Réalisation d'une étude hydrogéologique relative à l'estimation des volumes mobilisables annuels et, dans la mesure du possible, en période de basses eaux par deux approches simples sur chacune des 26 zones d'alerte du bassin Artois-Picardie.

RAPPORT SYNTHETIQUE DES VOLUMES MOBILISABLES DU SAGE DE LA SAMBRE

Juin 2024

SOMMAIRE

1 Préambule 1

1.1 Rappel des objectifs de l'étude conduite 1

1.2 Synthèse de l'approche méthodologique déployée 1

1.3 Limites de l'étude conduite 3

2 Caractéristiques générales du territoire du SAGE de la Sambre 5

2.1 Les cours d'eau et Canaux 5

2.2 Géologie et masses d'eau souterraines 7

2.3 Les unités sècheresse 12

2.4 Les bassins versants repères analysés pour le territoire de la Sambre 13

3 Synthèse du fonctionnement de l'hydrosystème crayeux et des défaillances observées 15

3.1 Rappel des principaux aquifères présents sur le territoire du SAGE 15

3.2 Fonctionnement global sur le SAGE 16

3.3 Indicateurs de ressource en eau 20

3.3.1 Indicateurs hydrologiques 20

3.3.2 Indicateurs de franchissement des seuils piézométriques 34

3.3.3 Indicateurs de tendances piézométriques 37

4 Synthèse des résultats de calcul de recharges 38

4.1 Résultats des calculs de recharges apparentes 38

4.2 Résultats SIM2, WALLINGFORD, GARDENIA 40

4.2.1 Analyse comparée des résultats des différentes méthodes 40

4.2.2 Estimation de la recharge finale à l'échelle du SAGE de la Sambre 43

5 Synthèse des prélèvements effectués sur le territoire du SAGE 44

5.1 Données disponibles et hypothèses prises en compte 44

5.2 Bilan sur les volumes annuels prélevés sur l'ensemble du SAGE 44

5.3 Bilan sur les volumes prélevés sur la période Mai à Octobre 46

6 Estimation de l'enveloppe de volumes mobilisables provisoires 49

6.1 Approche méthodologique déployée pour la définition des volumes mobilisables 49

6.2 Fourchettes de volumes mobilisables provisoires proposées (VP) 49

6.2.1 Analyse pour les eaux souterraines vis-à-vis des observations historiques 50
6.2.2 Analyse pour les eaux de surface vis-à-vis des observations historiques..... 51

6.3 Incidence des volumes mobilisables définis vis-à-vis des prélèvements actuels sur le territoire en périodes de Mai à Octobre 52

6.4 Examen des volumes prélevés de Mai à Octobre en eaux souterraines à la craie et aux calcaires au regard de la recharge..... 52

7 Perspectives et évolutions 54

7.1 Quant à la précision et la complétude des données..... 54

7.2 Vis-à-vis de la surveillance et de la gestion des unités sècheresse 54

7.3 Sur les méthodes mises en œuvre pour les prochaines études de volumes prélevables 55

7.4 Pour les outils de gestion quantitative (gestion dynamique) 56

FIGURES

Figure 1 : Schéma de principe de l'approche méthodologique déployée 2

Figure 2 : Carte de présentation du territoire du SAGE 6

Figure 3 : Coupe géologique ONO-ESE au Nord des Hauts de France (sources SIGES)..... 7

Figure 4 : Carte des masses d'eau souterraines 10

Figure 5 : Contexte géologique et piézométrie basses eaux 2009 de la craie 11

Figure 6 : Piézométrie de la nappe des calcaires de l'Avesnois (source : rapport BRGM 81-SGN-263-NPC – 1981)..... 12

Figure 7 : Carte des unités sècheresse et des ouvrages de référence correspondants 14

Figure 8 : pile hydro-stratigraphique issue du SIGES Nord Pas de Calais – 2024 15

Figure 9 : Illustration de la double cyclicité avec sensibilité aux évènements climatiques annuels sur le piézomètre 00384X0296/PZ4 au sein des Calcaires de l'Avesnois 17

Figure 10 : Illustration de la cyclicité pluriannuelle pure sur le piézomètre 00377X0051/S1 au sein de la Craie du Cambrésis 17

Figure 11 : Illustration de la cyclicité annuelle pure sur le piézomètre 00296X0158/P1 au sein de la Craie du Valenciennois 18

Figure 12 : Illustration de la cyclicité annuelle pure sur le piézomètre 00512X0001/P1 au socle ardennais 18

Figure 13 : Carte de cyclicité de piézomètres présents sur le territoire du SAGE..... 19

Figure 14 : Evolution du nombre de jours de franchissements du $QMNA_5$ 22

Figure 15 : Evolution des QMNA sur la station de l'Helpe Mineure à Maroilles vis-à-vis du QMNA quinquennal (sec et humide) et du QMNA biennal 23

Figure 16 : Evolution des QMNA sur la station de l'Helpe Majeure à Taisnières-en-Thiérache vis-à-vis du QMNA quinquennal (sec et humide) et du QMNA biennal 23

Figure 17 : Evolution des QMNA sur la station de la Solre à Ferrière-la-Grande vis-à-vis du QMNA quinquennal (sec et humide) et du QMNA biennal 24

Figure 18 : Evolution des QMNA sur la station de la Tarcy à Monceau-Saint-Vaas vis-à-vis du QMNA quinquennal (sec et humide) et du QMNA biennal 24

Figure 19 : Evolution des QMNA sur la station du Cligneux à Saint-Rémy-du-Nord vis-à-vis du QMNA quinquennal (sec et humide) et du QMNA biennal 25

Figure 20 : Cartographie des taux de franchissement interannuel du $QMNA_5$ 26

Figure 21 : Cartographie des modalités interannuelles d'assecs observés sur le réseau ONDE 27

Figure 22 : Analyse des durées d'étiage et des volumes déficitaires correspondants sur la station hydrologique sur la Solre à Ferrière-la-Grande 30

Figure 23 : Analyse des durées d'étiage et des volumes déficitaires correspondants sur la station hydrologique sur la Tarcy à Monceau-Saint-Waast 30

Figure 24 : Analyse des durées d'étiage et des volumes déficitaires correspondants sur la station hydrologique sur le Cligneux à Saint-Rémy-du-Nord 30

Figure 25 : Analyse des durées d'étiage et des volumes déficitaires correspondants sur la station hydrologique sur l'Helpe Majeure à Taisnières-en-Thiérache 31

Figure 26 : Analyse des durées d'étiage et des volumes déficitaires correspondants sur la station hydrologique sur l'Helpe Mineure à Maroilles 31

Figure 27 : Analyse de l'étiage de l'année 2022 sur la station sur la Solre à Ferrière-la-Grande (déficit à l'écoulement et durée d'étiage) 32

Figure 28 : Analyse de l'étiage de l'année 2022 sur la station sur la Tarsy à Monceau-Saint-Waast (déficit à l'écoulement et durée d'étiage) 32

Figure 29 : Analyse de l'étiage de l'année 2022 sur la station sur l'Helpe Mineure à Maroilles (déficit à l'écoulement et durée d'étiage) 32

Figure 30 : Analyse de l'étiage de l'année 2022 sur la station sur l'Helpe Majeure à Taisnières-en-Thiérache (déficit à l'écoulement et durée d'étiage) 33

Figure 31 : Analyse de l'étiage de l'année 2003 sur la station sur l'Helpe Majeure à Taisnières-en-Thiérache (déficit à l'écoulement et durée d'étiage) 33

Figure 32 : Analyse de l'étiage de l'année 1999 sur la station sur le Cligneux à Saint-Rémy-du-Nord (déficit à l'écoulement et durée d'étiage) 33

Figure 33 : Cartographie des taux de franchissement interannuel du $HMNA_5$ 36

Figure 34 : Graphique de tendance piézométrique récente (1991 – 2022) du piézomètre 00384X0296/PZ4 aux calcaires de l'Avesnois 37

Figure 35 : Graphique de tendance piézométrique récente (1991 – 2022) du piézomètre 00383X0229/PZSP6 aux calcaires de l'Avesnois 37

Figure 36 : Principe de la recharge apparente, de la vidange apparente et du calcul du solde (solde = recharge - vidange) 38

Figure 37 : Recharge, vidange et solde apparents du piézomètre 00383X0229/PZSP6 40

Figure 38 : Recharge, vidange et solde apparents du piézomètre 00387X0184/PZCC1 40

Figure 39 : Comparaison des résultats des calculs de recharges entre les différentes méthodes utilisées pour la station sur la Sorle à Ferrière-la-Grande 42

Figure 40 : Comparaison des résultats des calculs de recharges entre les différentes méthodes utilisées pour la station sur l'Helpe Majeure à Taisnières-en-Thiérache..... 42

Figure 41 : Comparaison des résultats des calculs de recharges entre les différentes méthodes utilisées pour la station sur l'Helpe Mineure à Maroilles..... 43

Figure 42 : Evolution des prélèvements en eaux superficielles toutes masses d'eau confondues 44

Figure 43 : Evolution des prélèvements en eaux souterraines toutes masses d'eau confondues 44

Figure 44 : Evolution des prélèvements en eaux superficielles sur Mai à Octobre toutes masses d'eau confondues 46

Figure 45 : Evolution des prélèvements en eaux souterraines sur Mai à Octobre toutes masses d'eau confondues..... 46

Figure 46 : Répartition des points de prélèvements sur le territoire du SAGE avec identification des usages..... 47

Figure 47 : Répartition de l'importance des volumes AEP, industriels et agricoles prélevés sur le territoire du SAGE (année 1996 toutes ressources confondues – hors canaux et refroidissements industriels) 48

Figure 48 : Positionnement des volumes prélevés en eau souterraine sur Mai à Octobre avec les volumes mobilisables définis, les recharges et les franchissements de seuils d'arrêtés sècheresse (hors canaux et refroidissement industriel) 50

Figure 49 : Positionnement des volumes prélevés en eau souterraine sur l'ensemble de l'année avec les volumes mobilisables définis annuellement (hors canaux et refroidissement industriel) 51

Figure 50 : Pourcentage de répartition des années au regard des seuils proposés, en fonction des volumes prélevés à la craie sur Mai à Octobre en eaux souterraines 52

Figure 51 : Evolution du rapport des prélèvements annuels et à l'étiage en eau souterraine avec la recharge hivernale..... 53

Figure 52 : Schéma de principe d'une méthodologie d'approche des volumes prélevables pour la partie Calcaires de l'Avesnois sur le SAGE de la Sambre 56

1 Préambule

Les chapitres suivants rappellent les objectifs de l'étude conduite pour l'agence de l'eau Artois Picardie, l'approche méthodologique globale déployée ainsi que les limites intrinsèques liées à la méthode utilisée. Les particularités du SAGE et du fonctionnement de l'hydrosystème seront rappelées dans les chapitres dédiés au SAGE lui-même.

1.1 Rappel des objectifs de l'étude conduite

L'objectif de l'étude conduite pour l'Agence de l'eau Artois Picardie vise la définition d'une *enveloppe de volumes mobilisables* pour l'ensemble des 26 zones d'Alertes de l'Agence de l'eau avec une déclinaison par SAGE. Cette *notion diffère de la définition réglementaire* du *volume prélevable* (satisfaction de tous les besoins anthropiques et naturels 8 années sur 10). De ce fait, cette étude ne se substitue pas aux définitions qui peuvent exister ou pourront être engagées dans un futur proche par les SAGE eux même. Elle propose une *première estimation des enveloppes de volume mobilisables* qui se veulent provisoires afin de *fournir une aide à la décision pour l'inscription de volumes dédiés à l'irrigation dans les arrêtés sècheresse*. Rappelons ici que les volumes mobilisables proposés à l'issue de cette étude concernent les *volumes prélevés dans la nappe de la Craie et dans le cas présent, ceux prélevés dans la nappe des Calcaires de l'Avesnois*.

1.2 Synthèse de l'approche méthodologique déployée

L'approche méthodologique déployée dans le cadre de ce projet repose sur une analyse « qualitative » - à la différence d'une étude de volumes prélevable à proprement parlé qui « quantifie » les volumes – et s'appuie essentiellement sur un bilan historique des observations réalisées sur les ressources en eau sur les *30 dernières années* (1991 à 2021). L'objectif de cette étude est donc bien de *confronter les évènements historiques avec les pratiques et les tendances en matière de prélèvements* afin d'en dégager des *volumes qui semblent « acceptables » ou « trop importants »* aux vues des *indicateurs* renvoyés par l'historique des observations sur les ressources en eau et les prélèvements. Le schéma suivant illustre le principe global de l'approche déployée au pas annuel et mensuel.

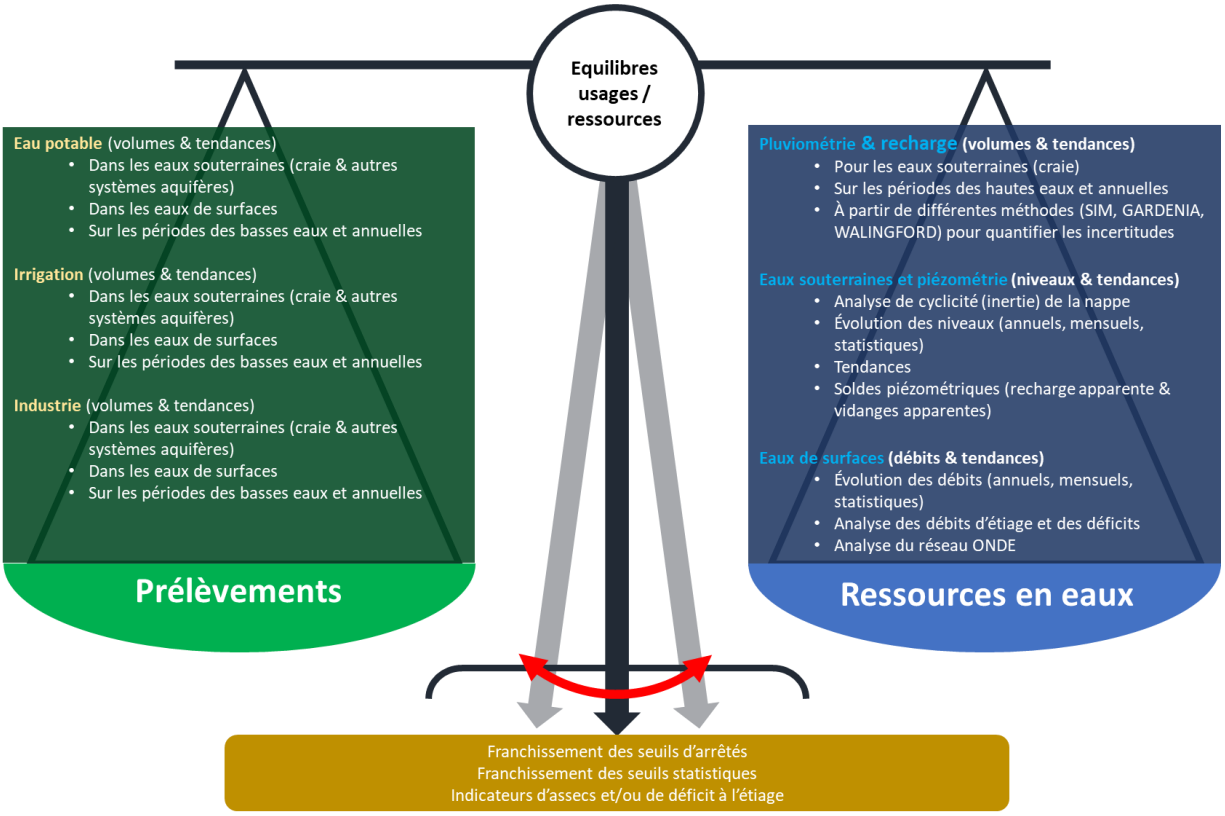


Figure 1 : Schéma de principe de l'approche méthodologique déployée

Dans le détail, les principaux éléments étudiés au cours de l'étude concernent donc :

Sur la ressource en eaux souterraines	Variations piézométriques mensuelles, annuelles et interannuelles Tendance piézométrique sur les 30 dernières années Cyclicité et périodes de cycles piézométriques Franchissement de seuils statistiques classiques ($HMNA_5$[1], HCN_3) Franchissement des seuils d'arrêtés sècheresse Evaluation de la recharge apparente (delta de niveaux entre hautes eaux de l'année n & basses eaux de l'année n-1) et de la vidange apparente qui la suit
Sur la ressource en eaux de surface	Variations de débit mensuelles, annuelles et interannuelles Franchissement de seuils statistiques classiques ($QMNA_5$[2], VCN_3) Franchissement des seuils d'arrêtés sècheresse Evaluation des étiages sur les stations hydrométriques Analyse des résultats du réseau ONDE (assecs)
Sur la recharge et les évènements climatiques	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 des SAGE Analyse des recharges hivernales par la méthode de WALLINGFORD Analyses statistiques des fréquences de retour sur les recharges hivernales

[1] $HMNA_5$: Hauteur Minimale Mensuelle Interannuelle de fréquence de retour 5 ans sec.

[2] $QMNA_5$: Débit Minimum Mensuel Interannuel de fréquence de retour 5 ans sec.

Sur les prélèvements	Analyse des prélèvements annuels et sur les périodes de basses eaux d'Octobre à Mai Analyse des prélèvements par type de ressource sollicitée Analyse des prélèvements par type d'usage

On rappellera que la méthode mise en œuvre dans cette analyse :

- Ne permet pas la prise en compte des effets du changement climatique.
- Intègre, dans la mesure du possible, la prise en compte des *enchaînements d'épisodes successifs de sècheresse*.
- N'intègre pas les *éventuels rejets* opérés sur la ressource, qu'ils s'effectuent en eaux souterraines ou en eaux superficielles.
- N'intègre pas la prise en compte des prélèvements par les CANAUX ainsi que le refroidissement des centrales ou installations industrielles éventuellement présentes.

1.3 Limites de l'étude conduite

Les méthodes d'évaluation des recharges de nappe mises en œuvre dans le cadre de l'étude (SIM2, WALLINGFORD, GARDENIA, recharge apparente) connaissent leurs propres limites d'application :

- Elles s'appuient sur les évaluations de recharges de nappes libres, ce qui *exclut les nappes profondes éventuellement présentes* (nappe du Calcaire carbonifère de Roubaix-Tourcoing captif en profondeur sous la craie, absente sur le territoire du SAGE de la Sambre) ou moins profondes pouvant être semi-captives, surmontées par des formations de recouvrement importantes ou situées sous d'autres formations aquifères drainant le réseau superficiel *Dans le cas du SAGE de la Sambre, cette dernière restriction n'apparaît pas*.
- Ces méthodes sont peu adaptées dans le cas de nappes présentant une cyclicité pluriannuelle dominante, a fortiori en l'absence de doublement d'une cyclicité annuelle (double cycle). *Dans le cadre du SAGE de la Sambre, ce cas de figure s'applique sur une partie importante du territoire* (cf. Figure 13).

Par ailleurs, les limites de la méthodologie sont dépendantes :

- De la *bonne connaissance des prélèvements effectués sur le territoire* (localisation et volumes concernés) s'agissant de les comparer à la recharge et aux indicateurs de dépassement de seuils.
- En particulier pour les *prélèvements de surface ou des transferts d'eau*, dans un contexte géographique, marqué par la présence de plusieurs ouvrages hydrauliques et de gestion des canaux (prises d'eau, soutiens d'étiage, pertes potentielles pouvant alimenter la nappe sous-jacente, rejets en soutien).
- Des choix faits dans la prise en compte des *modélisations sur des bassins versants parfois peu représentatifs* des prélèvements du bassin, choix dépendants des stations hydrométriques existantes, de leur positionnement, de leur représentativité selon l'importance des prélèvements effectués sur les bassins versants en amont de la station.

- 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.

2 Caractéristiques générales du territoire du SAGE de la Sambre

Le périmètre du SAGE de la Sambre englobe l'ensemble du bassin versant de la Sambre. Il s'étend sur environ *1 360 km²* sur le département du Nord pour l'essentiel, ainsi que, au Sud, sur le département de l'Aisne pour une petite partie. Ce SAGE comprend 122 communes au total (105 pour le département du Nord et 17 pour celui de l'Aisne).

2.1 Les cours d'eau et Canaux

Le territoire du SAGE est marqué par la présence de la *Sambre*, qui prend sa source sur la commune de Fontenelle à proximité de la Forêt du Nouvion-en-Thiérache sur les contreforts des Ardennes, puis traverse le territoire du SAGE jusqu'à Erquelinnes à la frontière belge, pour rejoindre la Meuse à Namur en Belgique.

La longueur totale du cours d'eau est d'environ 190 km, dont *88 km situés sur le territoire français*.

La pente générale de la plaine alluviale de la Sambre sur le territoire est peu marquée (0,2 ‰ en moyenne). Cette faible pente contribue au développement de nombreux plans d'eau, zones humides et marais, en particulier entre Landrecies et Pont-sur-Sambre. Ce réseau s'accompagne dans ce secteur de la mise en place de tout un réseau de drainage en fond de vallée.

Les *modifications et aménagements réalisés* (dont certains remontant au Moyen-Âge), en particulier pour en favoriser la *navigation,* ont profondément transformé le cours d'eau, contribuant à son artificialisation constante et quasi-généralisée :

- La capture par l'Oise, envisagée avant la mise en place du Canal de la Sambre à l'Oise, a conduit à *remplacer la source de la Sambre* située auparavant dans le Bois de Nouvion, sur la commune de La Flamengrie dans l'Aisne, par celle actuelle sur la commune de Fontenelle. L'ancien cours de la Sambre porte désormais le nom *d'Ancienne Sambre* (encore appelée Morteau), longue de 23 km, et contribue à l'alimentation du bief de partage du Canal de la Sambre à l'Oise.
- En amont de Landrecies, la mise en place du *Canal de la Sambre à l'Oise* (engagée dès le XIX^{ème} siècle), canal à *bief de partage* reliant les vallées de la Sambre à l'Oise, le bief de partage étant alimenté par un réservoir situé sur la commune de Boué. Ce canal relie les communes de Landrecies à celle de Ce canal dispose de 3 écluses sur le bassin de la Sambre.
- En aval de Landrecies jusqu'à Namur, les aménagements de *canalisation de la Sambre* afin de permettre la navigation sur cette partie du parcours du cours d'eau, jusqu'à son confluent avec la Meuse.

Seule, la partie amont de la Sambre actuelle entre sa source et Oisy présente désormais un cours naturel.

