des prélèvements importants, du même ordre que ceux effectués sur 1991-1998, et des recharges plus régulières mais plus faibles en moyenne sur les années récentes. **Cette observation tendrait à proposer une révision des premiers volumes à la hausse.**

## Synthèse et perspectives

*Amélioration des connaissances, gestion dynamique et outils de modélisations*

# Rappel de quelques limites intrinsèques

## *dans l'approche déployée*

**Les limites de la méthodologie sont dépendantes :**

1. De la bonne connaissance des prélèvements effectués sur le territoire (localisation, volumes concernés, voire cohérence des usages attribués dans certains cas) s'agissant de les comparer à la recharge et aux indicateurs de dépassement de seuils.
2. En particulier pour les prélèvements de surface qui témoignent d'une forte variabilité dans le temps, notamment pour les prélèvements industriels (présence de nombreuses carrières), ainsi que pour les éventuels transferts d'eau, dans un contexte géographique marqué par la présence de nombreux canaux en lien avec le réseau hydrographique (prises d'eau, pertes potentielles pouvant alimenter la nappe sous-jacente, rejets en soutien).
3. De la présence d'une double cyclicité sur l'ensemble de la masse d'eau de la Craie des vallées de la Scarpe et de la Sensée qui constitue une limite méthodologique.
4. Des choix faits dans la prise en compte des modélisations, choix dépendant de la complétude des données disponibles des stations hydrométriques existantes peu nombreuses.
5. De la non prise en compte du désinfluencement des régimes piézométriques et hydrologiques pour calibrer au mieux l'influence des prélèvements sur les eaux souterraines et superficielles (la station sur la Scarpe à Brebières se situant sur sa partie canalisée).

Understanding today. Improving tomorrow.

# Amélioration des complétudes de données et des connaissances

## *sur les usages & les ressources*

1. Maintien en l'état, voire renforcement du réseau de surveillance existant (pour éviter au maximum les lacunes de données sur les ouvrages présents sur le territoire).
2. Disposer des données mensuelles des volumes prélevés pour l'alimentation en eau potable et à usage industriel pour l'ensemble des producteurs.
3. Renforcer l'identification et les volumes agricoles prélevés, y compris pour les volumes limités.

Understanding today. Improving tomorrow.

# Amélioration de la surveillance

## 1. Piézométrie :

- Peu de piézomètres à la craie faisant l'objet d'un suivi régulier, sont présents sur le territoire (11 recensés au total mais seuls 3 d'entre-eux disposent de mesures continues avec une complétude annuelle et mensuelle exploitable).
- Un seul piézomètre de référence de l'unité sècheresse des Bassins versants de la Scarpe et de la Sensée, s'adressant à la Craie des vallées de la Scarpe et de la Sensée, est présent sur le territoire du SAGE.
- Proposition pouvant être faite de disposer d'un enregistrement en continu des niveaux sur quelques ouvrages existants non équipés qui permettrait d'avoir une meilleure connaissance du fonctionnement de la masse d'eau principale sur l'ensemble du territoire du SAGE, voire d'en créer de nouveaux.

## 2. Hydrologie :

- Uniquement 2 stations hydrométriques présentes sur le territoire (le Gy à Duisans, ouverte en 2002, et la Scarpe canalisée à Brebières) permettent de disposer de données hydrologiques sur le territoire. La Scarpe canalisée à Brebières, en amont du Canal du Nord (jonction canal de la Sensée et canal de dérivation de la Scarpe), constitue une station intégratrice de l'ensemble du territoire.
- Voir s'il est envisageable la mise en place d'une ou deux stations hydrologiques supplémentaires en amont d'Arras, sur la Scarpe d'une part, le Crinchon, pour disposer de données hydrologiques plus différenciées en complément du bassin versant du Gy.

Understanding today. Improving tomorrow.

# Amélioration des méthodes

## Constat :

Les méthodes utilisées dans le cadre de l'étude fournissent des résultats intéressants, riches d'enseignement et représentatives sur le fonctionnement des hydrosystèmes, mais divergents quant aux résultats obtenus entre SIM2 et GARDENIA cohérentes. Elles permettent d'approcher l'estimation des Volumes mobilisables provisoires mais connaissent cependant des limites, en raison de la présence d'une cyclicité pluriannuelle de la recharge de la nappe constatée en plusieurs points du territoire et de données en nombre limité.

Les franchissements de seuils apparaissent importants, avec un ratio de recharge, au regard des prélèvements annuels identifiés en eaux souterraines, régulièrement supérieur à 10% voire 15%.

## Evolution souhaitable :

La mise en œuvre d'une modélisation hydrodynamique de la craie étendue à l'ensemble des territoires crayeux, permettra d'aborder la gestion de l'hydrosystème en termes de disponibilité de la ressource et de gestion prévisionnelle.

Cette méthode, plus précise et plus globale nécessite cependant de disposer de données disponibles plus importantes pour bien appréhender le fonctionnement des hydrosystèmes.

Il apparaît souhaitable de déployer une méthode plus adaptée aux eaux de surface en ce qui concerne l'approche des volumes mobilisables dans les eaux de surface.



Merci de votre attention



## **Echanges avec la salle**

M. Bricout demande si baisser les seuils des cours d'eau (barrages) a une incidence sur la recharge de la nappe ?

M. Beurrier répond que baisser la ligne d'eau d'une rivière accentue le drainage de la nappe vers la rivière, en particulier en période hivernale. En termes de recharge, ça aura peu d'influence car la recharge est liée aux pluies efficaces et à la remontée de la nappe.

L'effacement des seuils présente des avantages en termes de continuité écologique et n'aura qu'un impact très localisé sur la nappe. En termes de recharge, à l'échelle du SAGE, ça n'aura pas d'incidence.

M. Bertein partage ses observations de terrain sur les sources naturelles du Crinçon :

- les cycles habituels durent 6-7 ans
- ils sont moins visibles depuis 2002.

Il demande si ces constatations se retrouvent dans les graphiques présentés. Peut-on dire que les cycles sont en train de s'atténuer ?

M. Aurouet répond que oui, les grands pics sont étêtés ces dernières années.

L'intensité et l'origine de ces écrêtements restent à définir : déficit pluviométrique récurrent lié au changement climatique ?

M. Bertein s'interroge sur le lien avec la pluviométrie.

M. Aurouet indique qu'avec le réchauffement climatique, il n'y a pas forcément de variations ou de déficits de pluviométrie mais l'évaporation augmente donc la recharge diminue. Par conséquent, même si les pluies se maintiennent, la recharge évolue.

M. Demoor précise que les scénarios de changement climatique prévoient plus de pluies hivernales, donc que les pluies efficaces devraient augmenter.

M. Aurouet répond que c'est probable et que l'étude HMUC, qui tiendra compte des évolutions climatiques (contrairement à la méthode présentée ici), viendra compléter cette analyse.