Le réseau hydrographique du bassin versant de la Sambre compte parmi les plus denses du département du Nord. Il se caractérise par un nombre particulièrement important d'*affluents* sur le territoire du SAGE, parmi lesquels on peut citer :

- En rive gauche de la Sambre : un nombre limité d'affluents, le principal étant la Flamenne (8,5 km) qui rejoint la Sambre à Maubeuge.
- En rive droite, où se situent les principaux affluents :

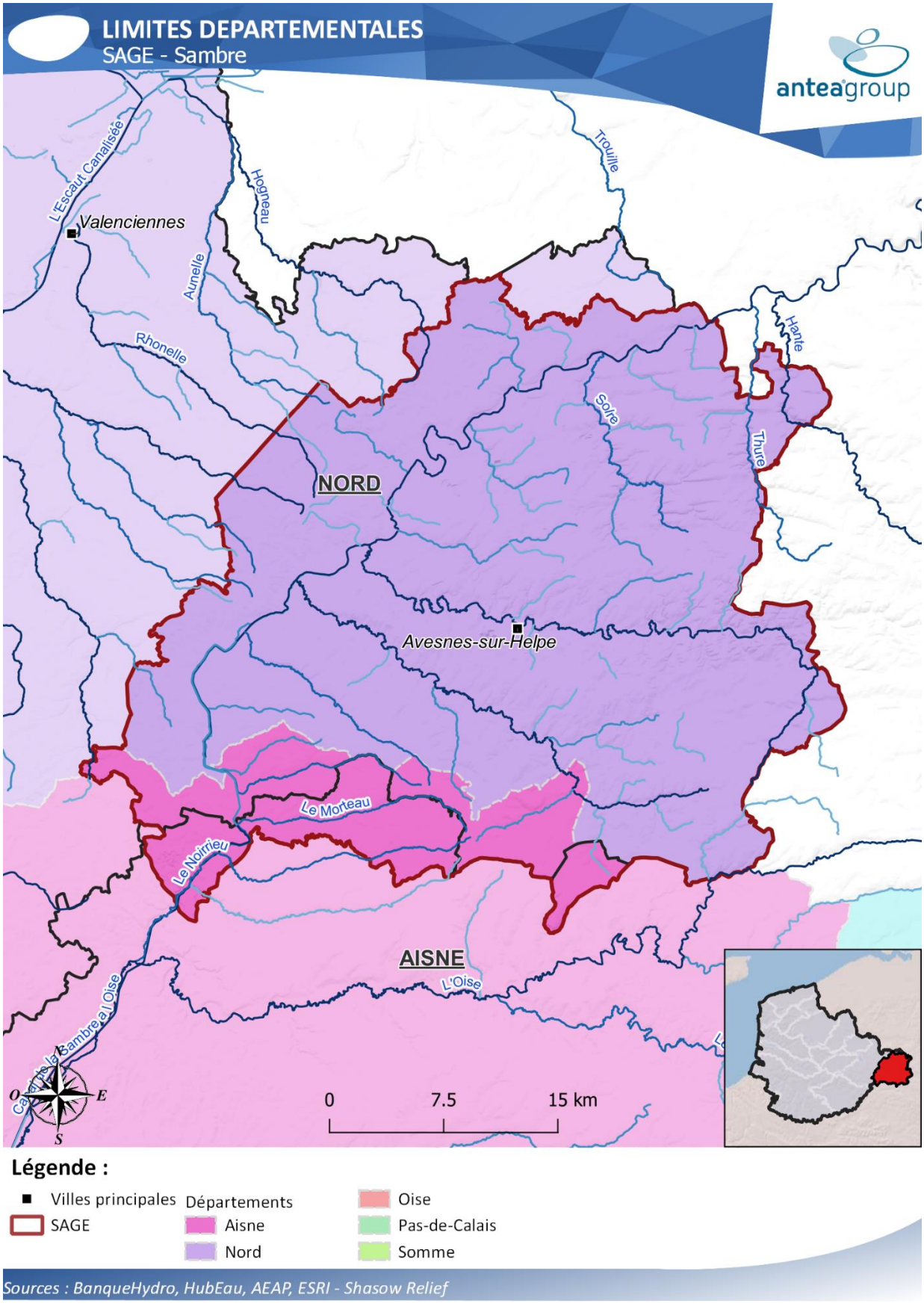


Figure 2 : Carte de présentation du territoire du SAGE

- Le Morteau (Ancienne Sambre) relié au Canal de la Sambre à l'Oise.
- La Riviérette (20,3 km) qui rejoint la Sambre canalisée à Landrecies.
- L'Helpe mineure (50,4 km) qui rejoint la Sambre canalisée entre Landrecies et Sassegnies.
- L'Helpe majeure (70 km) qui rejoint la Sambre canalisée plus en aval au niveau de Sassegnies.
- La Tarsies (14,2 km) qui rejoint la Sambre canalisée au niveau de Leval.
- Le Ruisseau des Cligneux (11,5 km) qui rejoint la Sambre canalisée en amont de Hautmont.
- La Solre (23 km) qui rejoint la Sambre canalisée au niveau d'Assevent.

2.2 Géologie et masses d'eau souterraines

Le territoire du SAGE de la Sambre est caractérisé par un *contexte géologique particulier* lié à sa position sur les *contreforts ardennais*.

On peut ainsi distinguer principalement :

- Sur une grande partie Est du territoire, les formations géologiques calcaires et dolomitiques du Dévonien (Givétien-Frasnien) et du Mississipien (ex-Dinantien), fortement plissés et présentant une forte fissuration avec une tendance locale à la karstification. D'un point de vue structurel ces formations se présentent sous forme d'une succession de synclinaux et d'anticlinaux orientés sensiblement Est / Ouest, que certains cours d'eau suivent (la Belleuse) ou recoupent (la Solre).
- Plus à l'Ouest et en partie Sud du territoire, se développent les formations du Crétacé (craies plus ou moins marneuses du Cénomanien et du Séno-Turonien), transgressif sur les formations calcaires. Ces dernières sont recouvertes localement par des dépôts argileux et sableux tertiaires de l'Eocène (argiles de Louvil, sables d'Ostricourt).

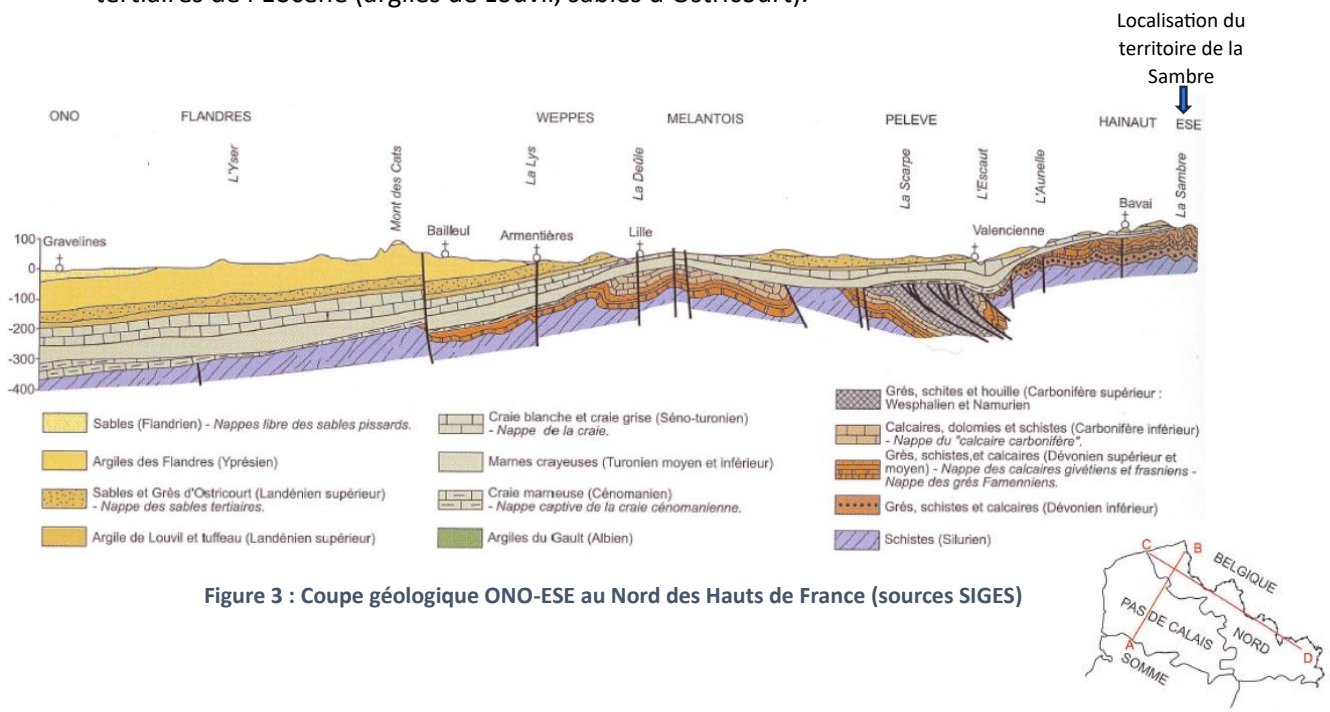


Figure 3 : Coupe géologique ONO-ESE au Nord des Hauts de France (sources SIGES)

Pas moins de *5 masses d'eau* (cf. Figure 4) sont *présentes* sur le territoire du SAGE, dont *3 principales*, avec des *caractéristiques géologiques différentes* selon que l'on considère celles se rattachant à la craie de celle rattachée aux calcaires de l'Avesnois ou aux formations de socle :

- La plus importante et la plus étendue est la masse d'eau des *Calcaires de l'Avesnois*, nappe majoritairement libre, qui couvre une grande partie de l'Est du territoire sur près de 935 km^2 (69 % de la superficie du SAGE).

- La masse d'eau de la *Craie du Cambrésis*, présente en partie centrale Sud sur près de 390 km^2 (28 % de la superficie du SAGE), qui vient en recouvrement d'une partie des calcaires de l'Avesnois sur près de 140 km^2.

- La masse d'eau de la *Craie du Valenciennois*, présente en partie centrale Nord-Ouest sur près de 220 km^2 (16 % de la superficie du SAGE), qui vient également en recouvrement d'une partie des calcaires de l'Avesnois sur près de 160 km^2.

On peut également citer les *2 masses d'eau périphériques*, d'extension limitée sur le territoire du SAGE avec *moins de 10 % de sa superficie* :

- En partie Sud : la masse d'eau de la *Craie de Thiérache-Laonnois-Porcien*.

- En partie extrême Sud-Est : la masse d'eau identifiée comme relevant du *Socle ardennais*.

Les terrains de recouvrement varient selon la nature du substratum (cf. Figure 5).

- En *partie extrême Sud-Est*, le recouvrement est constitué *d'altérites* issues de l'altération des formations variées de socle, représentées, du Nord-Ouest vers le Sud-Est par la présence des Grauwacke de Hierges, des schistes et grès rouges (formation de Chooz), de grès (formations de Vireux), de siltites et grès calcareux (formations de Villé), de grès et quartites (formations d'Anor), de schistes et siltites (formations de Saint-Hubert) ou encore de schistes bigarés (formations d'Oignies).

- Au *droit des formations crayeuses*, les recouvrements surmontant la craie sont constitués de *limons éoliens quaternaires (lœss)*, plus ou moins épais selon les secteurs, pouvant inclure à la base des vestiges tertiaires (sables, galets, niveaux silicifiés). Ces limons reposent localement, sur les parties hautes, sur les *formations résiduelles* peu épaisses *de l'Eocène* représentées principalement par les *sables du Quesnoy* (sables blancs et grès mamelonnés du Landénien-Thanétien). Les formations crayeuses débutent généralement par un niveau *d'argiles à silex* plus ou moins épais, parfois disposés sous forme de poches. A *l'approche des vallons et vallées*, les formations du tertiaire (*craie turono-sénonienne ou cénomanienne)* apparaissent directement *à l'affleurement,* avant d'être recouverte par les dépôts alluvionnaires récents en fond de vallée.

- Sur la grande *superficie concernée* par la présence des *calcaires de l'Avesnois*, hormis la présence localisée de *dépôts résiduels de l'Eocène* (sables du Quesnois), les formations de recouvrement sont généralement peu épaisses, représentées par des *altérites* issues de l'altération en tête des calcaires sous-jacents.

De ce fait, *au droit du territoire*, pour ce qui concerne les deux aquifères principaux :

- La *craie* bénéficie *d'une réalimentation et d'une recharge par les pluies efficaces* plus ou moins importante selon la nature et l'importance non seulement selon la nature des formations de

soubassement, mais également selon l'importance et la nature des formations de recouvrement.

- Les *formations calcaires de l'Avesnois*, peu perméables en masse, bénéficient d'une *réalimentation et d'une recharge par les pluies efficaces* qui se stockent principalement dans les fissures plus ou moins développées, localement karstiques au sein des synclinaux. Cette recharge est facilitée par la présence réduite de formations de recouvrement qui pourraient la limiter.

La seule piézométrie disponible récente concerne la *nappe de la craie* (cf. Figure 5), qui reste considérée comme une entité hydrogéologique unique sur le bassin Artois-Picardie. Cette nappe connait un *écoulement général* sensiblement orienté de l'*Est vers l'Ouest* en bordure Ouest du territoire, s'écoulant des contreforts ardennais représentés par les Calcaires de l'Avesnois vers le Valenciennois crayeux. La craie dans ce secteur est alimentée principalement par les pluies efficaces au droit de ses affleurements, avec un drainage plus ou moins marqué par les cours d'eau affluents de l'Escaut (Aunelle, Rhonelle, Ecaillon ou encore vallée de la Selle).

Concernant la *nappe des calcaires de l'Avesnois*, une piézométrie ancienne réalisée en 1961[3] (cf. Figure 7) montre une certaine *continuité hydraulique* entre les *différentes couches de terrains primaires*, du moins pour leur partie superficielle altérée, mais qui ne préjuge en rien de la ressource aquifère la roche pouvant être compacte en profondeur. La *surface piézométrique* établie apparaît en *étroite relation avec la topographie des terrains*, avec des gradients plus ou moins importants selon les perméabilités. Les calcaires drainent ainsi l'ensemble de la région concernée.

[3] Rapport 81SGN263NPC « Etude des problèmes hydrogéologiques posés par la poursuite de l'exploitation des carrières de granulat dans l'Avesnois » - P. CAULIER, B. DELPORTE, J. LEPLAT, A. TALBOT – 9 avril 1981

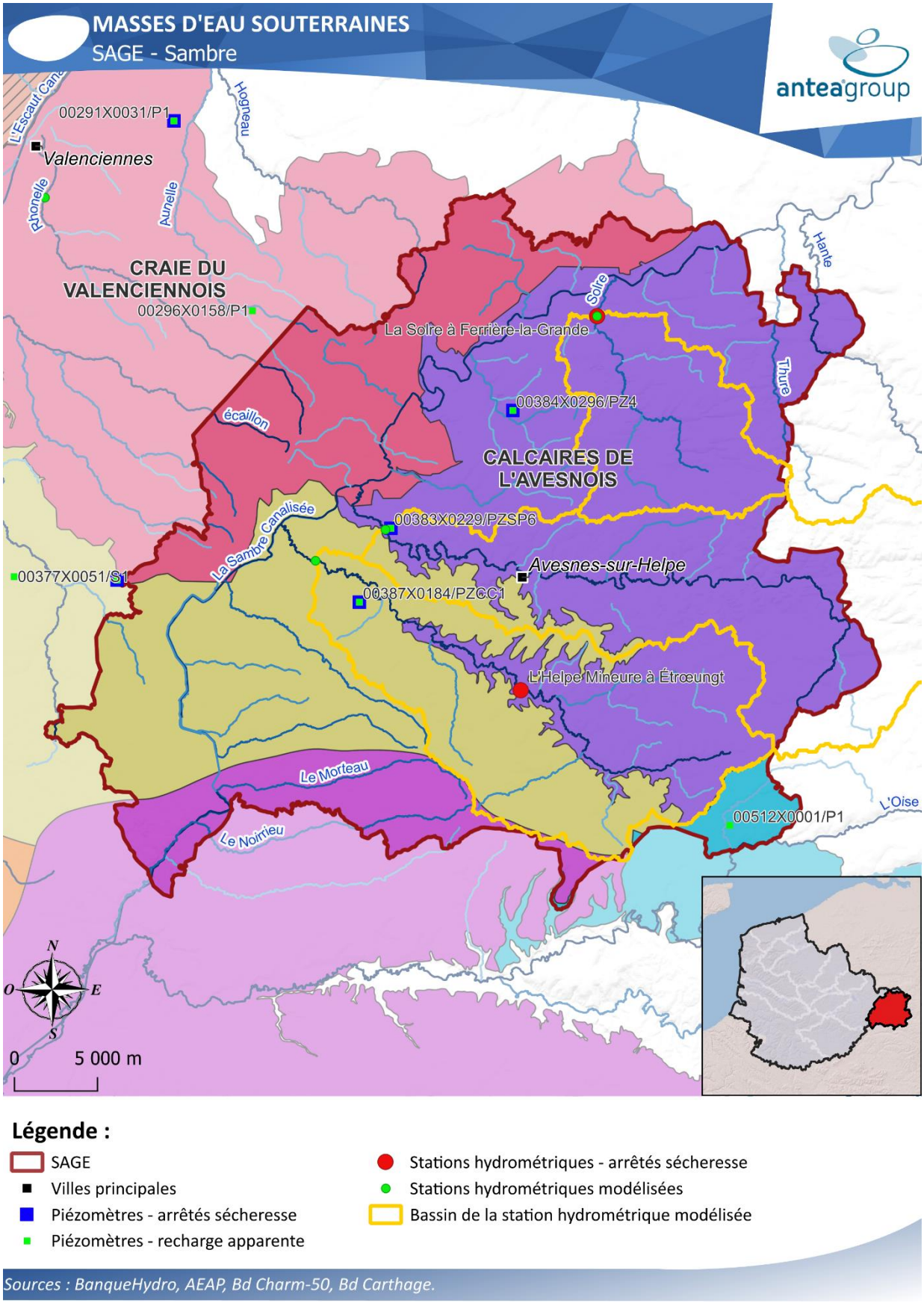


Figure 4 : Carte des masses d'eau souterraines

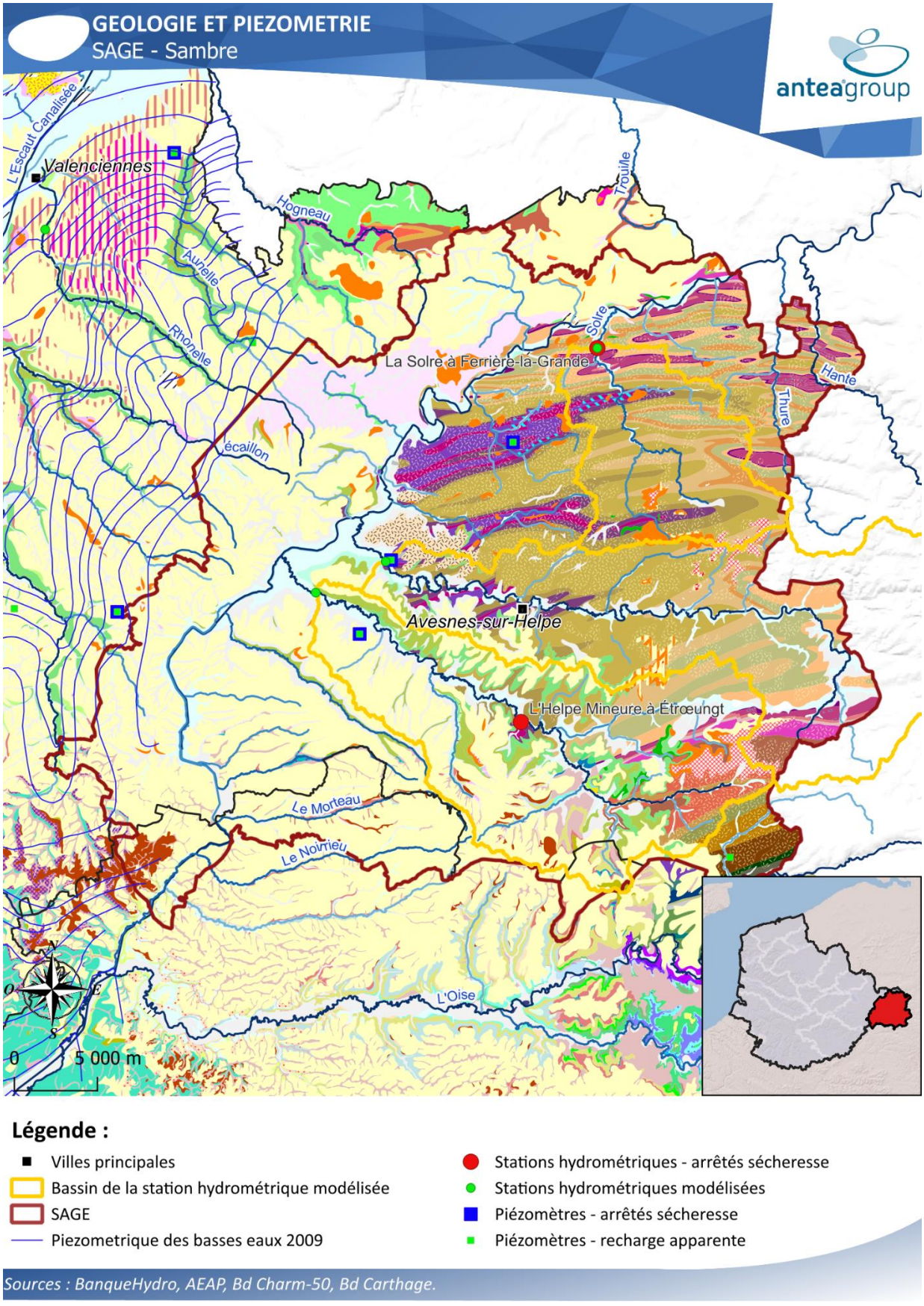


Figure 5 : Contexte géologique et piézométrie basses eaux 2009 de la craie

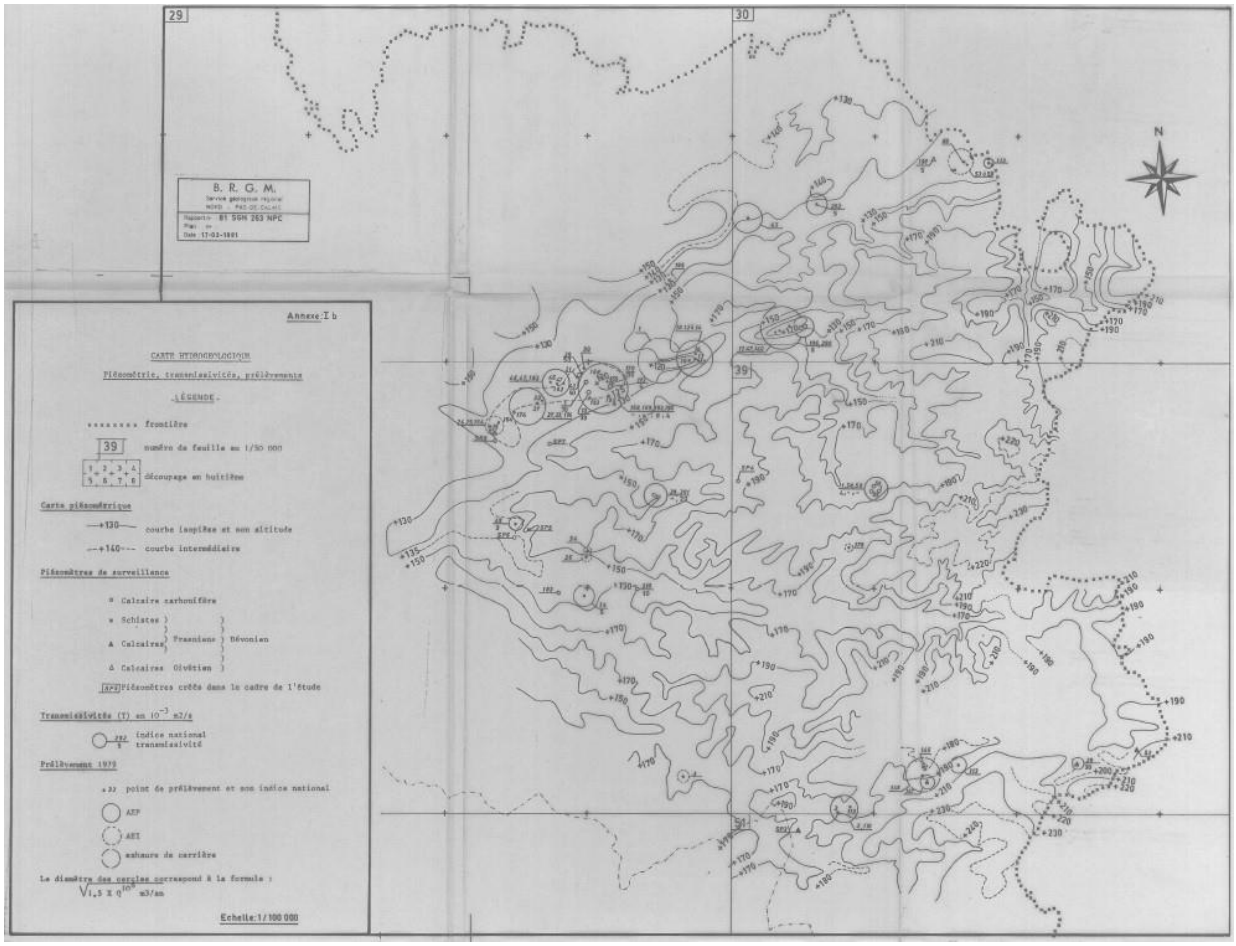


Figure 6 : Piézométrie de la nappe des calcaires de l'Avesnois (source : rapport BRGM 81-SGN-263-NPC – 1981)

2.3 Les unités sècheresse

Une unité sécheresse principale est présente sur le territoire du SAGE *(Bassin versant de la Sambre)* qui couvre *82% du territoire* (cf. Figure 7).

Le SAGE de la Sambre est également concerné, dans sa partie Sud, par la présence de l'*unité sécheresse secondaire Oise amont et Sambre* sur la partie département de l'Aisne et qui représente moins de 15 % de la superficie du SAGE.

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

- **Piézométrie** : 3 ouvrages de référence, s'adressant tous deux à la masse d'eau des *Calcaires de l'Avesnois*, tous situés sur le territoire du SAGE :
    - *00387X0184/PZCC1*, le plus au Sud, sous recouvrement de la craie du Cambrésis.
    - *00383X0229/PZSP6*, en partie centrale du territoire.
    - *00384X0296/PZ4*, le plus au Nord.

- **Hydrométrie** : Deux stations hydrométriques de référence sont situées sur le territoire du SAGE : *station de La Solre à Ferrière-la-Grande* d'une part et *station de L'Helpe Mineure à Étrœungt*.

2.4 Les bassins versants repères analysés pour le territoire de la Sambre

Plusieurs stations hydrologiques sont encore actives sur le territoire du SAGE de la Sambre, plus ou moins récentes.

Code station	Libelle station	Date d'ouverture	Surface du bassin versant (km²)
D019701001	La Flamenne à Maubeuge [Douzies]	01/01/1994	19
D019801201	La Sambre canalisée à Louvroil	01/01/2012	
D019223001	La Sambre canalisée à Marpent	01/01/2004	1170
D020602001	La Solre à Choisies	20/03/1997	69
D020601001	La Solre à Ferrière-la-Grande	01/12/1972	115
D015850001	La Tarsy à Monceau-Saint-Waast [La Brasserie]	01/01/1994	38
D015656001	L'Helpe Majeure à Flaumont-Waudrechies	01/01/2007	256
D015651001	L'Helpe Majeure à Liessies	01/01/1962	189
D015652001	L'Helpe Majeure à Taisnières-en-Thiérache	01/11/1961	320
D013701001	L'Helpe Mineure à Étrœungt	01/01/1963	156
D013705001	L'Helpe Mineure à Fourmies	01/01/1991	27
D013702001	L'Helpe Mineure à Maroilles	01/09/1962	263

Parmi ces stations, *seules les 3 stations* sur la *Solre à Ferrière-la-Grande, l'Helpe Majeure à Taisnières-en-Thiérache et l'Helpe Mineure à Maroilles* ont fait l'objet d'une *modélisation de calculs de recharges* SIM2, WALLINGFORD et GARDENIA, en considérant l'ensemble des données disponibles, les autres stations sur ces cours d'eau présentant des bassins versants moins étendus, la Flamenne et le Tarsy ne disposant de données que depuis 1994 et la Sambre étant canalisée, pouvant générer des débits non représentatifs pour l'analyse.

Figure 7 : Carte des unités sècheresse et des ouvrages de référence correspondants

3 Synthèse du fonctionnement de l'hydrosystème crayeux et des défaillances observées

3.1 Rappel des principaux aquifères présents sur le territoire du SAGE

La succession lithologique des terrains (cf. Pile hydro-stratigraphique issue du SIGES Nord-Pas-de-Calais) permet de différencier plusieurs réservoirs aquifères, séparés par des couches imperméables, dont la disposition est synthétisée dans le tableau suivant.

On rappelle ici pour mémoire que seul, l'aquifère contenu au sein des formations crayeuses du Turonien au Sénonien, dans sa partie non recouverte (nappe de type libre), est concerné par la présente étude. Dans le cas présent, compte tenu de la structure géologique des terrains présents sur le territoire de la Sambre, l'aquifère contenu dans les formations géologiques des calcaires de l'Avesnois du Dévonien et du Mississipien a été également intégré dans les analyses.

QUATERNAIRE	Alluvions anciennes et modernes du Quaternaire ; sables littoraux du Quaternaire	Aquifère
	Limons des plateaux du Quaternaire	Aquiclude
TERTIAIRE	Argiles des Flandres (Argiles d'Orchies et de Roubaix) de l'Yprésien	Aquiclude
	Sables d'Ostricourt, du Quesnoy, de Grandglise et de Bracheux du Landénien supérieur (ou Thanétien supérieur)	Aquifère
	Argile de Louvil du Landénien inférieur (ou Thanétien inférieur)	Aquiclude
SECONDAIRE (Crétacé supérieur)	**Craie blanche à silex du Turonien supérieur au Sénonien**	Aquifère
	Dièves bleues et vertes du Turonien inférieur et moyen	Aquiclude
	Craies et marnes du Cénomanien	Aquifère/aquiclude
PRIMAIRE A SECONDAIRE	Le « substratum » : comprenant l'ensemble des formations géologiques du Secondaire (Crétacé inférieur) au Primaire	Aquifère/aquiclude

Figure 8 : pile hydro-stratigraphique issue du SIGES Nord Pas de Calais – 2024

3.2 Fonctionnement global sur le SAGE

Sur la majeure partie du territoire du SAGE, au droit de la masse d'eau des *Calcaires de l'Avesnois* (cf. Figure 13), la *nappe* présente une *double cyclicité intra et interannuelle dominante* avec des *cycles de 6 années ou plus* (jusqu'à 80 voire 120 mois), cyclicité doublée d'une *cyclicité annuelle bien marquée,* et par conséquence plus en rapport immédiat avec les évènements climatiques annuels.

En revanche, les cyclicités diffèrent au sein de la craie ainsi qu'au droit des formations du socle ardennais :

- L'ouvrage s'adressant à la *Craie du Cambrésis* (piézomètre 00377X0051/S1 en limite Ouest sur le SAGE de l'Escaut) présente une *cyclicité pluri-annuelle pure* avec une *faible réactivité à la pluviométrie annuelle*.
- A contrario, les ouvrages s'adressant à la *Craie du Valenciennois* (piézomètre 00296X0158/P1 en limite Nord-Ouest sur le SAGE de l'Escaut) ainsi qu'au *Socle ardennais* (piézomètre 00512X0001/P1 à l'extrême Sud-Est du territoire) présentent une *cyclicité annuelle pure* dominante, avec une *forte réactivité à la pluviométrie*.

Piézomètre	Masse d'eau	Cyclicité / Inertie	Force de la saisonnalité intra-annuelle[4]	Force de la tendance[5]
00383X0229/PZSP6	Calcaires de l'Avesnois	Double cycle (intra et inter annuel) et Réactif aux pluies	76%	56%
00384X0296/PZ4	Calcaires de l'Avesnois	Double cycle (intra et inter annuel) et Réactif aux pluies	70%	90%
00387X0184/PZCC1	Calcaires de l'Avesnois	Double cycle (intra et inter annuel) et Réactif aux pluies	81%	67%
00512X0001/P1	Socle ardennais	1 seul cycle annuel et Réactif aux pluies	Non évaluée	Non évaluée
00296X0158/P1[6]	Craie du Valenciennois	1 seul cycle annuel et Réactif aux pluies	73%	63%
00377X0051/S1[7]	Craie du Cambrésis	Pluriannuel et Peu réactif aux pluies	Non évaluée	Non évaluée

Les exemples ci-dessous illustrent les analyses de détermination des différents types de cyclicité rencontrés au sein des calcaires, de la craie, ainsi qu'au droit des formations de socle sur le territoire du SAGE.

[4] La force de la saisonnalité indique à quel point la nappe est corrélée à des fluctuations saisonnière intra-annuelle. Un pourcentage élevé (>75%) indique un fonctionnement avec des fluctuation saisonnières identifiée. Un pourcentage faible indique un fonctionnement plutôt décorrélée d'un fonctionnement saisonnier.

[5] La force de la tendance indique à quel point une tendance du niveau piézométrique est identifiée. Un pourcentage élevé (>75%) indique une tendance plutôt robuste. Un pourcentage faible indique une tendance peu robuste ou absente. Ce paramètre n'indique pas une tendance à la hausse ou à la baisse mais qualifie une robustesse dans la tendance observée, qu'elle soit à la hausse, stagnante ou à la baisse. Les tendances définie sont présentés dans le chapitre d'analyse des tendances piézométriques.

[6] Ouvrage localisé sur le SAGE voisin de l'Escaut

[7] Ouvrage localisé sur le SAGE voisin de l'Escaut

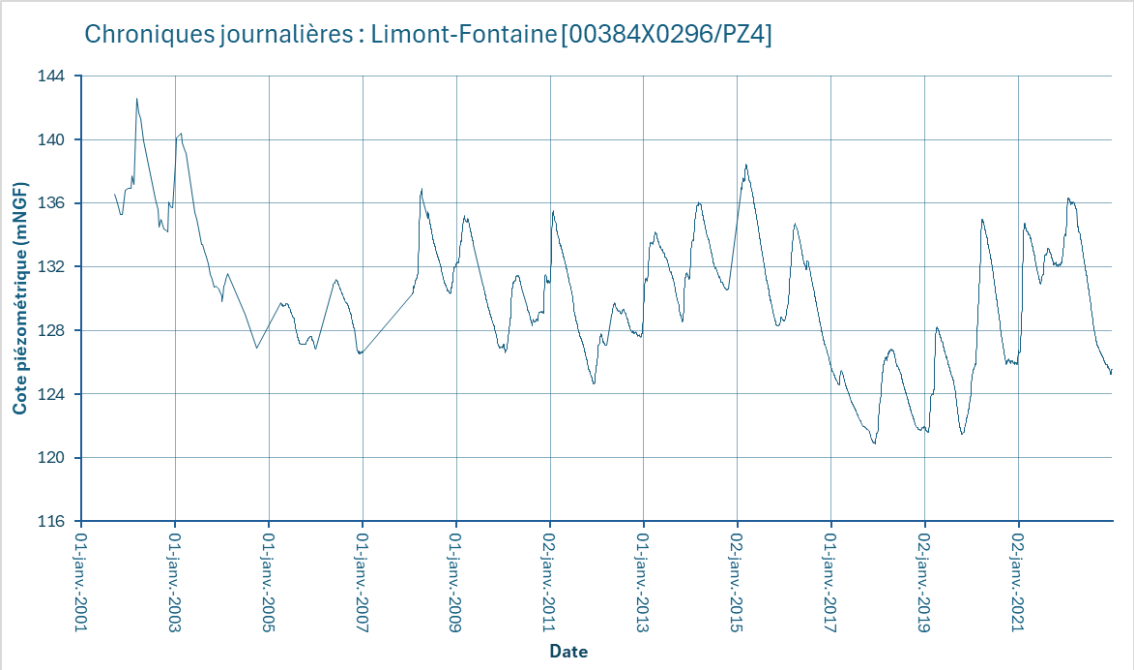


Figure 9 : Illustration de la double cyclicité avec sensibilité aux évènements climatiques annuels sur le piézomètre 00384X0296/PZ4 au sein des Calcaires de l'Avesnois

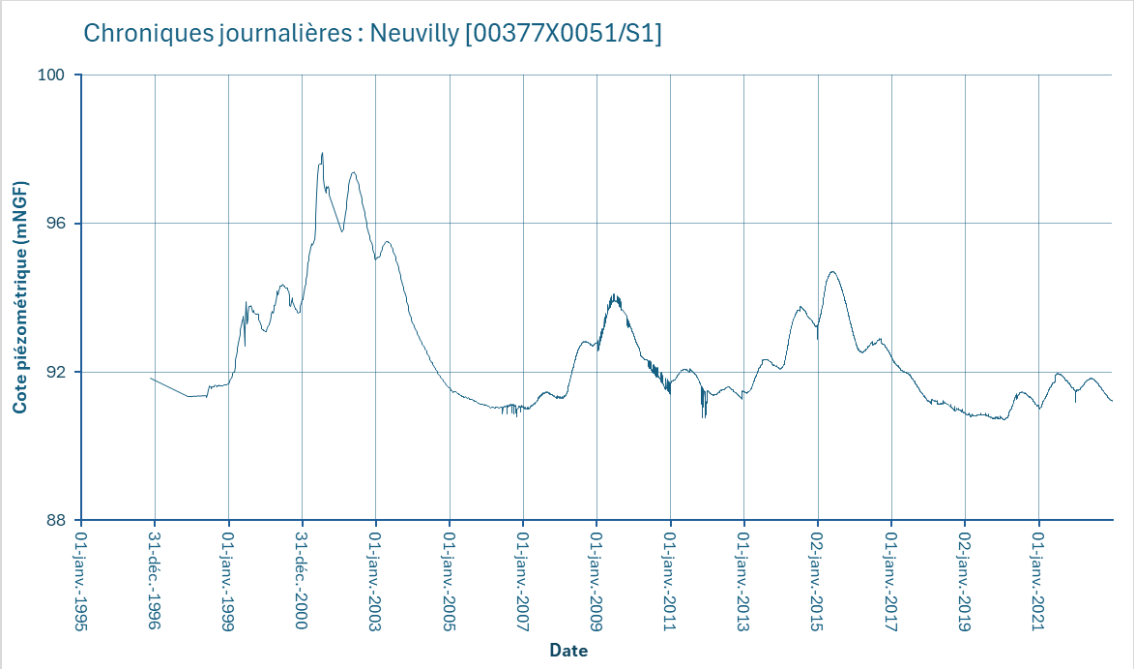


Figure 10 : Illustration de la cyclicité pluriannuelle pure sur le piézomètre 00377X0051/S1 au sein de la Craie du Cambrésis

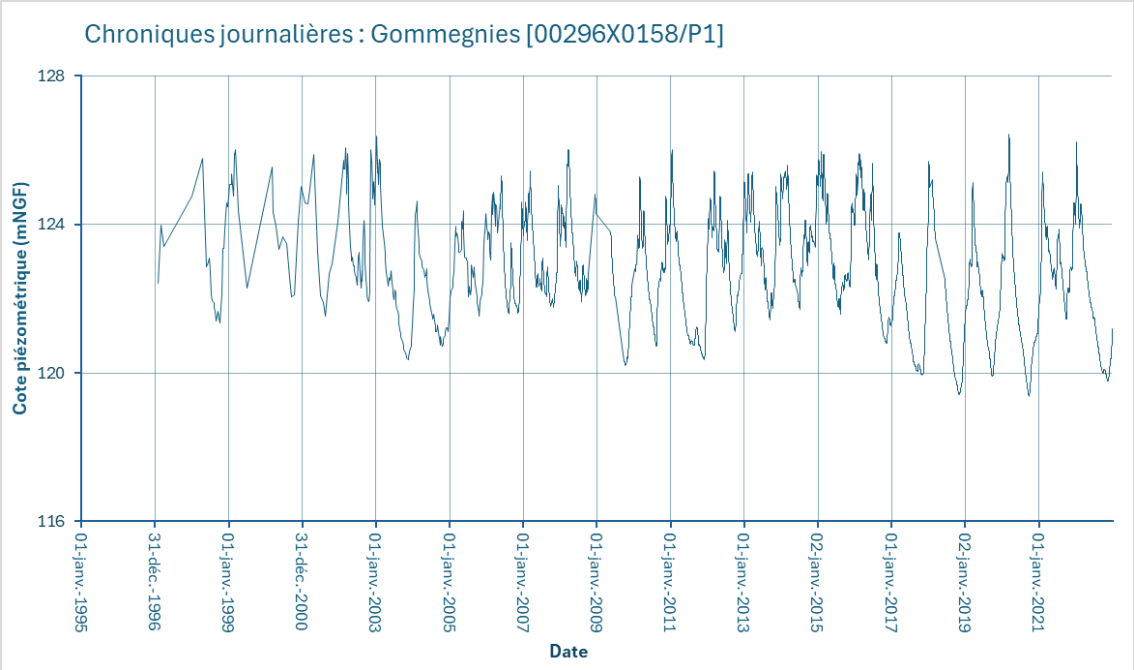


Figure 11 : Illustration de la cyclicité annuelle pure sur le piézomètre 00296X0158/P1 au sein de la Craie du Valenciennois

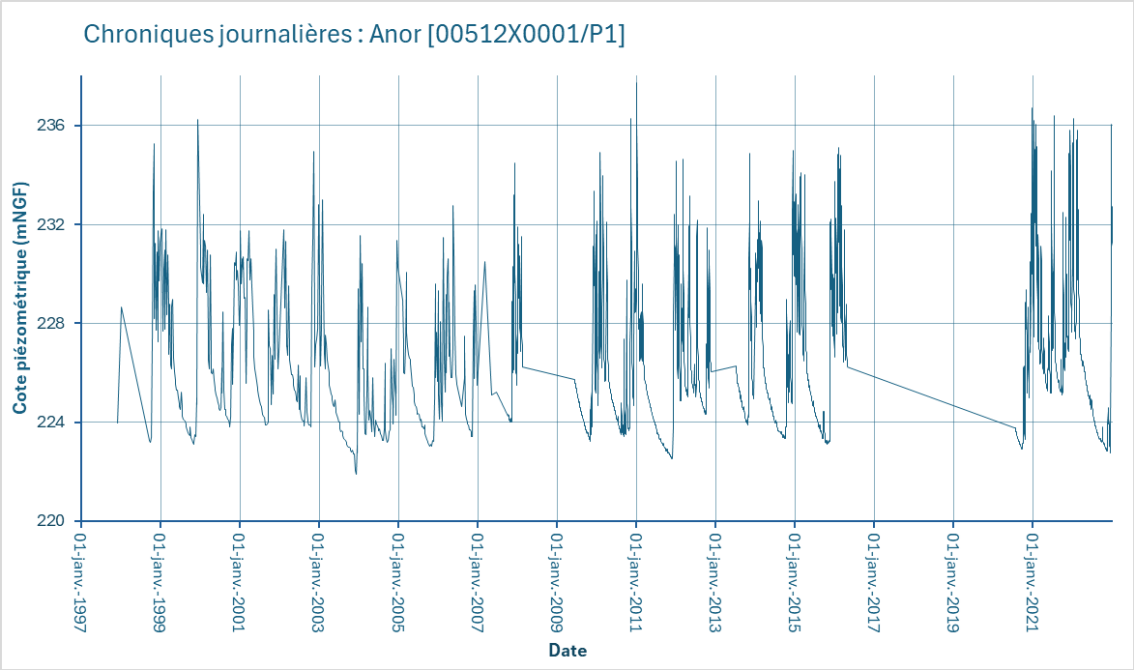


Figure 12 : Illustration de la cyclicité annuelle pure sur le piézomètre 00512X0001/P1 au socle ardennais

Cette *inertie constatée sur la une grande partie du territoire du SAGE,* en particulier au sein des calcaires de l'Avesnois ainsi que de la Craie du Cambrésis, joue un *rôle important dans les débits observés* à l'étiage sur les cours d'eau, et conditionne ainsi largement les *dépassements de seuils hydrologiques*. Dans cette logique, l'influence des prélèvements sur le franchissement des seuils ou plus largement sur la tension de la ressource, sera très dépendante du *positionnement de l'année dans le cycle pluriannuel de la nappe*.

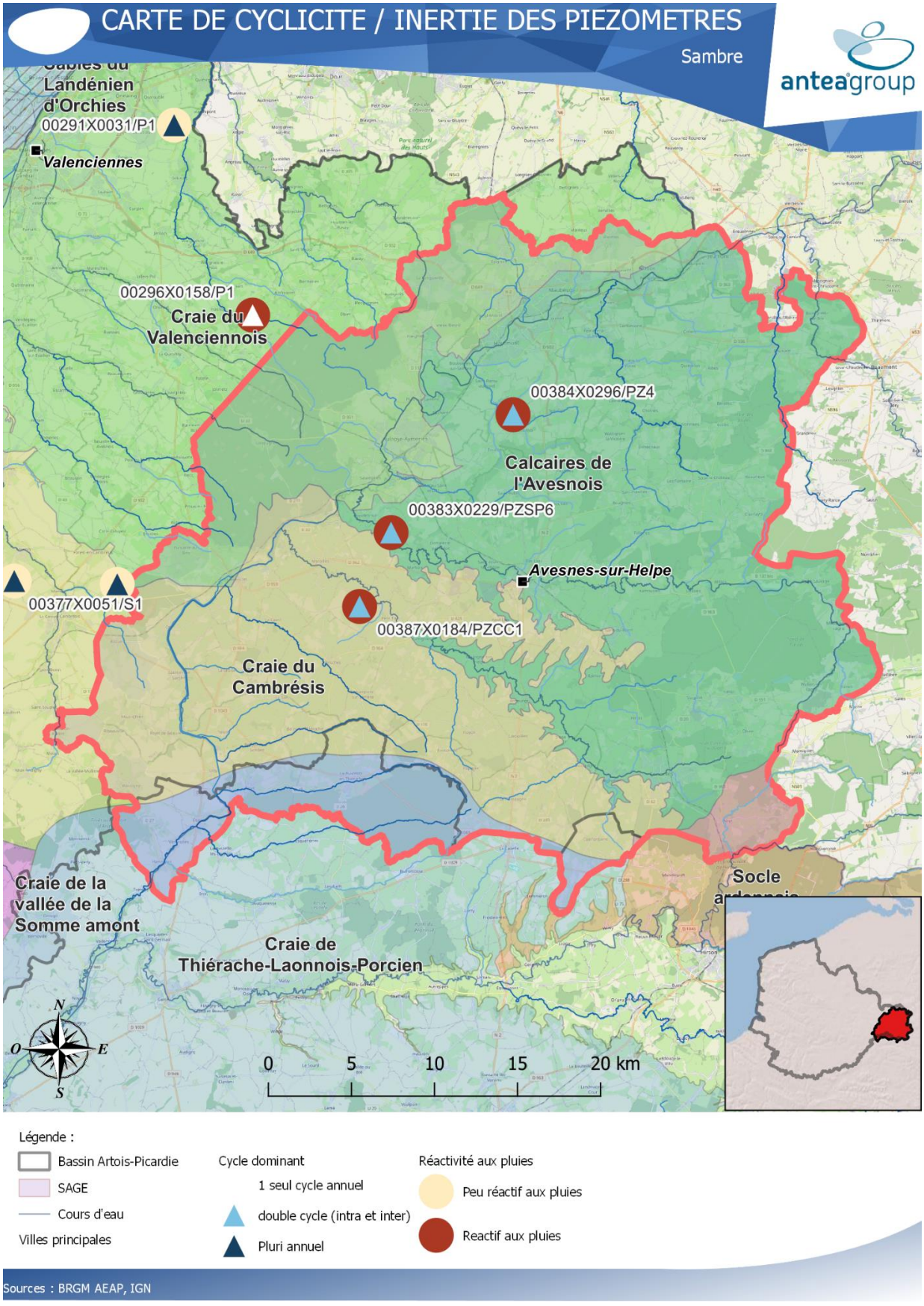


Figure 13 : Carte de cyclicité de piézomètres présents sur le territoire du SAGE

3.3 Indicateurs de ressource en eau

3.3.1 Indicateurs hydrologiques

En considérant les données disponibles, des indicateurs *de franchissement du QMNA$_5$*, témoin de tensions, sont *constatés sur chacune des stations analysées*. Ces franchissements sont importants en nombre sur la période d'analyse disponible, avec des variations selon le positionnement des stations sur les cours d'eau (cf. Figure 14 et Figure 20).

De l'analyse faite, les résultats obtenus sont les suivants :

- Sur l'*Helpe Mineure* (observée, de l'amont vers l'aval, à Fournies, Etroeungt et Maroilles), des franchissements de QMNA$_5$ sont constatés :
    - Sur *toute la période 1991 à 2006*, les plus importants en nombre diminuant de l'amont vers l'aval.
        - Ainsi, à Fournies, seules les années 1992, 1993 (plus marquées) et dans une moindre mesure 1996 et 1999 sont concernées.
        - A Etroeungt, la période de franchissement s'étend sur 1991, de 1994 à 1997, et de 2002 à 2006, 1997 et 2003 étant les plus importants.
        - A Maroilles, les franchissements de seuils sont observés sur toute la période (excepté en 1992), avec les années 1994, 1995, 1997, 2003 et 2005 pour les plus importants.
    - Sur *toute la période 2008 à 2022*, les plus importants en nombre diminuant également de l'amont vers l'aval, mais de manière moins marquée.
        - Ainsi, à Fournies, seules les années 2012, 2013 et 2015 à 2021 sont concernées, les franchissements de seuil les plus importants en nombre de jours dans l'année se situant entre 2016 et 2020.
        - A Etroeungt, la période de franchissement s'étend sur 2008 à 2013, 2017 à 2020, ainsi qu'en 2022, 2011 et 2019 étant les plus importants.
        - A Maroilles, les franchissements de seuils sont constants sur toute la période 2009 à 2021, avec les années 2017 et 2018 pour les plus importants.
- Sur l'*Helpe Majeure* (observée, de l'amont vers l'aval, à Flaumont-Waudrechies[8], à Liessies et Taisnières-en-Thiérache), des franchissements de QMNA$_5$ sont constatés
    - Sur *toute la période 1991 à 2006*, avec une importance variable :
        - Sur la station de Liessies, à l'exception de 2006, les plus importants en nombre de jours de franchissement dans l'année se situant en 1993, 1994, 1996, 1997, 1999, et 2003 à 2005.

[8] Données exploitables à partir de 2007 pour cette station

        - A Taisnières-en-Thiérache, la période de franchissement s'étend sur 1991 à 2006, à l'exception de 1992, 1996 et 2000. Les années présentant le plus grand nombre de jours de franchissement sont 1991 et 2003.

    - Sur *la période 2008 à 2021*, les franchissements de seuils de $QMNA_5$ apparaissent moins importants sur l'Helpe majeure :

        - Peu d'années où ces franchissements sont observés sur les stations de Leissies (en 2010 de manière significative) et quasiment aucun sur celle de Taisnières-en-Thiérache.

        - En revanche, sur la station la plus en amont de Flaumont-Waudrechies, de nombreux franchissements sont observés en 2009 et principalement sur la période 2017 à 2021.

En dehors de l'Helpe mineure et de l'Helpe majeure, les franchissements de $QMNA_5$ apparaissent très variables selon les années pour lesquelles les estimations ont pu être faites :

- Nombreux sur *la Flamenne à Maubeuge*, en particulier en 2004, 2006, 2009, 2011, 2013, 2017 et 2018, 2020 pour les plus importants.

- Assez nombreux également sur *la Solre à Choisies* (1998, 2003, 2005 et 2006, et sur toute la période 2017 à 2020), ainsi que sur *la Solre à Ferrière-la-Grande* (mais uniquement en 1991, 1996, 2017 à 2020 et en 2022).

- Sur *la Tarsy à Monceau-Saint-Waast* (données disponibles à partir de 1994), sur la période 1995 à 1998, en 2003 et 2004, puis en 2022 à la suite d'une longue période d'absence de franchissements entre 2006 et 2021.

- Sur *le ruisseau des Guides à Maubeuge* (données disponibles à partir de 1996), les franchissements de seuils de $QMNA_5$ se concentrent uniquement sur la période 2015 à 2019 avec des nombres de jours de franchissement importants pour les années concernées.

- Sur *le Cligneux à Saint-Remy-du-Nord* (données disponibles à partir de 1997), les franchissements de seuils de $QMNA_5$ sont observés de 1999 à 2008, en 2010, de 2012 à 2014, ainsi qu'en 2017 et 2018. Les plus importants en intensité sont identifiés en 1999 et 2000.

- Enfin, *la Sambre canalisée à Marpente* (données disponibles à partir de 2005), présente des débits journaliers avec un franchissement du $QMNA_5$ moins important pour les années concernées, excepté 2019 et 2022.

La Figure 14 ci-dessous met en évidence que les franchissements de QMNA5 concernent la majeure partie des cours d'eau situés sur le territoire et quasiment toutes les années d'observation sur la période 1991-2022, avec une répartition très variable.

Les moyennes du nombre de jours de franchissements par année permettent de cibler quelques périodes où ces franchissements ont été plus importants dans l'ensemble[9] (supérieurs à 25 jours), notamment 1991, 1993, 1995 à 1997, 1999, 2003 à 2005, 2017 à 2020 ainsi que 2022.

Ces observations sont à mettre en relation avec la nature calcaires principalement présente sur le territoire, mais également l'Helpe majeure et l'Helpe mineure, avec la présence de carrières en

[9] Les données sont complètes pour les 13 stations à partir de 2007

exploitation sur les bassins versants avec pompage pour permettre une exploitation à sec et rejet dans les cours d'eau.

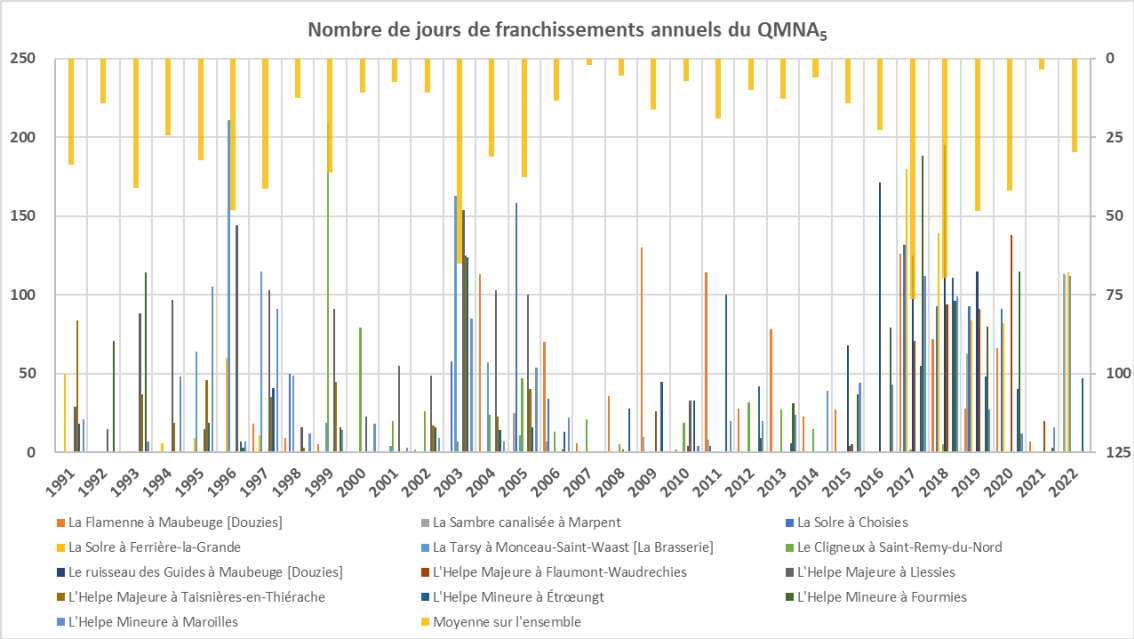


Figure 14 : Evolution du nombre de jours de franchissements du $QMNA_5$

La comparaison de l'évolution des QMNA observés sur les stations de l'*Helpe Mineure à Maroilles* (Figure 15), l'*Helpe Majeure à Taisnières-en-Thiérache* (Figure 16), la *Solre à Ferrière-la-Grande* (Figure 17), *la Tarsy à Monceau-Saint-Waast* (Figure 18) ou encore *le Cligneux à Saint-Remy-du-Nord* (Figure 19), avec les $QMNA_5$ secs, biennaux et humides, traduit des *tendances évolutives différentes* (exception faite de 2021) :

- Un rapprochement des débits mensuels minimaux annuels observés sur les dernières années vers un niveau de $QMNA_5$ plutôt biennal pour l'Helpe Majeure à Taisnières-en-Thiérache.
- Un rapprochement marqué des débits mensuels minimaux annuels observés sur les dernières années vers un niveau de $QMNA_5$ plutôt sec pour l'Helpe Mineure à Maroilles.
- Un rapprochement des débits mensuels minimaux annuels observés sur les dernières années sous le niveau de $QMNA_5$ sec pour la Solre à Ferrière-la-Grande.
- En revanche, une tendance des débits mensuels minimaux annuels observés sur les dernières années à un niveau situé entre le $QMNA_5$ biennal et le $QMNA_5$ humide pour le Cligneux à Saint-Remy-du-Nord.
- En revanche, une tendance des débits mensuels minimaux annuels observés sur les dernières années à un niveau supérieur au niveau de $QMNA_5$ humide pour la Tarcy à Monceau-Saint-Vaas.

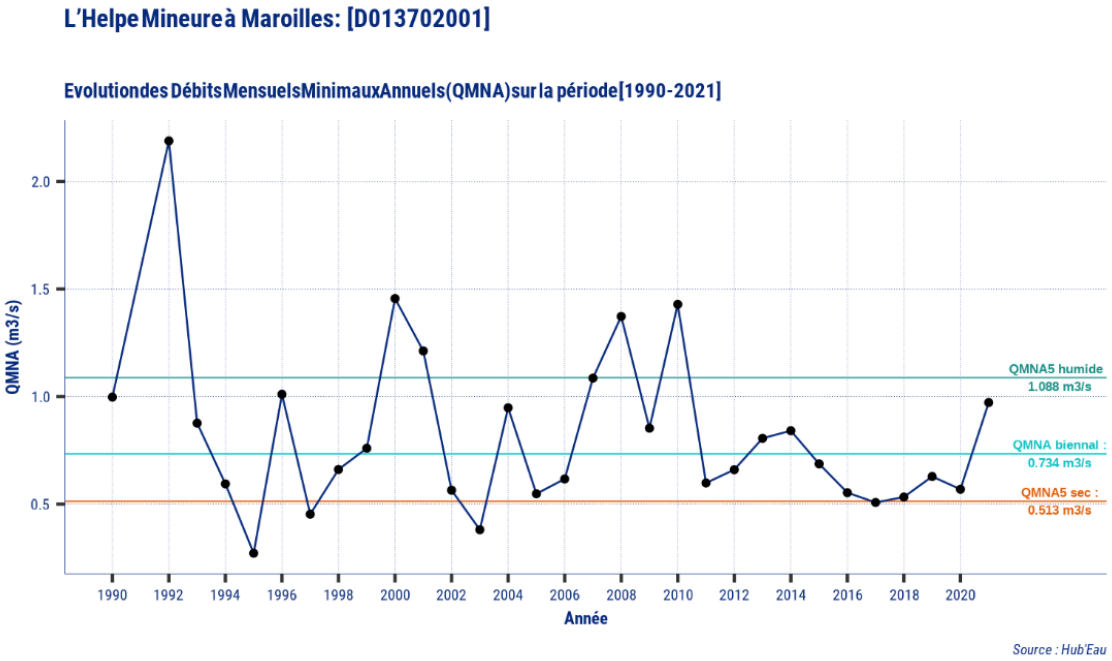


Figure 15 : Evolution des QMNA sur la station de l'Helpe Mineure à Maroilles vis-à-vis du QMNA quinquennal (sec et humide) et du QMNA biennal

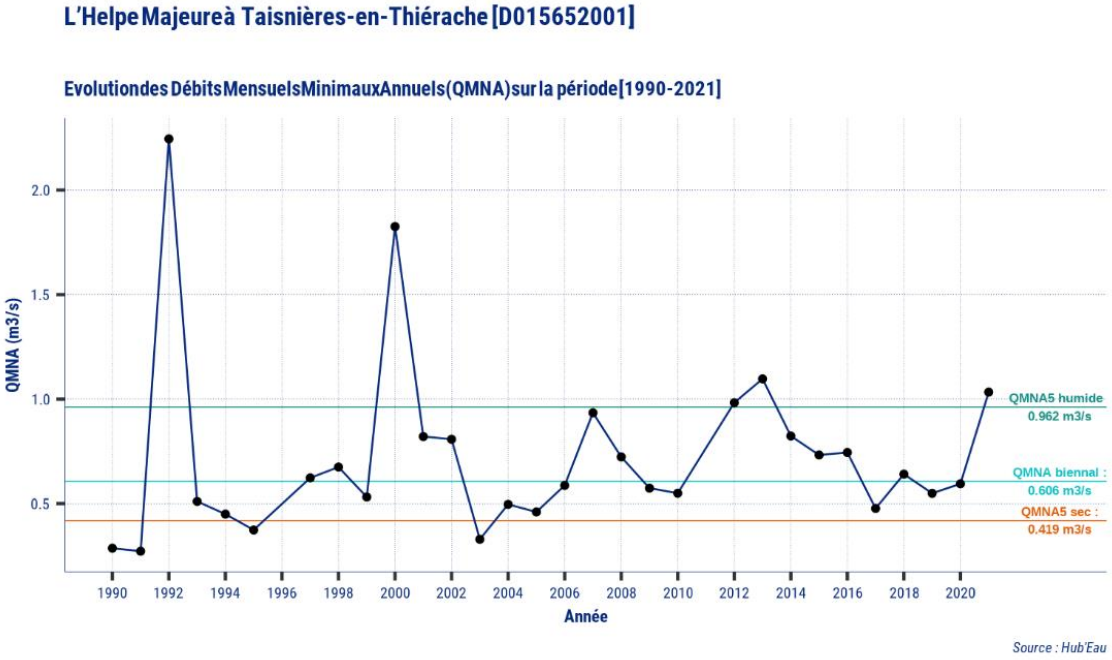


Figure 16 : Evolution des QMNA sur la station de l'Helpe Majeure à Taisnières-en-Thiérache vis-à-vis du QMNA quinquennal (sec et humide) et du QMNA biennal

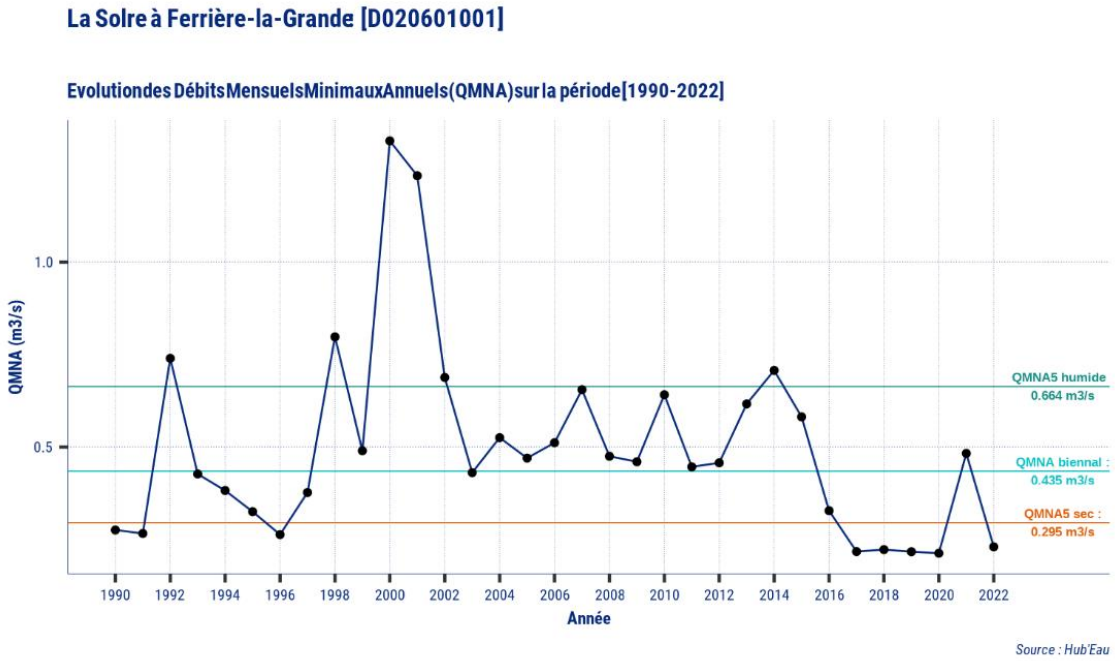


Figure 17 : Evolution des QMNA sur la station de la Solre à Ferrière-la-Grande vis-à-vis du QMNA quinquennal (sec et humide) et du QMNA biennal

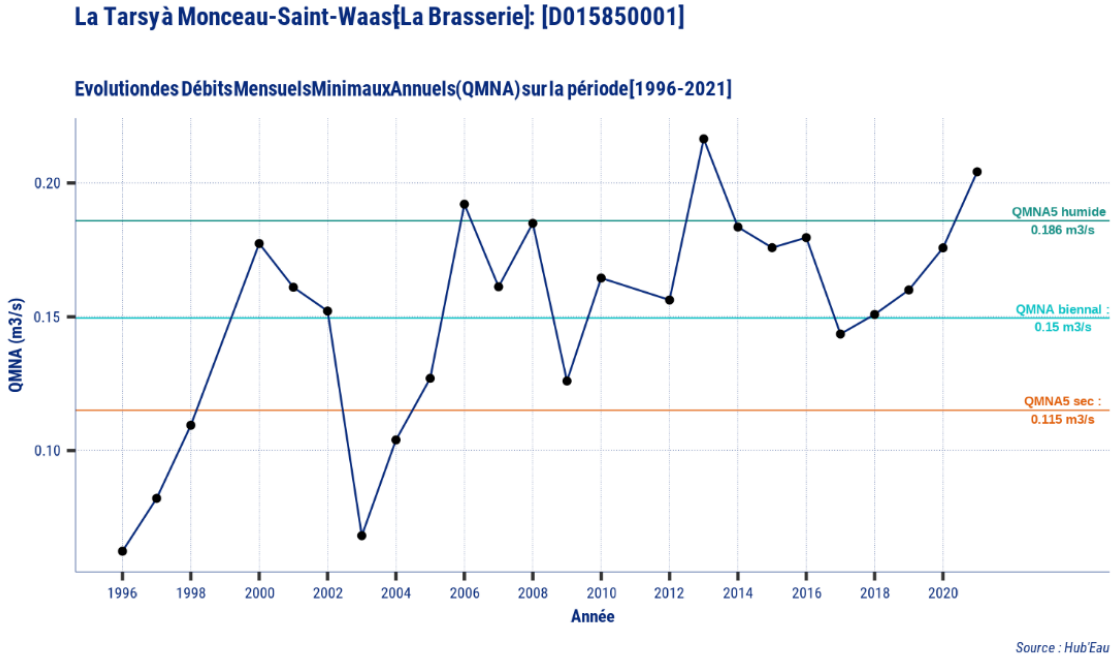


Figure 18 : Evolution des QMNA sur la station de la Tarcy à Monceau-Saint-Vaas vis-à-vis du QMNA quinquennal (sec et humide) et du QMNA biennal

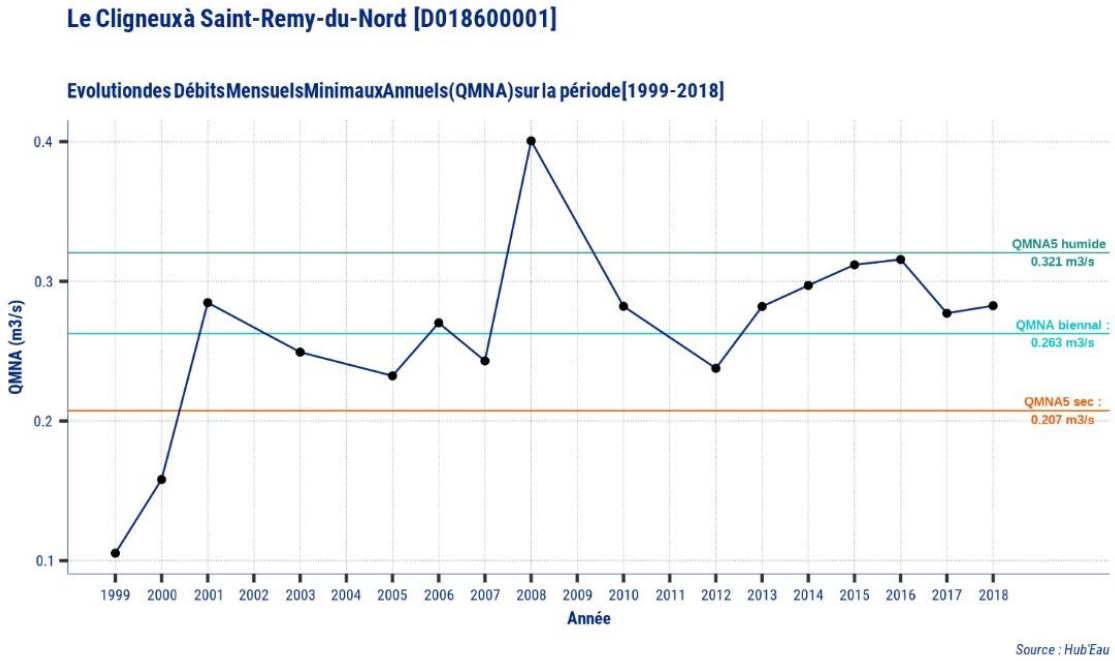


Figure 19 : Evolution des QMNA sur la station du Cligneux à Saint-Rémy-du-Nord vis-à-vis du QMNA quinquennal (sec et humide) et du QMNA biennal

Les indicateurs d'assec du réseau ONDE (cf. Figure 21) sur les différentes stations d'observation :

Sont *très limités voire non constatés* sur la quasi-totalité des têtes de bassin,

Excepté pour La Rivierette à Prisches et dans une moindre mesure pour Le Ruisseau de Montbliart à Eppe-Sauvage lors des années 2017 à 2020.

On note également, sur *Bergues sur sambre* en 2017 et 2018, *La Rivierette à Prisches* en 2016, *La rivière du Pont de Sains à Etroeungt* en 2018 et sur *Le Ruisseau de Montbliart à Eppe-Sauvage* en 2016, la présence d'absence d'écoulement sur ces cours d'eau.

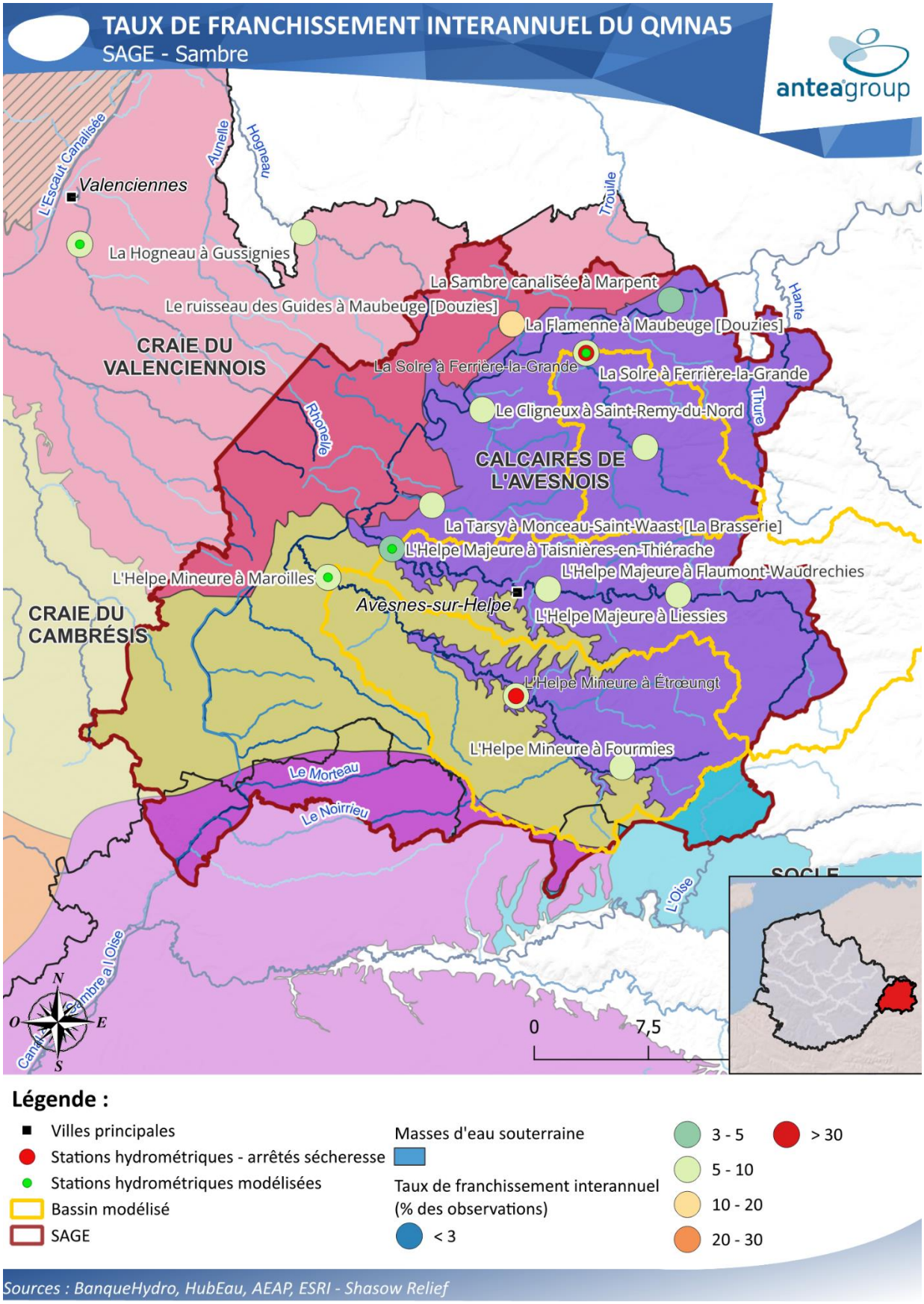


Figure 20 : Cartographie des taux de franchissement interannuel du $QMNA_5$

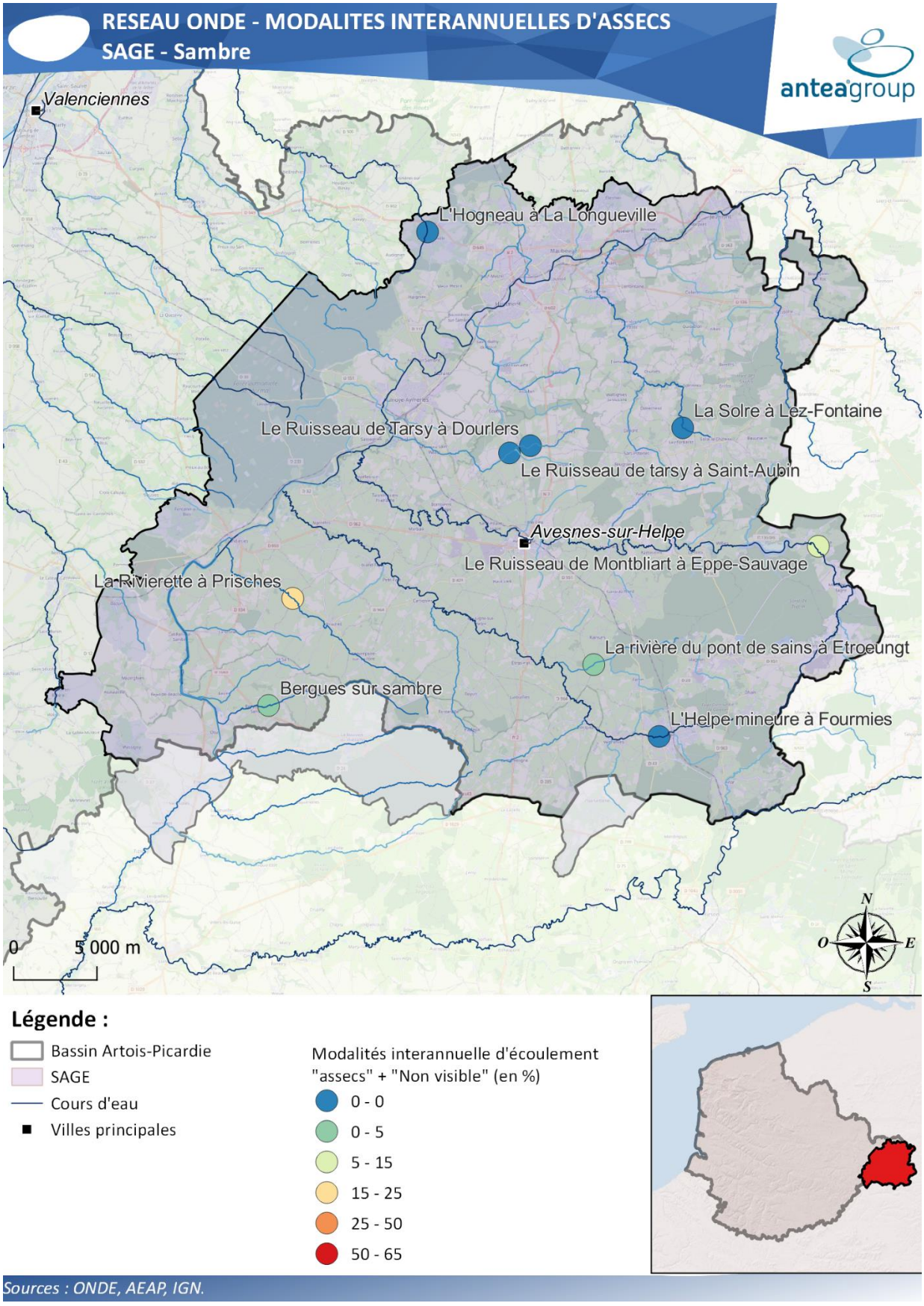


Figure 21 : Cartographie des modalités interannuelles d'assecs observés sur le réseau ONDE

Les *nombres de jours de franchissement des seuils d'arrêtés sècheresse* observés sur les deux stations hydrologiques de référence, *La Solre à Ferrière-la-Grande et L'Helpe Mineure à Étrœungt*, sont les suivants[10] :

Code station	Nom station	Années de franchissement de seuil (taux maximum de franchissement de seuil sur la période)				
		Seuil de vigilance	Seuil de vigilance renforcée	Seuil d'alerte	Seuil d'alerte renforcée	Seuil de crise
D020601001	La Solre à Ferrière-la-Grande	1991-1999 (64%) 2003-2007 (19%) 2011 (1%) 2014 (<1%) 2016-2022 (86%)	1991-1997 (48%) 2003-2004 (2%) 2016-2022 (76%)	1991-1993 (7%) 1995-1997 (33%) 2016-2022 (62%)	1991 (4%) 1996-1997 (14%) 2017-2020 (46%) 2022 (1%	1991 (<1%) 1996-1997 (6%) 2017 (21%)
D013701001	L'Helpe Mineure à Étrœungt[11]	1991-2014 (62%) 2017-2022 (54%)	1991-1992 (13%) 1994-1998 (15%) 2002-2014 (52%) 2017-2020 (38%) 2022 (35%)	1991-1992 (7%) 1995-1997 (6%) 2003-2004 (34%) 2006 (1%) 2009-2013 (25%) 2017-2020 (11%) 2022 (%)	1992 (<1%) 1995-1996 (2%) 2003-2004 (10%) 2009-2011 (17%) 2013 (<1%) 2017-2018 (<1%)	2011 (3%) 2013 (<1%)

On constate sur ces deux cours d'eau, que les *franchissements de seuils d'arrêtés sècheresse* sont *fréquents* et *importants*, avec des seuils de vigilance et vigilance renforcée franchis pour 30 années sur la période 1991-2022 pour *L'Helpe Mineure à Étrœungt*, et 23 années pour *La Solre à Ferrière-la-Grande*.

Les seuils d'alerte et alerte renforcée sont franchis pour 18 années sur la période 1991-2022 pour *L'Helpe Mineure à Étrœungt*, et 13 années pour *La Solre à Ferrière-la-Grande*.

Seules, les années 2 années pour *L'Helpe Mineure à Étrœungt* voient des franchissements de seuils de crise (2011 et 2013) et 4 années pour *La Solre à Ferrière-la-Grande* (1991, 1996-1997 et 2017).

Une *analyse des déficits d'écoulement à l'étiage* (estimation du nombre de jours et du volume « manquant » en deçà d'un débit statistique Q15, représentant le débit journalier observé 15 % du temps dans la chronique) fait ressortir les *cycles d'années, variables* selon les stations, présentant des *étiages plus ou moins sévères et plus ou moins longs*, assortis de *volumes déficitaires à l'écoulement relativement important*.

Dans le cas des 5 stations présentées dans les figures suivantes, pour les *étiages les plus importants* (plus de 50 jours et avec des volumes déficitaires marqués), on retiendra particulièrement, avec les données disponibles :

- L'année *1991* pour les stations sur la Solre à Ferrière-la-Grande et sur l'Helpe Majeure à Taisnières-en-Thiérache.
- L'année *1993* pour la seule station sur l'Helpe Majeure à Taisnières-en-Thiérache.

[10] Les % indiqués correspondent au % maximum du nombre de jours concernés dans l'année du cycle de dépassement

[11] Lacunes de données sur cette station en 2015

- Les années *1994 à 1997* pour l'ensemble des stations pour lesquelles on dispose de données, avec des volumes déficitaires marqués pour ces deux stations. La station sur la Tarsy à Monceau-Saint-Waast connaît un prolongement sur l'année 1998, mais avec un étiage moins sévère en termes de volume déficitaire.

- L'année *1999* pour les stations sur la Tarsy à Monceau-Saint-Waast, l'Helpe Majeure à Taisnières-en-Thiérache et le Cligneux à Saint-Rémy-du-Nord (qui se prolonge en 2000 pour cette dernière).

- Sur la période *2002 à 2006*, les étiages sont plus ou moins importants selon les stations, tant en durée qu'en intensité, les stations les plus concernées étant celles sur l'Helpe Majeure à Taisnières-en-Thiérache (sur toute la période), l'Helpe Mineure à Maroilles (en 2003, 2005 et 2006), le Cligneux à Saint-Rémy-du-Nord mais avec des volumes déficitaires plus faibles (2002 et 2004 à 2006). La Tarsy à Monceau-Saint-Waast ne présente des étiages importants que sur la période 2003 à 2005, avec des volumes déficitaires réduits excepté en 2003. Enfin, la Solre à Ferrière-la-Grande ne semble pas avoir été affectée par des étiages importants sur cette période.

- La période *2007 à 2016* se présente sur ces stations avec des étiages peu marqués en règle générale, avec une forte variabilité selon les années et les stations : 2009 pour la Tarsy à Monceau-Saint-Waast, 2009 et 2010 pour l'Helpe Majeure à Taisnières-en-Thiérache, 2011 pour le Cligneux à Saint-Rémy-du-Nord, 2011, 2015 et 2016 pour l'Helpe Mineure à Maroilles, 2016 pour la Solre à Ferrière-la-Grande.

- La période *2017 à 2022* se caractérise par la présence d'étiages plus importants (excepté 2021), avec toujours une forte variabilité selon les années et les stations observées. Ainsi, on peut citer pour les plus marqués :

- L'année 2017 pour la Solre à Ferrière-la-Grande, l'Helpe Majeure à Taisnières-en-Thiérache ou encore l'Helpe Mineure à Maroilles.

- L'année 2018 pour la Solre à Ferrière-la-Grande, l'Helpe Majeure à Taisnières-en-Thiérache ou encore l'Helpe Mineure à Maroilles.

- L'année 2019 pour la Solre à Ferrière-la-Grande et Mineure à Maroilles.

- L'année 2020 pour la Solre à Ferrière-la-Grande, l'Helpe Majeure à Taisnières-en-Thiérache ou encore l'Helpe Mineure à Maroilles.

- L'année 2022 pour la Solre à Ferrière-la-Grande et Mineure à Maroilles, mais également pour la Tarsy à Monceau-Saint-Waast.

Ces résultats témoignent de la *forte variabilité* de la *durée* et de *l'intensité des étiages* qui affectent les *différents cours d'eau* présents sur le territoire du SAGE, à rapprocher de la nature de leurs bassins versants (essentiellement constitué par les Calcaires de l'Avesnois avec des recouvrements variables). On rappelle également la présence des exploitations de carrières en particulier sur les bassins versants de l'Helpe Mineure et de l'Helpe Majeure qui peuvent assurer des soutiens d'étiage sur ces deux cours d'eau au travers des rejets d'eaux d'exhaure réalisés.

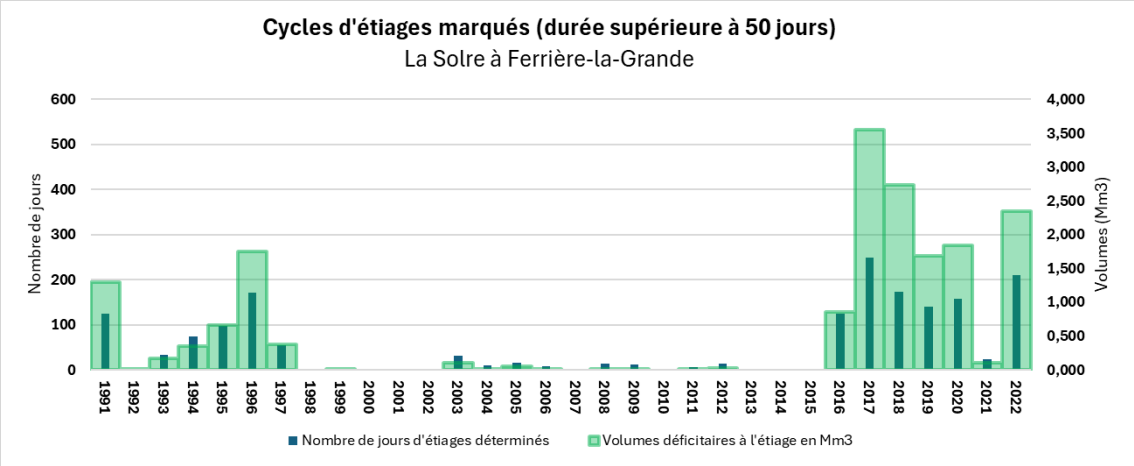


Figure 22 : Analyse des durées d'étiage et des volumes déficitaires correspondants sur la station hydrologique sur la Solre à Ferrière-la-Grande

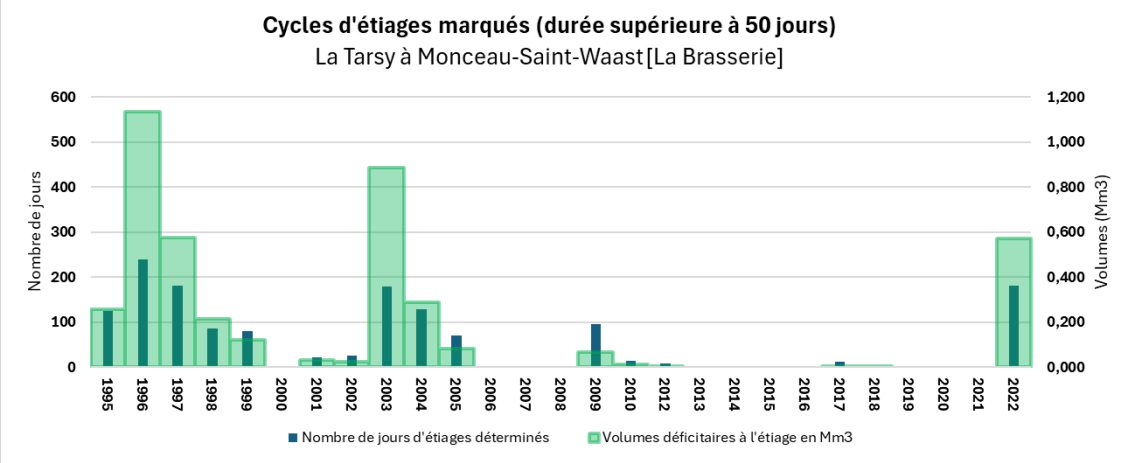


Figure 23 : Analyse des durées d'étiage et des volumes déficitaires correspondants sur la station hydrologique sur la Tarcy à Monceau-Saint-Waast

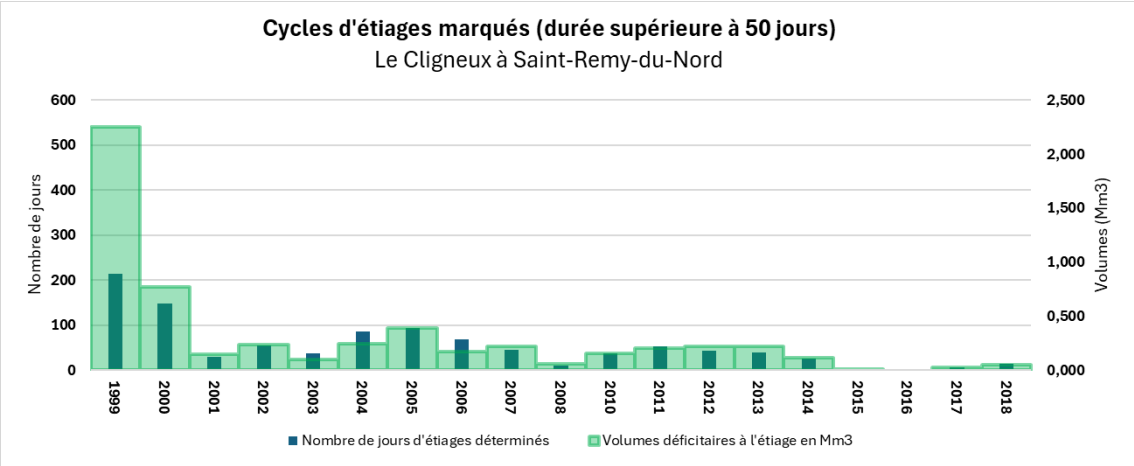


Figure 24 : Analyse des durées d'étiage et des volumes déficitaires correspondants sur la station hydrologique sur le Cligneux à Saint-Rémy-du-Nord

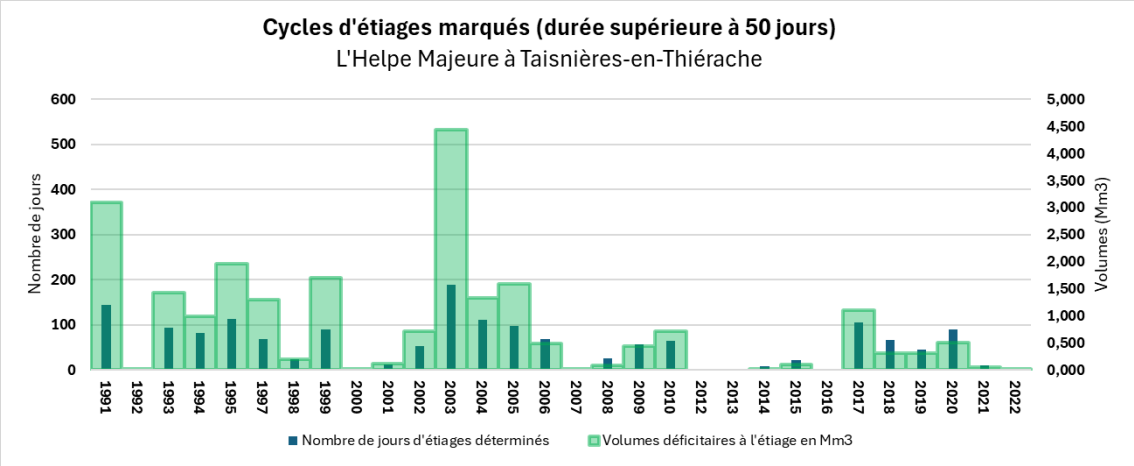


Figure 25 : Analyse des durées d'étiage et des volumes déficitaires correspondants sur la station hydrologique sur l'Helpe Majeure à Taisnières-en-Thiérache

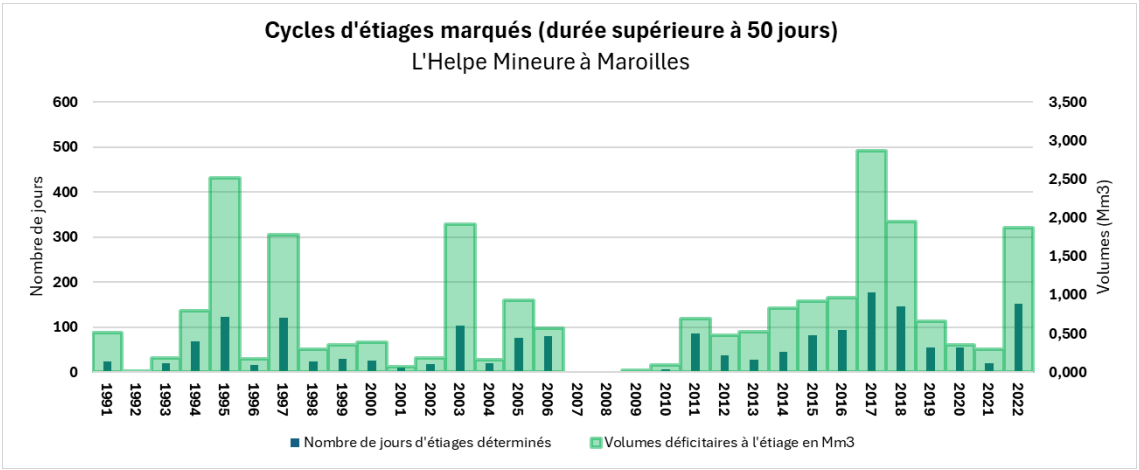


Figure 26 : Analyse des durées d'étiage et des volumes déficitaires correspondants sur la station hydrologique sur l'Helpe Mineure à Maroilles

Les graphiques ci-dessous illustrent l'évolution des débits sur ces stations :

- Pour l'année 2022 à titre de comparaison sur les stations de la Solre à Ferrière-la-Grande, la Tarcy à Monceau-Saint-Waast ainsi que pour la station sur l'Helpe Mineure à Maroilles, marquées par des étiages de longue durée. En complément, la station sur l'Helpe Majeure à Taisnières-en-Thiérache ne semble pas avoir été affectée par un étiage important sur cette année 2022, du fait probable d'un soutien par les rejets des eaux d'exhaure des carriers.
- Pour l'année 2003 pour la station sur l'Helpe Majeure à Taisnières-en-Thiérache et l'année 1999 pour la station sur le Cligneux à Saint-Rémy-du-Nord, représentatives des étiages les plus sévères sur ces deux stations.

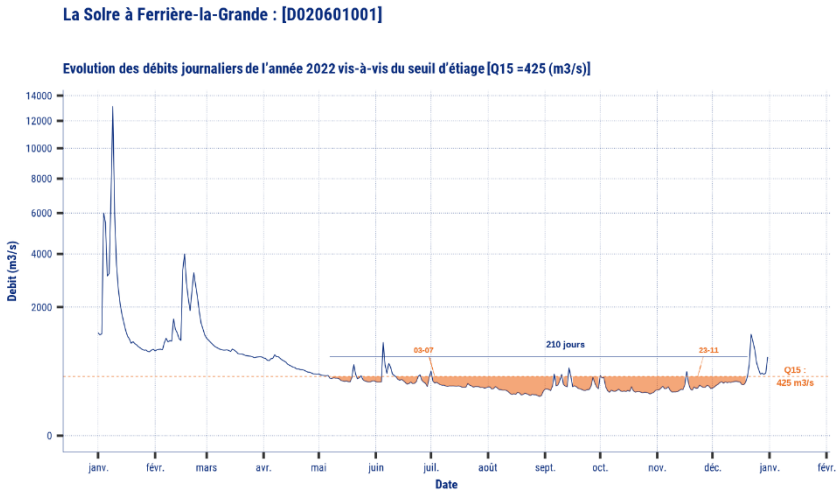


Figure 27 : Analyse de l'étiage de l'année 2022 sur la station sur la Solre à Ferrière-la-Grande (déficit à l'écoulement et durée d'étiage)

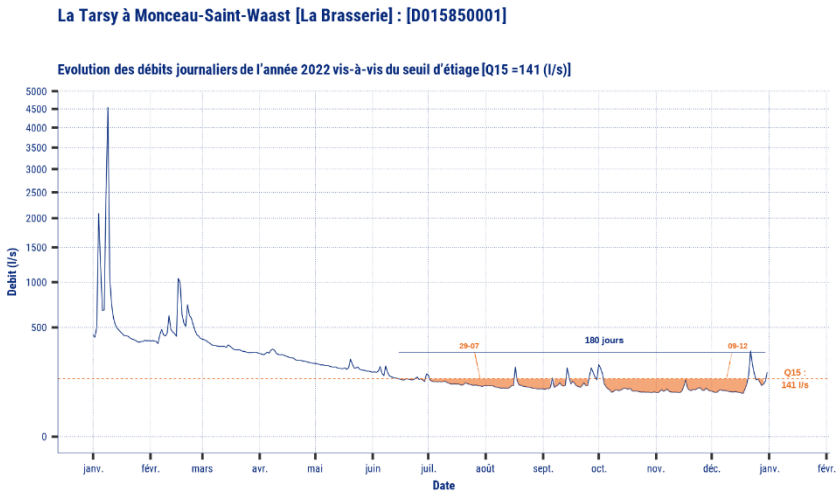


Figure 28 : Analyse de l'étiage de l'année 2022 sur la station sur la Tarsy à Monceau-Saint-Waast (déficit à l'écoulement et durée d'étiage)

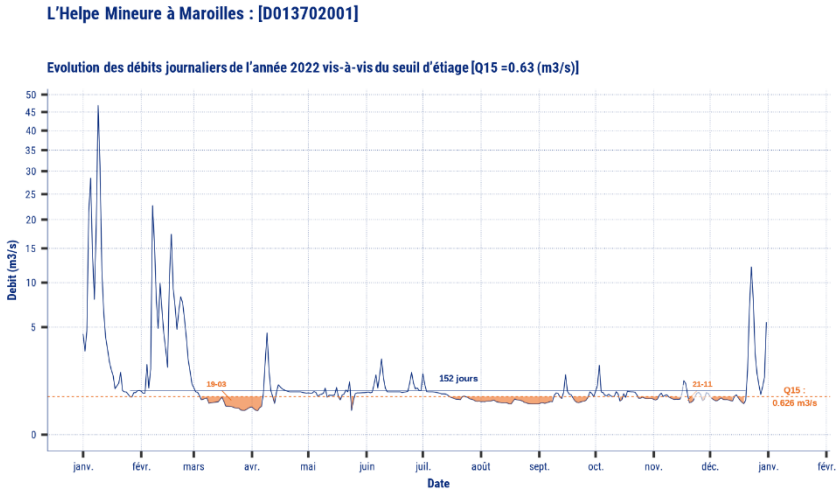


Figure 29 : Analyse de l'étiage de l'année 2022 sur la station sur l'Helpe Mineure à Maroilles (déficit à l'écoulement et durée d'étiage)

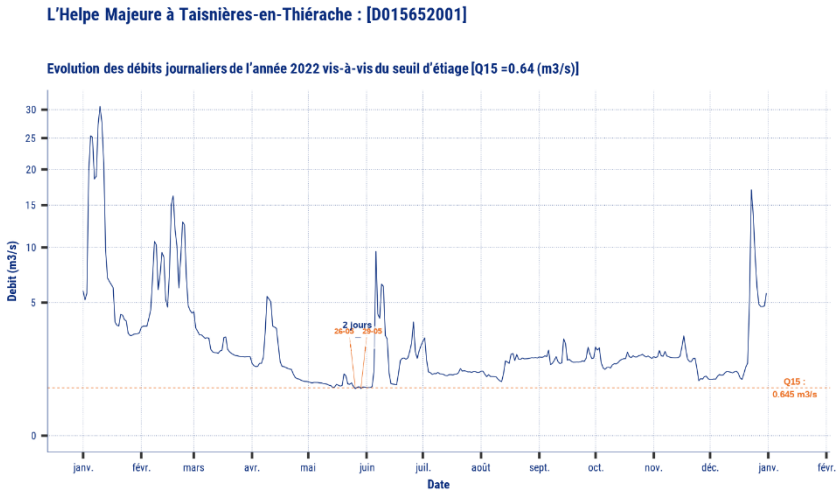


Figure 30 : Analyse de l'étiage de l'année 2022 sur la station sur l'Helpe Majeure à Taisnières-en-Thiérache (déficit à l'écoulement et durée d'étiage)

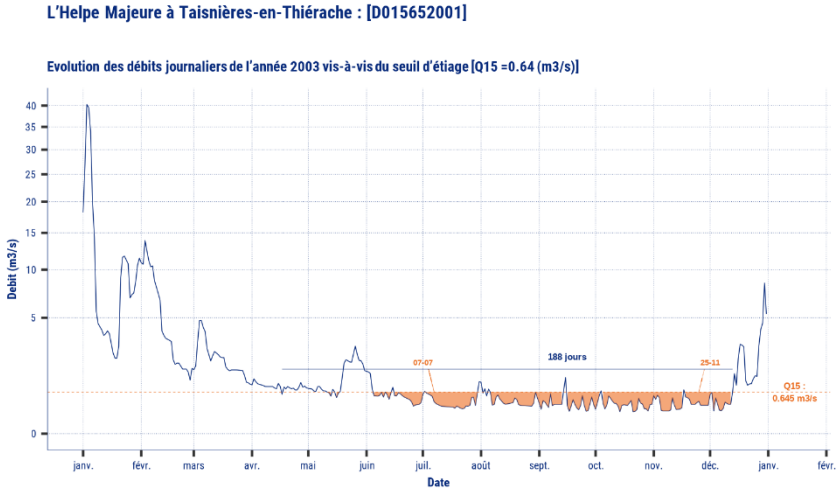


Figure 31 : Analyse de l'étiage de l'année 2003 sur la station sur l'Helpe Majeure à Taisnières-en-Thiérache (déficit à l'écoulement et durée d'étiage)

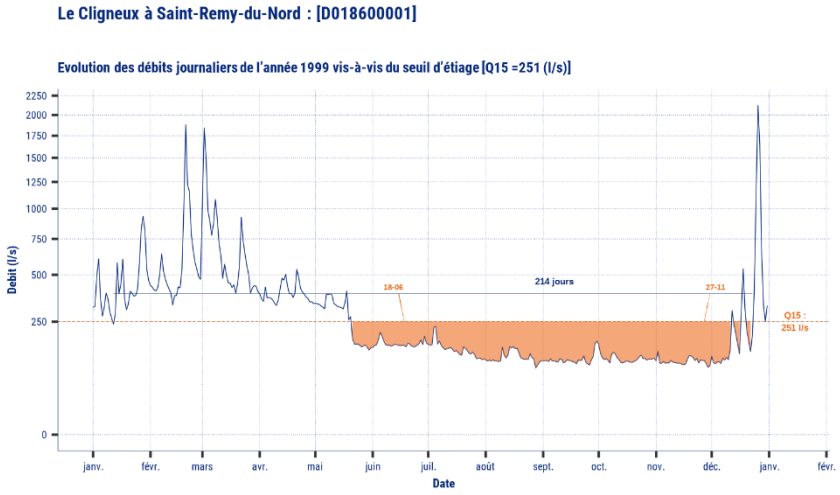


Figure 32 : Analyse de l'étiage de l'année 1999 sur la station sur le Cligneux à Saint-Rémy-du-Nord (déficit à l'écoulement et durée d'étiage)

3.3.2 Indicateurs de franchissement des seuils piézométriques

Les *analyses de franchissements du HMNA$_5$* ont été effectuées sur les *3 piézomètres* présents sur le territoire du SAGE, servant tous de référence pour la détermination des seuils de prise des arrêtés sècheresse, s'adressant tous à la masse d'eau des *Calcaires de l'Avesnois*, sur les périodes pour lesquelles les données se sont avérées suffisantes pour permettre l'analyse (cf Figure 33) :

- 2008, 2011, 2013 ainsi que 2016 à 2022 pour le piézomètre 00384X0296/PZ4 situé à Limont-Fontaine, en partie plutôt Nord du territoire, à proximité de la carrière CBS.
- 2010 à 2018 ainsi que 2022 pour le piézomètre 00383X0229/PZSP6 situé à Taisnières-en-Thiérache, en partie centrale du territoire et à proximité de l'Helpe Majeure.
- 2007 et 2009 à 2022 pour le piézomètre 00387X0184/PZCC1, le plus au Sud, situé à Grand-Fayt, à proximité de l'Helpe Mineure.

Pour ces années d'observation, les *franchissements du HMNA$_5$* apparaissent limités et se concentrent principalement sur la période 2017 à 2020, ainsi qu'en 2022, 2017 étant l'année présentant le nombre de jours de franchissement le plus important.

Pour ces *trois piézomètres* identifiés comme *piézomètres de référence d'alerte sécheresse* avec des seuils réglementaires de franchissement définis, les résultats sont les suivants :

Commune	Code BSS	Années de franchissement de seuil (taux maximum de franchissement de seuil sur la période)[12]				
		Seuil de vigilance	Seuil de vigilance renforcée	Seuil d'alerte	Seuil d'alerte renforcée	Seuil de crise
Limont-Fontaine	00384X0296/PZ4[13]	2004-2006 (50%) 2009-2012 (50%) 2016-2022 (100%)	2004-2005 (10%) 2010-2012 (24%) 2017-2020 (100%) 2022 (14%)	2017-2019 (92%)	Pas de seuil défini	Pas de seuil défini
Taisnières-en-Thiérache	00383X0229/PZSP6[14]	1991-1992 (10%) 1994-1999 (13%) 2004-2019 (100%) 2021-2022 (85%)	1991-1992 (6%) 1995-1998 (12%) 2004-2019 (100%) 2021-2022 (80%)	1991-1992 (3%) 1996-1997 (8%) 2006-2019 (100%) 2021-2022 (78%)	1996 (4%) 2007-2019 (100%) 2021-2022 (75%)	2008 (<1%) 2010-2014 (22%) 2016-2019 (97%) 2022 (37%)
Grand-Fayt	00387X0184/PZCC1	1991-2007 (15%) 2009-2012 (56%) 2014-2022 (97%)	1991-1993 (1%) 1995-2006 (15%) 2011 (15%) 2014 (1%) 2016-2022 (67%)	1995-2000 (13%) 2002-2005 (15%)	1996-1999 (12%) 2003-2005 (10%)	1996 (6%) 2003-2005 (<1%)

Les franchissements observés des seuils de vigilance et vigilance renforcée sont particulièrement importants sur toute la période 1991 à 2022, pour les 3 ouvrages concernés.

[12] A noter : pour les périodes antérieures à 2007, les données disponibles ne sont pas journalières ce qui modifie l'analyse en diminuant le nombre de jours d'observation de franchissement des seuils

[13] Pour cet ouvrage, pas de données exploitables entre 1991 et 2000 ainsi qu'en 2007

[14] Pour cet ouvrage, pas de données exploitables en 2020

Il en est de même pour les franchissements des seuils d'alerte et d'alerte renforcée, en particulier pour le piézomètre 00383X0229/PZSP6 de Taisnières-en-Thiérache, en partie centrale du territoire et à proximité de l'Helpe Majeure. En revanche, le piézomètre 00387X0184/PZCC1 situé à Grand-Fayt ne présente aucun franchissements de seuils depuis 2006.

En se référant aux résultats obtenus, les seuils de crise ont été franchis de manière variable selon les ouvrages :

- Principalement en 2010, 2011, 2016 à 2019 et en 2022 sur le piézomètre 00383X0229/PZSP6 à Taisnières-en-Thiérache.
- Principalement en 1996 sur le piézomètre 00387X0184/PZCC1 à Grand-Fayt, aucun franchissement de seuil de crise sur cet ouvrage n'étant constaté depuis 2006.

Ces résultats confirment la *forte variabilité selon la localisation et les années observées*, mise en évidence lors de l'analyse hydrologique, témoignant ainsi d'une *forte diversité de fonctionnement de l'hydrosystème des calcaires de l'Avesnois* sur l'ensemble du territoire.

On rappellera pour mémoire la *présence des carrières d'exploitation des calcaires*, notamment sur les bassins versants de l'Helpe Majeure (Jean Lefevre, Bocahut), de l'Helpe Mineure (Bocahut) ou du ruisseau des Cligneux (CBS) qui peut conduire localement à perturber l'analyse faite sur les piézomètre (cas en particulier du piézomètre 00384X0296/PZ4 de Limont-Fontaine, à proximité de la carrière CBS).

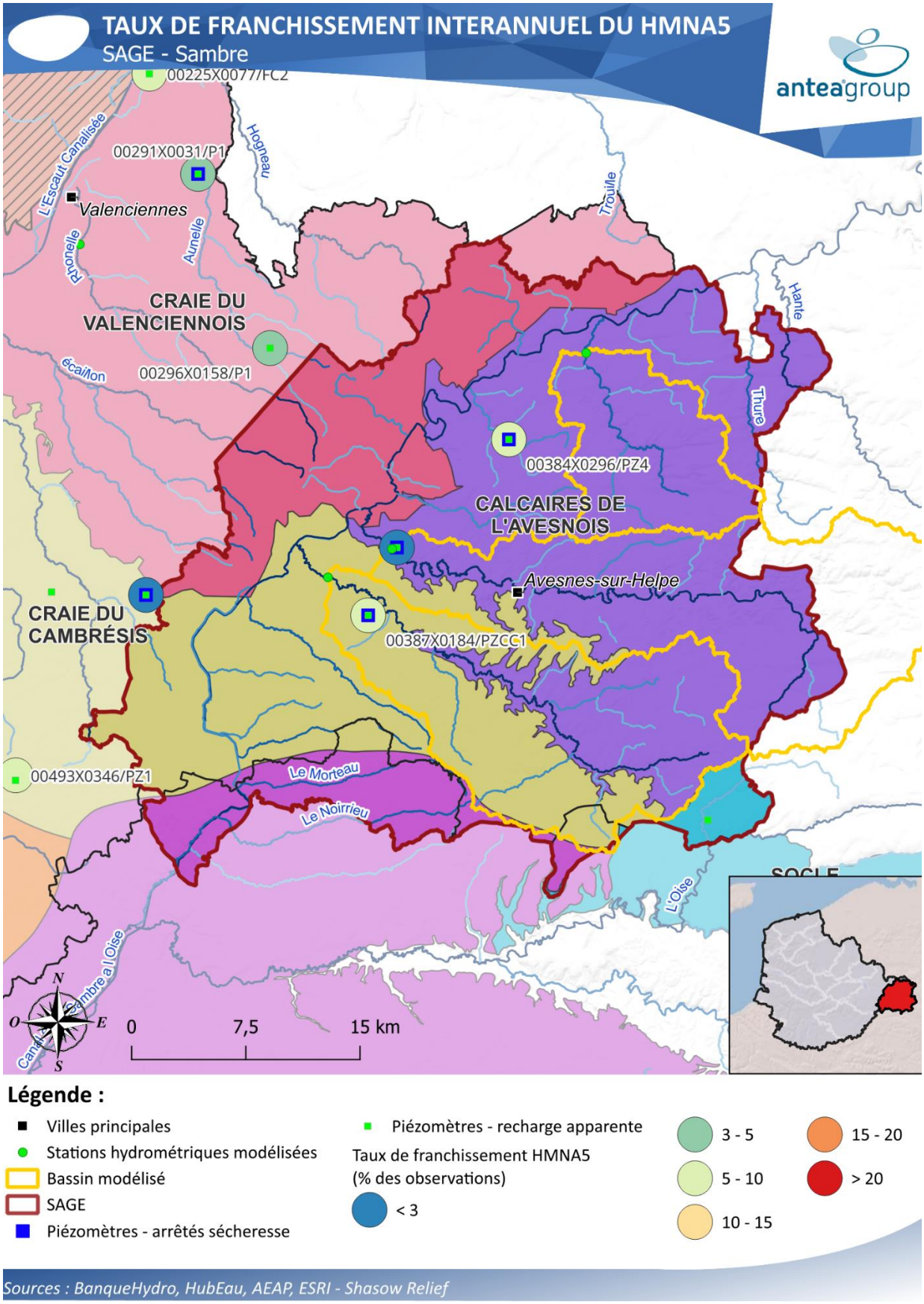


Figure 33 : Cartographie des taux de franchissement interannuel du $HMNA_5$

3.3.3 Indicateurs de tendances piézométriques

Pour les 3 piézomètres s'adressant à la masse d'eau des *Calcaires de l'Avesnois* localisés sur le territoire du SAGE pour lesquels des analyses de tendance ont été effectuées, il ressort une *tendance à la baisse significativement représentative* (pour 2 d'entre-eux) sur l'ensemble de la période 1991-2022 :

- Pour le piézomètre 00384X0296/PZ4 situé à Limont-Fontaine dont on rappellera qu'il se situe à proximité de la carrière CBS, ce qui conduit à nuancer la baisse de près de 20 cm/an mise en évidence.
- Pour le piézomètre 00383X0229/PZSP6 situé à Taisnières-en-Thiérache, avec une baisse voisine de 3,50 cm/an, qui lui se trouve relativement éloigné de toute exploitation de carrière.

Code BSS du piézomètre	Masse d'eau	Tendance récente en cm/an Données depuis 1991	Validation de la tendance calculée	Période d'analyse
00387X0184/PZCC1	Calcaires de l'Avesnois	1,32 (hausse)	Tendance non validée statistiquement	janv. 1991 à déc. 2022
00384X0296/PZ4	Calcaires de l'Avesnois	-19,2 (baisse)	Tendance validée statistiquement	sept. 2001 à déc. 2022
00383X0229/PZSP6	Calcaires de l'Avesnois	-3,48 (baisse)	Tendance validée statistiquement	janv. 1991 à déc. 2022

Une analyse similaire sur ces piézomètres qui disposent de chroniques plus longues (depuis les années 1980) a également été effectuée sur toute la chronique disponible. Ces analyses confirment les tendances observées sur la période 1991-2022, témoignant d'une évolution des niveaux s'inscrivant ainsi dans une continuité de longue date (le piézomètre 00387X0184/PZCC1 témoignant également sur l'ensemble de la période 1977-1980 d'une tendance à la baisse significative voisine de 2,2 cm/an).

Les graphiques suivants présentent les résultats des analyses effectuées pour les deux piézomètres présentant sur la période 1991-2022 des tendances validée statistiquement.

Figure 34 : Graphique de tendance piézométrique récente (1991 – 2022) du piézomètre 00384X0296/PZ4 aux calcaires de l'Avesnois

Figure 35 : Graphique de tendance piézométrique récente (1991 – 2022) du piézomètre 00383X0229/PZSP6 aux calcaires de l'Avesnois

4 Synthèse des résultats de calcul de recharges

Pour mémoire, l'approche de l'analyse des recharges a été réalisée sur la base de *4 approches différentes* :

- *Approche par analyse des recharges apparentes :* Vidange / recharge sur les observations piézométriques.
- *Approche SIM2 :* Chaine de modélisation Safran-ISBA-Modcou.
- *Approche GARDENIA :* estimation de la recharge par modélisation des débits de cours d'eau.
- *Approche Wallingford :* estimation par calcul du débit de base de cours d'eau développée par l'Institut d'Hydrologie de Wallingford.

4.1 Résultats des calculs de recharges apparentes

Des calculs de *recharges et de vidanges apparentes* qui suivent ces recharges ont été effectués sur 4 ouvrages présents sur le territoire du SAGE s'adressant à la masse d'eau des *Calcaires de l'Avesnois* pour 3 d'entre-eux[15] et à la masse d'eau du *Socle Ardennais* pour 1 d'entre-eux.

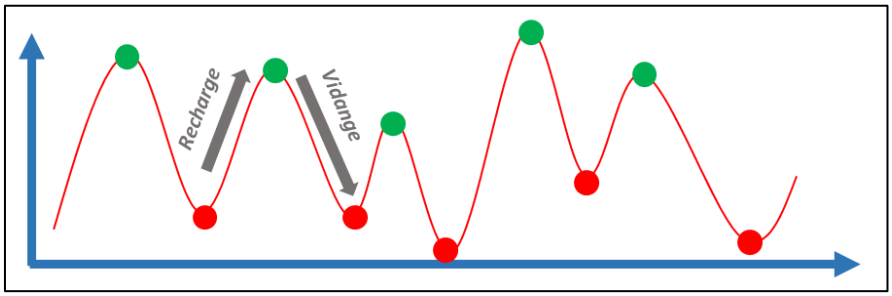


Figure 36 : Principe de la recharge apparente, de la vidange apparente et du calcul du solde (solde = recharge - vidange)

Sur la période d'observation, les *recharges les plus faibles* (supérieures ou égales à décennales sèches) *et les plus importantes* se situent pour les années hydrologiques suivantes :

Masse d'eau	Années hydrologiques de faible recharge[16]	Années hydrologiques de recharge importante[17]
Calcaires de l'Avesnois (3 ouvrages)	1992 - 1993 1995 - 1996 2003 - 2004 2004 - 2005 2006 - 2007 2008 - 2009 2016 - 2017 2019 - 2020 2021 - 2022	1990 - 1991 1991 - 1992 1996 - 1997 1997 - 1998 1998 - 1999 1999 - 2000 2000 - 2001 2001 - 2002 2002 - 2003 2009 - 2010 2017 - 2018 2019 - 2020 2020 - 2021
Socle ardennais (1 ouvrage)	1997 - 1998 2016 - 2017	2010 - 2011 2020 - 2021

[15] Bien qu'étant probablement sous influence de la carrière CBS, le piézomètre 00384X0296/PZ4 situé à Limont-Fontaine a été intégré à l'analyse présentant un comportement similaires en termes de bilan recharge/vidange aux 2 autres piézomètres s'adressant également aux Calcaires de l'Avesnois

[16] Supérieures ou égales à décennales sèches

[17] Supérieures ou égales à décennales humides

Les *vidanges suivant les recharges* se caractérisent sur les années hydrologiques suivantes :

Masse d'eau	Années hydrologiques de faible vidange[18]	Années hydrologiques de vidange importante[19]
Calcaires de l'Avesnois (3 ouvrages)	1990 - 1991 1991 - 1992 1995 - 1996 2004 - 2005 2005 - 2006 2006 - 2007 2011 - 2012 2018 - 2019	1994 - 1995 1998 - 1999 2000 - 2001 2001 - 2002 2002 - 2003 2009 - 2010 2010 - 2011 2014 - 2015 2015 - 2016 2017 - 2018 2021 - 2022
Socle ardennais (1 ouvrage)	1997 - 1998 2006 - 2007	2002 - 2003 2010 - 2011 2021 - 2022

Les années hydrologiques de cycles de vidange présentent en général un décalage d'une année avec les cycles de recharges.

Les *soldes*[20] *recharges – vidanges*, correspondant au bilan de recharge sur l'année, sont identifiés selon leur importance de la manière suivante :

Masse d'eau	Années hydrologiques de fort solde déficitaire[21]	Années hydrologiques de fort solde excédentaire[22]
Calcaires de l'Avesnois (3 ouvrages)	1992 - 1993 1994 - 1995 1995 - 1996 2002 - 2003 2006 - 2007 2008 - 2009 2010 - 2011 2015 - 2016 2016 - 2017 2021 - 2022	1991 - 1992 1997 - 1998 1999 - 2000 2004 - 2005 2005 - 2006 2018 - 2019 2019 - 2020 2020 - 2021
Socle ardennais (1 ouvrage)	2002 - 2003 2021 - 2022	2011 - 2012 2015 - 2016 2020 - 2021

On notera une *forte variabilité* des valeurs de recharges et vidanges :

- Selon les ouvrages considérés du fait de leur positionnement géographique,
- Selon les années en raison de la cyclicité des ouvrages qui peut conduire à des cycles hydrologiques où les recharges ou vidanges ont été particulièrement faibles voire inexistantes. Néanmoins, les grands cycles restent identifiés dans l'ensemble, d'un ouvrage à l'autre.

[18] Supérieures ou égales à décennales sèches

[19] Supérieures ou égales à décennales humides

[20] Le solde correspond à la différence entre la vidange de l'année n et la recharge de l'année n-1 constatées sur les chroniques piézométriques

[21] Supérieurs ou égaux à décennal sec

[22] Supérieurs ou égaux à décennal humide

Les deux exemples suivants illustrent les résultats obtenus sur les deux ouvrages disposant des chroniques les plus longues. Ils mettent en évidence la variabilité des résultats obtenus selon les ouvrages pour une même masse d'eau (Calcaires de l'Avesnois).

Figure 37 : Recharge, vidange et solde apparents du piézomètre 00383X0229/PZSP6

Calcaires de l'Avesnois
Double cyclicité intra et interannuelle, réactif aux pluies

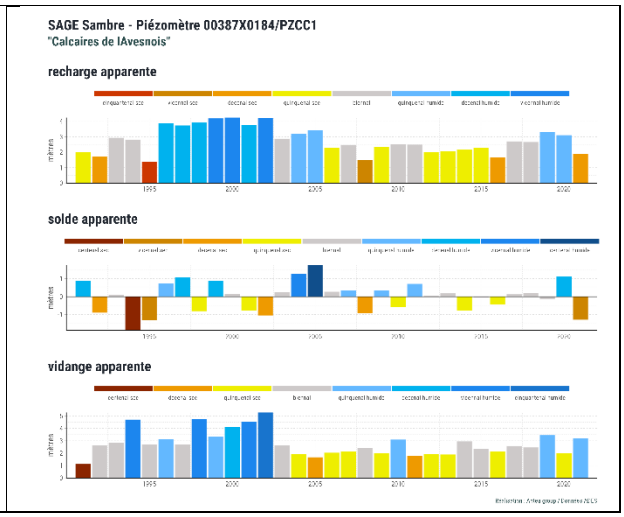


Figure 38 : Recharge, vidange et solde apparents du piézomètre 00387X0184/PZCC1

Calcaires de l'Avesnois
Double cyclicité intra et interannuelle, réactif aux pluies

4.2 Résultats SIM2, WALLINGFORD, GARDENIA

4.2.1 Analyse comparée des résultats des différentes méthodes

L'analyse des recharges calculées sur la période hivernale, à partir des outils *SIM2, WALLINGFORD et GARDENIA,* a été faite sur les 3 stations suivantes :

- La *Solre à Ferrière-la-Grande* (d'une superficie de bassin versant limitée à 115 km^2, soit environ 8,5 % de la superficie totale du SAGE).
- *L'Helpe Majeure à Taisnières-en-Thiérache* (d'une superficie de bassin versant limitée à 320 km^2, soit environ 23,5 % de la superficie totale du SAGE).
- *L'Helpe Mineure à Maroilles* (d'une superficie de bassin versant limitée à 263 km^2, soit environ 19,5 % de la superficie totale du SAGE).

Les stations sur la *Solre à Ferrière-la-Grande* et sur *L'Helpe Majeure à Taisnières-en-Thiérache*, ont toutes deux des bassins versants essentiellement concernés par les Calcaires de l'Avesnois. Celle sur *L'Helpe Mineure à Maroilles* présente un bassin versant qui se répartit à part sensiblement égale entre les Calcaires de l'Avesnois (bassin versant rive droite) et la Craie du Cambrésis (bassin versant rive gauche).

Les *valeurs de recharges* obtenues sont les suivantes :

- *Entre 213 et 215 mm/an en moyenne* pour les résultats *SIM2*, valeurs les plus élevées, variables selon les années mais assez homogènes selon les stations.

- *Entre 124 et 191 mm/an en moyenne* pour les résultats *WALLINGFORD*, valeurs moins élevées que ceux obtenus avec SIM2, également variables selon les années mais présentant une plus grande variabilité selon les stations.
- *Entre 40 et 156 mm/an en moyenne* pour les résultats *GARDENIA*, valeurs les plus faibles, bien inférieures à celles obtenus avec SIM2 ou WALLINGFORD, également variables selon les années avec une variabilité très importante selon les stations (diminuant du Nord vers le Sud).

Les *résultats obtenus* montrent :

- Une *forte variabilité de la valeur de recharge* obtenue pour une même année hydrologique selon la méthode mise en œuvre, *notamment concernant WALLINFORD et GARDENIA*, avec des valeurs bien inférieures à celles de SIM2 et présentant une plus forte variabilité selon les stations. Ces résultats tendraient à considérer les calculs de recharge selon ces deux dernières méthodes comme étant sous-estimées par rapport à SIM2, sur un secteur où la pluviométrie reste importante.
- Néanmoins, une *corrélation satisfaisante* entre les 3 méthodes mises en œuvre dans *l'identification des années de faible ou de forte recharge*, qui se traduit par une bonne corrélation dans les *typologie des années*, en particulier entre SIM2 et GARDENIA.

En considérant les résultats obtenus de calculs de recharge mis en œuvre entre les différentes méthodes, sur les 3 stations analysées, et en intégrant le contexte hydrologique, géologique et hydrogéologique caractérisant leur bassin versant, les valeurs obtenues avec SIM2 peuvent être considérés comme les mieux représentatifs de la recharge des hydrosystèmes présents sur le territoire du SAGE.

Soit une valeur moyenne sur l'ensemble des stations analysées comprise entre 213 et 215 mm/an pour l'ensemble de la période 1991-2022.

Les années de *plus faibles recharges* sont *1992 à 1994, 1998 à 2002, 2007, 2019 et 2020*.

Les *plus élevées* concernent les années *1995, 2003, 2016 et 2018.*

Il est intéressant de constater qu'on retrouve de *grands cycles de recharge en lien*, *pour une grande majorité d'entre-eux,* avec la présence *d'une cyclicité pluriannuelle marquée* malgré la présence également présente d'une *cyclicité plutôt annuelle avec une forte sensibilité aux évènements climatiques annuels*.

Les figures suivantes illustrent, pour chaque station analysée, la variabilité des résultats obtenus selon les méthodes mises en œuvre, ainsi qu'une corrélation entre les typologies qui reste satisfaisante.

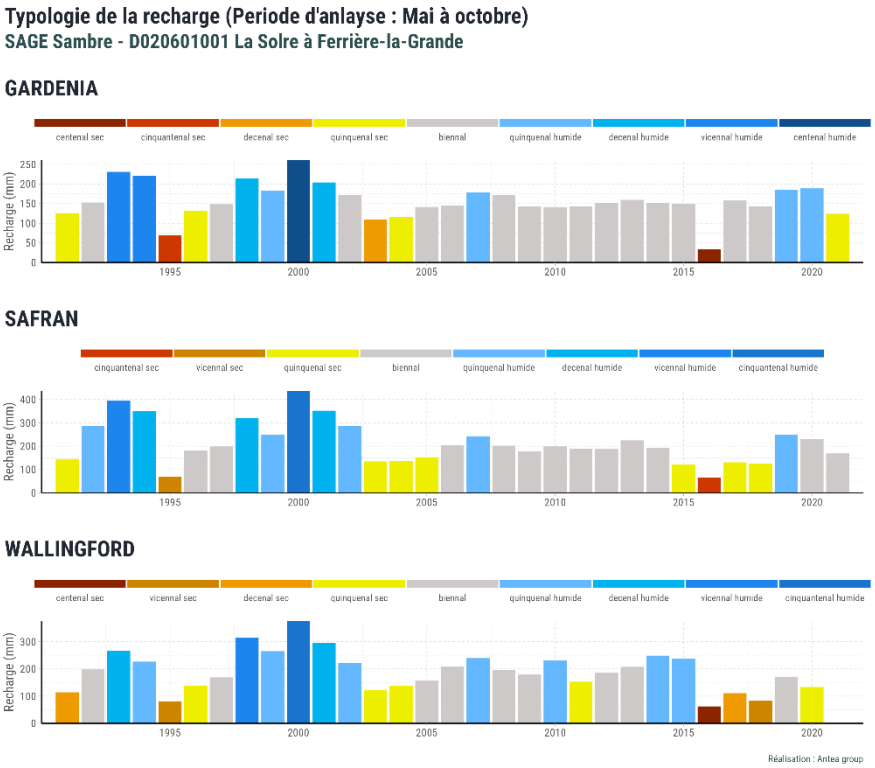


Figure 39 : Comparaison des résultats des calculs de recharges entre les différentes méthodes utilisées pour la station sur la Sorle à Ferrière-la-Grande

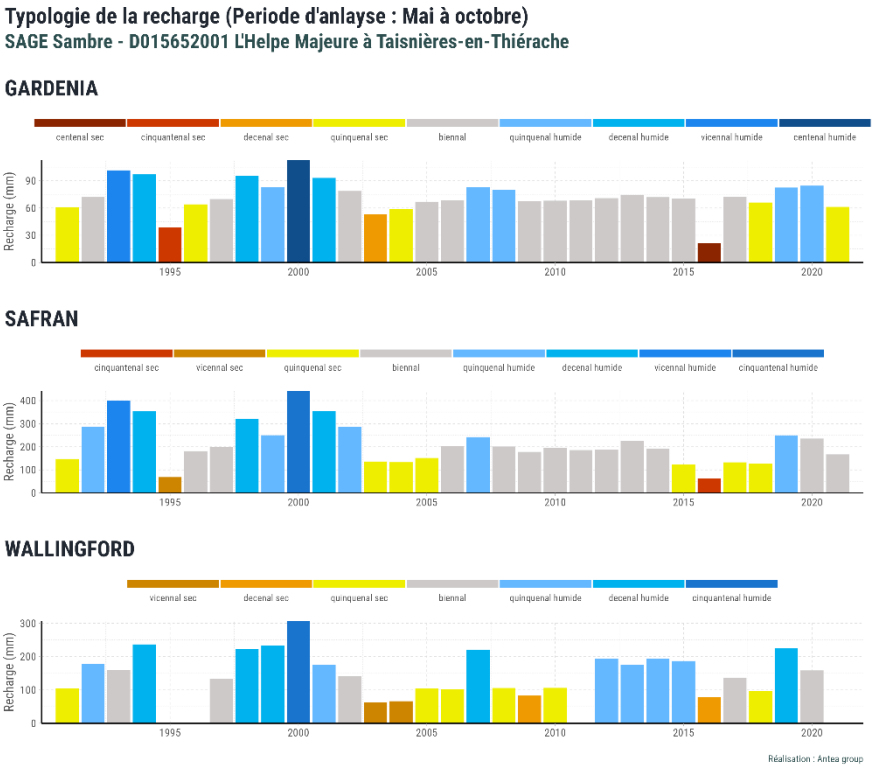


Figure 40 : Comparaison des résultats des calculs de recharges entre les différentes méthodes utilisées pour la station sur l'Helpe Majeure à Taisnières-en-Thiérache

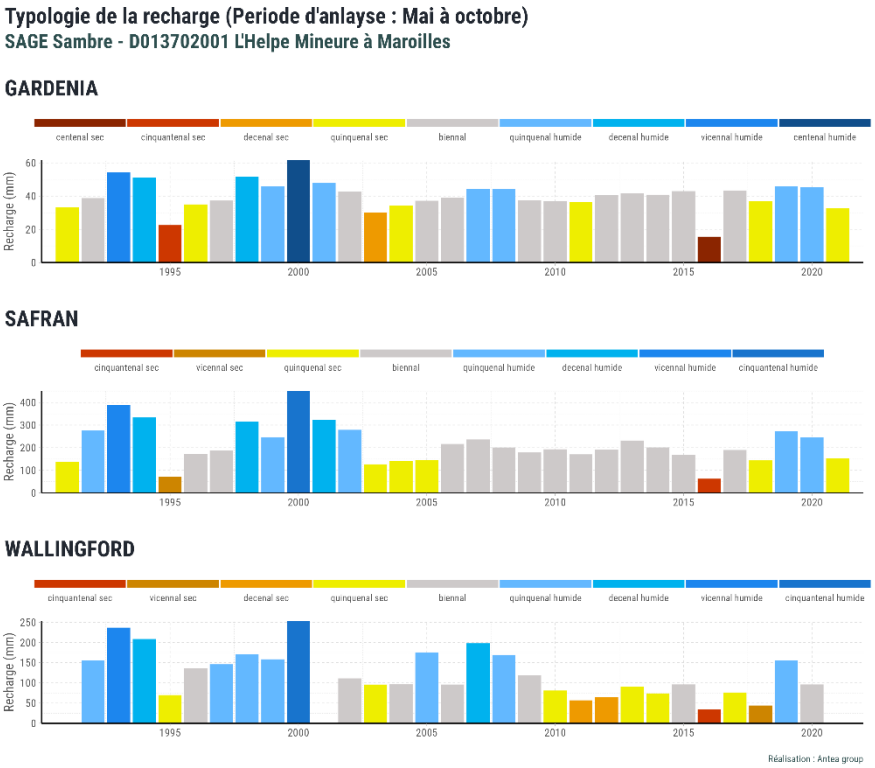


Figure 41 : Comparaison des résultats des calculs de recharges entre les différentes méthodes utilisées pour la station sur l'Helpe Mineure à Maroilles

4.2.2 Estimation de la recharge finale à l'échelle du SAGE de la Sambre

On rappelle ici, compte tenu de l'analyse des observations issues des calculs de recharge pour les 3 stations modélisées, que *l'évaluation des recharges* pouvant être faite *sur le territoire du SAGE* s'appuie sur les *seuls résultats issus de SIM2, les plus représentatifs*.

La *recharge* générale sur l'ensemble de la surface du SAGE est ainsi établie à ***196 mm/an en moyenne*** sur la période 1991-2022.

Echelle d'analyse	La Solre à Ferrière-la-Grande Surface de bassin versant : ≅115 km²	L'Helpe Majeure à Taisnières-en-Thiérache Surface de bassin versant : ≅320 km²	L'Helpe Mineure à Maroilles Surface de bassin versant : ≅263 km²	Ensemble du SAGE de la Sambre amont Surface :≅1 334 km²
Lame d'eau de recharge (1 année sur 2)	**193 mm (SIM2)** 186 mm (WALLINGFORD) 151 mm (GARDENIA)	**195 mm (SIM2)** 146 mm (WALLINGFORD) 71 mm (GARDENIA)	**195 mm (SIM2)** 108 mm (WALLINGFORD) 40 mm (GARDENIA)	*178 mm (valeur SIM2 pondérée par la surface du SAGE)*
Equivalence en Mm³ pour la recharge (1 année sur 2)	**23 Mm³ (SIM2)** 21 Mm³ (WALLINGFORD) 17 Mm³ (GARDENIA)	**63 Mm³ (SIM2)** 47 Mm³ (WALLINGFORD) 23 Mm³ (GARDENIA)	**51 Mm³ (SIM2)** 28 Mm³ (WALLINGFORD) 10 Mm³ (GARDENIA)	*238 Mm³ (valeur SIM2 pondérée par la surface du SAGE)*
Lame d'eau de recharge quinquennale sèche (1 année sur 5 sec ou 8 années sur 10)	**135 mm (SIM2)** 138 mm (WALLINGFORD) 125 mm (GARDENIA)	**136 mm (SIM2)** 103 mm (WALLINGFORD) 62 mm (GARDENIA)	**141 mm (SIM2)** 81 mm (WALLINGFORD) 35 mm (GARDENIA)	*128 mm (valeur SIM2 pondérée par la surface du SAGE)*
Equivalence en Mm³ pour la recharge quinquennale sèche (1 année sur 5 sec ou 8 années sur 10)	**16 Mm³ (SIM2)** 16 Mm³ (WALLINGFORD) 14 Mm³ (GARDENIA)	**44 Mm³ (SIM2)** 33 Mm³ (WALLINGFORD) 20 Mm³ (GARDENIA)	**37 Mm³ (SIM2)** 21 Mm³ (WALLINGFORD) 9 Mm³ (GARDENIA)	*171 Mm³ (valeur SIM2 pondérée par la surface du SAGE)*

5 Synthèse des prélèvements effectués sur le territoire du SAGE

5.1 Données disponibles et hypothèses prises en compte

Les données mobilisées dans cette approche s'appuient sur les *données fournies par la BNPE et les données de l'agence de l'eau Artois-Picardie* après analyse des rapprochements. La *qualité de l'analyse* faite reste fortement *dépendante de la disponibilité et de la justesse de ces données*, avec une fiabilité qui s'améliore au fil des années.

Quelques points à signaler, impactant l'analyse :

- Les prélèvements au sein des canaux ou des cours d'eau canalisés, de même que ceux éventuels, relatifs au refroidissement industriel, ne sont pas intégrés dans l'analyse.
- Les données relatives aux prélèvements industriels (IND), agricoles (IRR) et AEP sont disponibles sur la période 1982 à 2021.
- L'approche déployée n'intègre également pas les échanges entre la nappe et les systèmes de canaux de VNF. Les échanges menés avec VNF ainsi que les études réalisées à ce jour montrent qu'une telle évaluation reste difficilement quantifiable.
- Enfin, les prélèvements analysés dans le cadre du projet concernent les prélèvements bruts connus. Ils n'intègrent pas les éventuels retours dans la nappe ou les cours d'eau (fuites de réseau en eau potable et industrie, retours du fait des rejets des stations d'épuration) et considèrent que l'intégralité des prélèvement agricoles sont consommés par les plantes, sans retour vers la nappe.

5.2 Bilan sur les volumes annuels prélevés sur l'ensemble du SAGE

L'évolution des volumes prélevés sur la période 1992-2022 pour les eaux superficielles d'une part, les eaux souterraines d'autre part, tous usages et toutes masses d'eau confondus est la suivante :

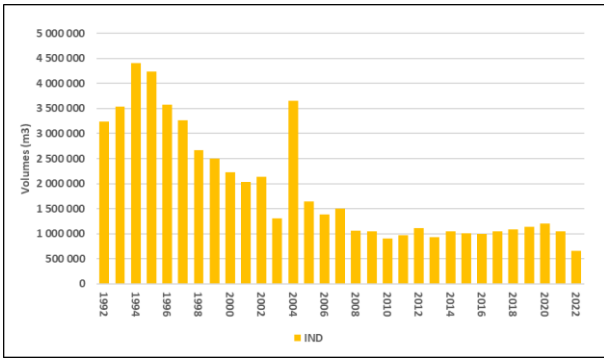


Figure 42 : Evolution des prélèvements en eaux superficielles toutes masses d'eau confondues

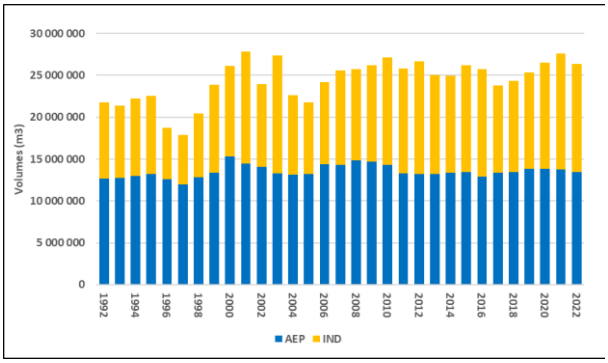


Figure 43 : Evolution des prélèvements en eaux souterraines toutes masses d'eau confondues

Les *volumes totaux prélevés sur l'ensemble du territoire du SAGE* s'établissent aux environs de *26 Mm^3 en moyenne sur la période 1992-2022*.

Sur cette période, la répartition est la suivante :

- 7,2 % en eaux superficielles.

- 92,8 % en eaux souterraines.

L'évolution des volumes prélevés sur la période 1992-2022 traduit :

- Des volumes prélevés en *eau superficielle*, en totalité à usage industriel, qui connaissent une baisse importante entre 1994 et 2008 (à l'exception de 2004), passant de près de 4,4 Mm^3 en 1994 à près de 1,1 Mm^3 en 2008. Cette baisse est constatée pour une grande majorité des industriels recensés. Entre 2008 et 2022, les prélèvements se stabilisent aux environs de 1 Mm^3 en moyenne).
- Des volumes prélevés en *eau souterraine* montrant une légère tendance à la hausse sur toute la période 1992 à 2022, passant de près de 22 Mm^3 sur 1992-1995 à près de 27 Mm^3 sur les 3 dernières années 2020-2022. Ces prélèvements connaissent des fluctuations annuelles, les plus faibles étant enregistrés en 1995-1996 (moins de 19 Mm^3) et les plus élevés en 2001, 2003, 2010 et 2021 avec plus de 27 Mm^3.
- L'évolution par usages, pour les eaux souterraines, est la suivante :
    - Une stabilité des prélèvements à usage eau potable avec une moyenne aux environs de 13,5 Mm^3 (55 %) sur toute la période, avec de faibles fluctuations selon les années (plus de 14 Mm^3 en 2000-2002 et 2006-2010, moins de 13 Mm^3 en 1992-1994, 1996-1998 et en 2016.).
    - Des prélèvements à usage industriel en augmentation sensible sur toute la période (10,5 Mm^3 en moyenne soit près de 45 % des prélèvements en eau souterraine), caractérisés par de fortes fluctuations selon les années (moins de 8 Mm^3 sur 1996-1998, plus de 13 Mm^3 en 2001, 2003, 2012 et 2021)
    - Une absence de prélèvements identifiés à usage agricole.

Les points de prélèvements se localisent principalement sur la partie Calcaires de l'Avesnois ainsi que sur la partie amont de la Sambre sur la partie crayeuse (cf. Figure 46).

Les prélèvements les plus importants connaissant une répartition similaire (cf. Figure 47). Ils concernent principalement les exploitations de carrière avec la mise en place des exhaures : ETABLISSEMENTS BOCAHUT (sur Glageon, Haut-Lieu et Saint-Hilaire-sur-Helpe), CARRIERES DU BASSIN DE LA SAMBRE (Limont-Fontaine), COMPTOIR DES CALCAIRES ET MATERIAUX (Wallers-en-Fagne). On peut également ajouter les prélèvements pour l'alimentation en eau potable sur Ferrière-la-Grande, Rousies, Limont-Fontaine ou encore Sars-Poteries.

La grande majorité des prélèvements en *eau souterraine* s'effectue en volume *au sein des formations des Calcaires de l'Avesnois* (pour 93 %), le restant *au sein de la craie* (7 %).

5.3 Bilan sur les volumes prélevés sur la période Mai à Octobre

L'évolution des volumes prélevés sur la période 1992-2022 pour les eaux superficielles d'une part, les eaux souterraines d'autre part, sur la *période Mai à Octobre*, tous usages et toutes masses d'eau confondus est la suivante :

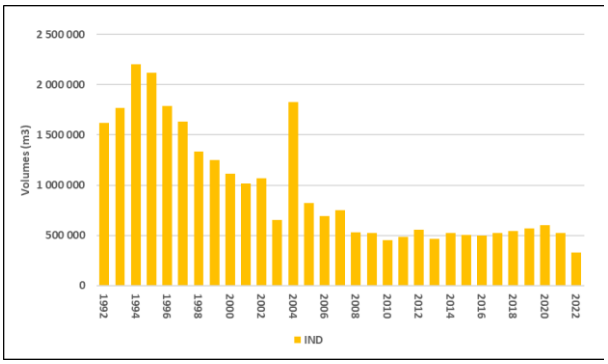


Figure 44 : Evolution des prélèvements en eaux superficielles sur Mai à Octobre toutes masses d'eau confondues

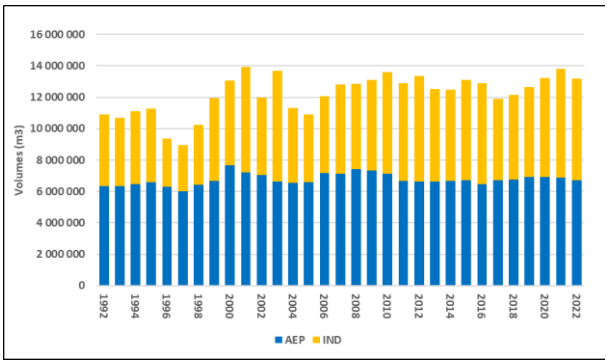


Figure 45 : Evolution des prélèvements en eaux souterraines sur Mai à Octobre toutes masses d'eau confondues

Sur la période 1992-2022, on retrouve une dynamique de prélèvements identique à celle mise en évidence pour l'ensemble de l'année, la différence portant sur les volumes mis en jeu.

Ainsi, les *volumes prélevés sur Mai à Octobre sur l'ensemble du territoire du SAGE* s'établissent aux environs de *8,5 Mm^3 en moyenne*, soit environ *51 % des prélèvements annuels* sur cette même période.

La répartition correspondante est la suivante :

- Près de 7 % en eaux superficielles.
- Près de 93 % en eaux souterraines.

La répartition entre les usages en *eaux souterraines*, pour les *prélèvements* effectués à la *craie* et aux *Calcaires de l'Avesnois*, (pour une moyenne annuelle de près de 12 Mm^3) est la suivante sur la période 1992-2022 :

- 55 % pour l'AEP (51 % pour 2022).
- 45 % pour l'industrie (49 % pour 2022).
- Pas de prélèvements à usage agricole identifié sur le territoire du SAGE.

Compte tenu de la relative stabilité des prélèvements en eau souterraines effectués à la craie et aux calcaires (avec des fluctuations annuelles), *l'essentiel de l'analyse* réalisée dans le cadre de cette étude porte sur la *période complète 1992 à 2022*.

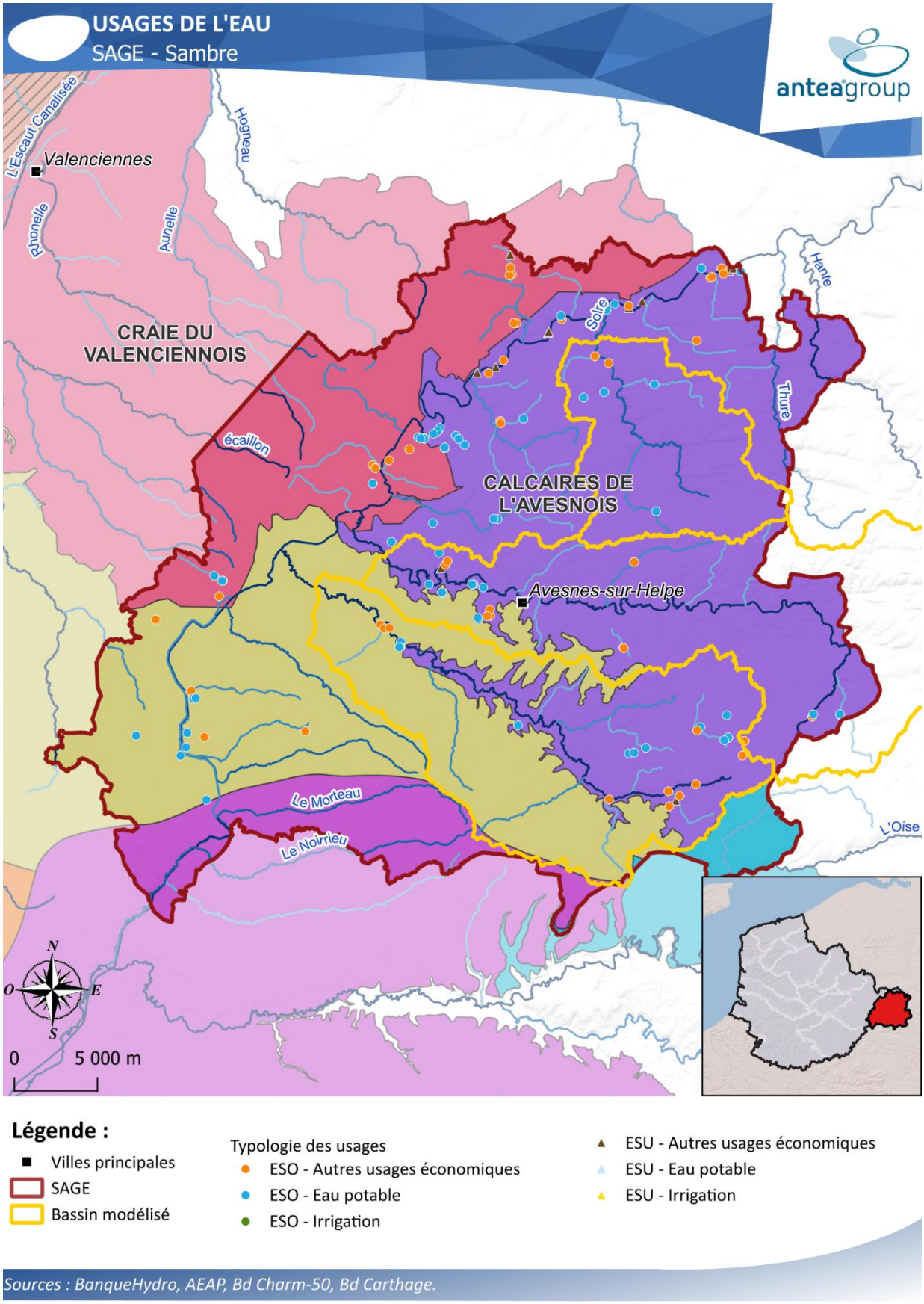


Figure 46 : Répartition des points de prélèvements sur le territoire du SAGE avec identification des usages

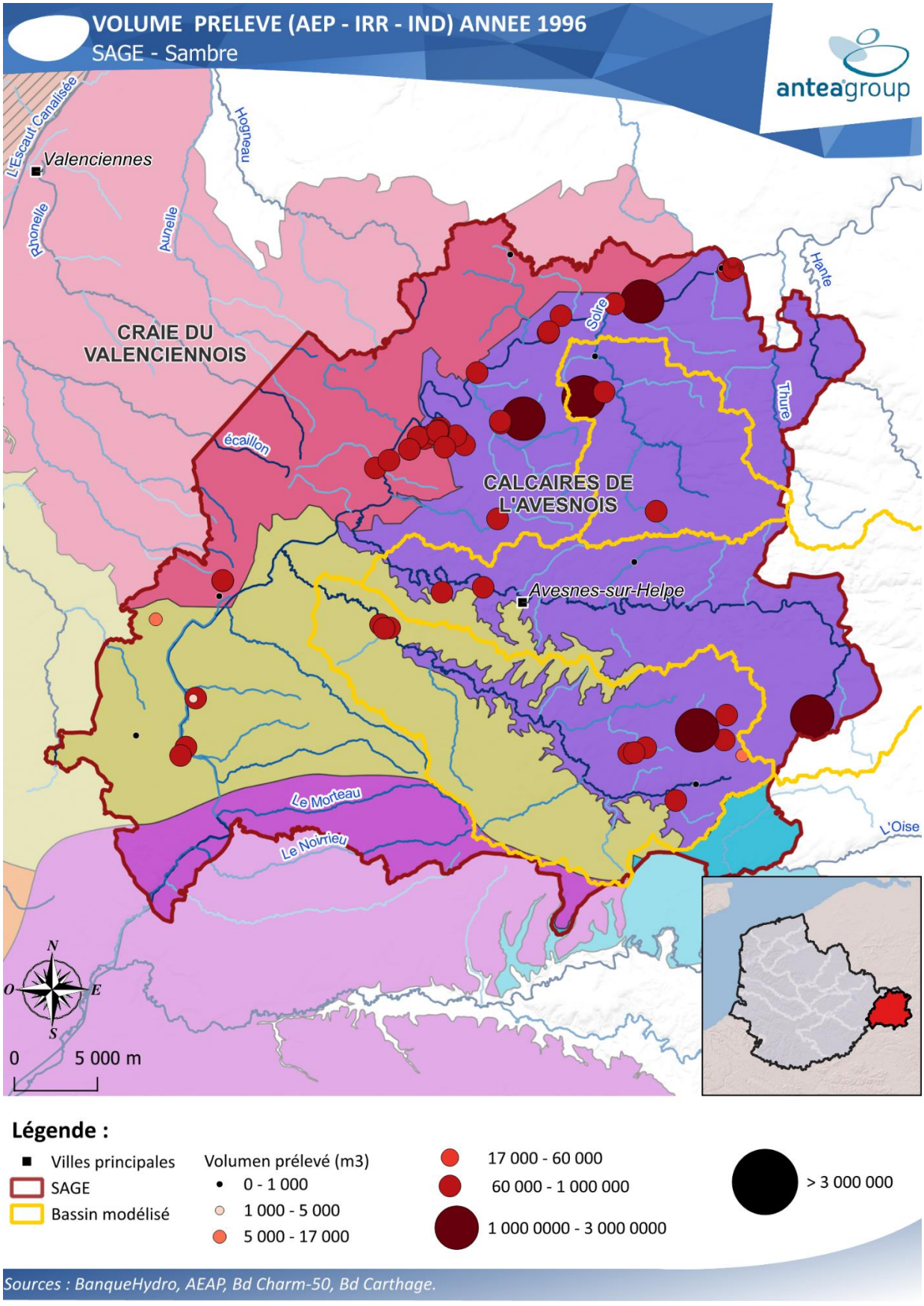
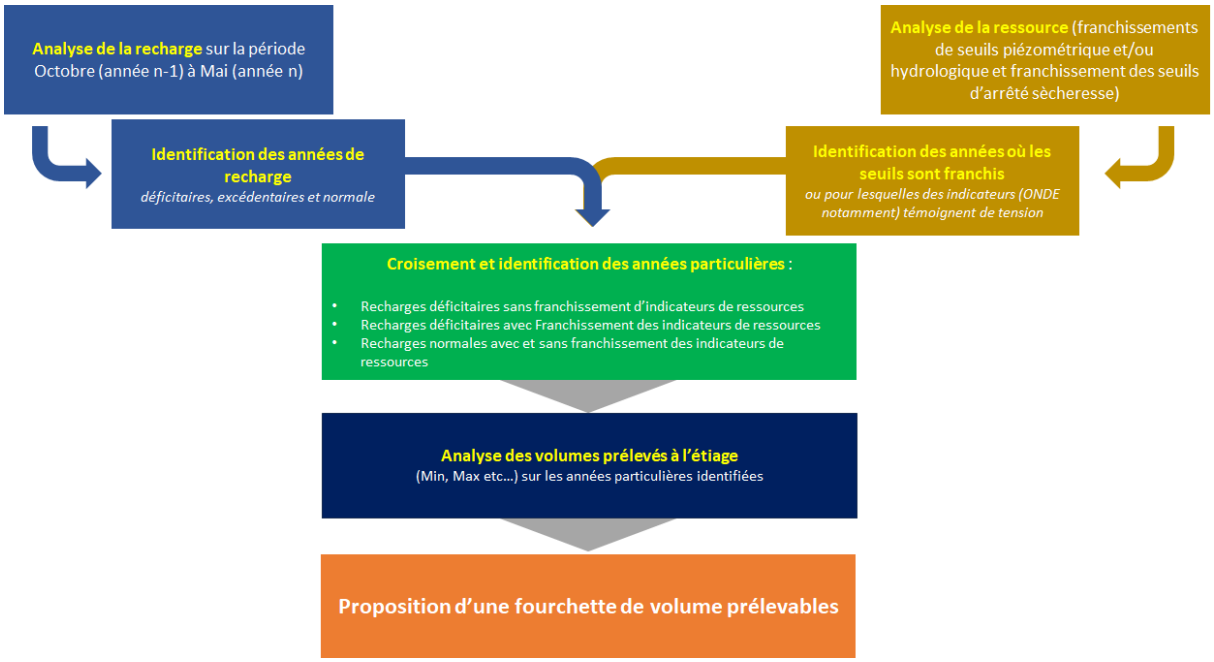


Figure 47 : Répartition de l'importance des volumes AEP, industriels et agricoles prélevés sur le territoire du SAGE (année 1996 toutes ressources confondues – hors canaux et refroidissements industriels)

6 Estimation de l'enveloppe de volumes mobilisables provisoires

6.1 Approche méthodologique déployée pour la définition des volumes mobilisables

L'approche méthodologique repose sur une *analyse de l'historique* des observations sur la ressource et les prélèvements. La logique d'analyse suivante a été suivie pour la définition finale des enveloppes de volumes mobilisables provisoires.



6.2 Fourchettes de volumes mobilisables provisoires proposées (VP)

L'*analyse* a été établie en considérant les prélèvements effectués sur l'ensemble de la *période 1992 à 2022*. Elle s'appuie sur la *méthodologie définie*, qui intègre l'examen des *indicateurs* à la fois *piézométriques* et *hydrologiques* en termes de *calcul de recharge*.

Périodes et ressources concernées	Fourchette proposée	Equivalent en % de d'une recharge normale (biennale)	Equivalent en % de d'une recharge quinquennale sèche
VP en eaux souterraines sur la période de basses eaux	Entre 10,1 et 12,6 Mm3	Entre 4 et 5 %	Entre 5 et 7 %
VP en eaux souterraines sur la période annuelle	*Entre 22,3 et 24,8 Mm3*	*Entre 9 et 10 %*	*Entre 13 et 14 %*
VP en eaux de surface sur la période de basses eaux	**Sur les 15 dernières années** Prélèvements actuels en basses eaux **# 509 000 m3** Prélèvements actuels annuels **# 1,0 Mm3**		
VP en eaux de surface sur la période annuelle			
VP toutes ressources confondues sur la période de basses eaux	Entre 10,1 et 12,6 Mm3	Entre 4 et 5 %	Entre 5 et 7 %
VP toutes ressources confondues sur la période annuelle	*Entre 22,3 et 24,8 Mm3*	*Entre 9 et 10 %*	*Entre 13 et 14 %*

6.2.1 Analyse pour les eaux souterraines vis-à-vis des observations historiques

Les *fourchettes basses* en *eaux souterraines* (*10,1°Mm³ à l'étiage et 22,3 Mm³ annuellement*) correspondent à un niveau de volume prélevé légèrement inférieur à celui de de *1998* (10,2 Mm³ en basses eaux), *année de recharge normale qui faisait suite à autre année normale*, pour laquelle on constate le maintien, à un niveau élevé, des franchissements des indicateurs piézométriques et hydrologiques ($QMNA_5$, avec seuils d'arrêté sècheresse qui subsistent en vigilance renforcée sur certains points de surveillance).

On notera par ailleurs que les années 1993 à 1995 (3 années de recharge plutôt humides, avec des prélèvements compris entre 10,7 et 11,3 Mm³) présentent des franchissements de seuils importants, notamment hydrologiques, et que les années 2004 à 2006 (3 années de recharge quinquennale sèche faisant suite à 5 années de recharge plutôt humide, avec des prélèvements compris entre 10,9 et 12,0 Mm³) présentent sur plusieurs point d'observation, des débuts de franchissement de seuils hydrologiques ou piézométrique avec en 2004, un niveau en alerte renforcée. Ce qui laisse à penser que les niveaux de prélèvements sur ces deux dernières périodes se situent au-delà de la limite inférieure pouvant être acceptée.

Les *fourchettes hautes* (*12,6 Mm³ à l'étiage et 24,8 Mm³ annuellement*) correspondent aux observations faites sur la longue période *2007 à 2016*, années de *recharges plutôt normales,* avec des prélèvements proches ou supérieurs à 12,5 Mm³ en basses eaux. Ces années présentent des franchissements d'indicateurs hydrologiques ($QMNA_5$ sur plusieurs stations, seuils d'arrêtés sècheresse franchis jusqu'à la crise, en particulier sur l'Helpe Mineure à Étrœungt), mais également piézométriques (seuils d'arrêtés sècheresse franchis jusqu'en alerte renforcée sur les deux piézomètres 00384X0296/PZ4 à Limont-Fontaine et 00387X0184/PZCC1 à Grand-Fay, et crise sur le piézomètre 00383X00229/PZSP6 à Taisnières-en-Thiérache). Ces observations tendraient à montrer un niveau de prélèvement trop important.

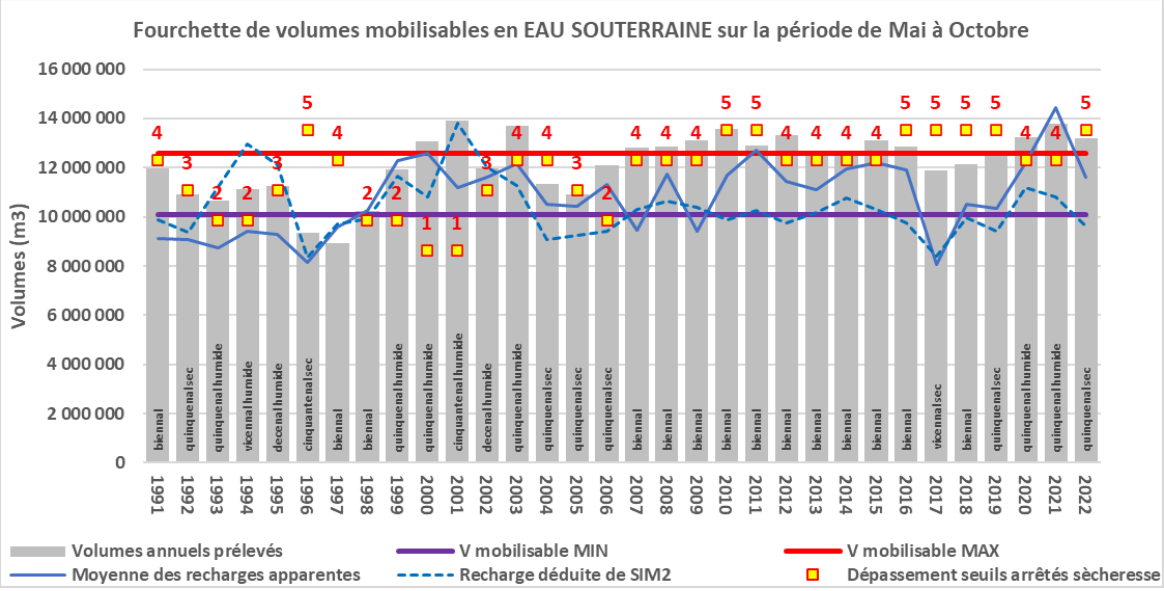


Figure 48 : Positionnement des volumes prélevés en eau souterraine sur Mai à Octobre avec les volumes mobilisables définis, les recharges et les franchissements de seuils d'arrêtés sècheresse (hors canaux et refroidissement industriel)[23]

[23] Les dépassements de seuils arrêtés sècheresse sont définis de la façon suivante :

- 1 lorsque seul le seuil de vigilance d'arrêté sècheresse hydrologique ou piézométrique a été dépassé au moins une fois dans l'année sur l'un des ouvrages de référence
- 2 lorsque seul le seuil de vigilance renforcée d'arrêté sècheresse hydrologique ou piézométrique a été dépassé au moins une fois dans l'année sur l'un des ouvrages de référence
- 3 lorsque seul le seuil d'alerte d'arrêté sècheresse hydrologique ou piézométrique a été dépassé au moins une fois dans l'année sur l'un des ouvrages de référence

Ce qui se traduit annuellement de la manière suivante :

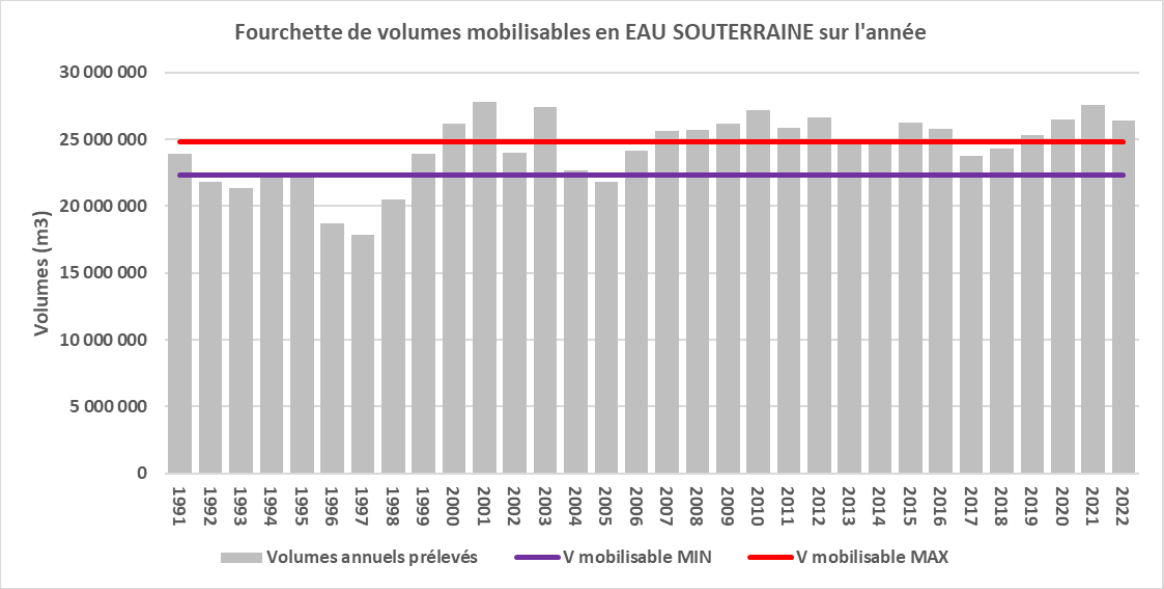


Figure 49 : Positionnement des volumes prélevés en eau souterraine sur l'ensemble de l'année avec les volumes mobilisables définis annuellement (hors canaux et refroidissement industriel)

6.2.2 Analyse pour les eaux de surface vis-à-vis des observations historiques

Comme indiqué précédemment, pour ce qui concerne les *eaux superficielles* :

- Les *évolutions importantes des prélèvements* identifiés au sein des *eaux superficielles* (même s'ils apparaissent plus constants depuis 2008),
- La mise en évidence de probables débits influencés au droit de plusieurs stations (notamment la station sur la L'Helpe Mineure à Étrœungt du fait des rejets des eaux d'exhaure des carrières en amont) ce qui conduit à une représentativité limitée en termes de franchissements de seuils d'arrêtés sècheresse,

ne permettent pas de mettre en relation les prélèvements en eau superficielle sur le territoire du SAGE et les situations hydrologiques des années correspondantes.

En conséquence, *il n'est pas proposé de volumes pour les eaux superficielles, la méthodologie paraissant peu adaptée pour cette analyse* compte tenu des stations disponibles sur le SAGE pour une telle analyse.

- 4 lorsque seul le seuil d'alerte renforcée d'arrêté sècheresse hydrologique ou piézométrique a été dépassé au moins une fois dans l'année sur l'un des ouvrages de référence
- 5 lorsque seul le seuil de crise d'arrêté sècheresse hydrologique ou piézométrique a été dépassé au moins une fois dans l'année sur l'un des ouvrages de référence

6.3 Incidence des volumes mobilisables définis vis-à-vis des prélèvements actuels sur le territoire en périodes de Mai à Octobre

Pour les eaux souterraines, la définition des seuils définis positionnerait les années 2000, 2001, 2003, 2007 à 2012, 2015, 2016, et 2019 à 2022 *avec des prélèvements au-delà du seuil maximum proposé*. In fine, cela représente *près de 47 % des années depuis 1991* (15 années au total).

Les années positionnées *entre le seuil bas et le seuil haut de la fourchette représentent également 15 années depuis 1991 (47 % des années depuis 1991).* Les année de prélèvement entre ces seuils se retrouvent sur la période de 1991 à 1995, en 1998, 1999, 2002, sur la période 2004 à 2006, ainsi qu'en 2013, 2014, 2017 et 2018.

Seules les années 1996 et 1997 se présentent avec un volume prélevé « en deçà du seuil minimum proposé ».

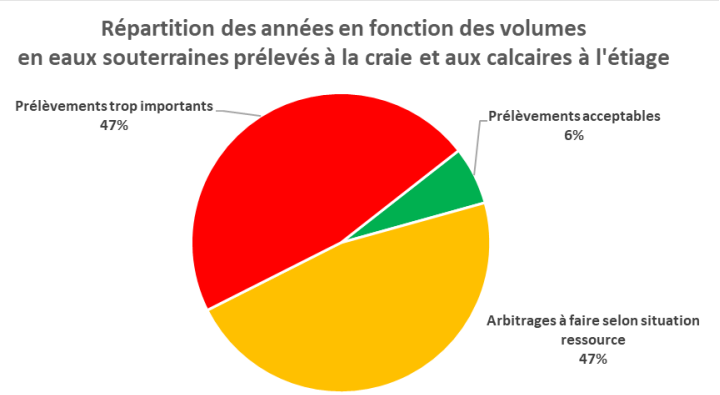


Figure 50 : Pourcentage de répartition des années au regard des seuils proposés, en fonction des volumes prélevés à la craie sur Mai à Octobre en eaux souterraines

6.4 Examen des volumes prélevés de Mai à Octobre en eaux souterraines à la craie et aux calcaires au regard de la recharge

On rappelle ici pour mémoire, que la *fourchette de volume mobilisable provisoire* proposée *en eau souterraine*, en *étiage* (*entre 10,1 et 12,6 Mm³*), représente *entre 4 et 5 % d'une recharge hivernale normale* (biennale) et *entre 5 et 7 % d'une recharge hivernale quinquennale sèche*.

Celle proposée *sur l'ensemble de l'année* (*entre 22,3 et 24,8 Mm³*), représente *entre 9 et 10 % d'une recharge hivernale normale* (biennale) et *entre 13 et 14 % d'une recharge hivernale quinquennale sèche*.

Le *ratio des prélèvements annuels* en eaux souterraines à la craie et aux calcaires apparaît assez régulièrement *supérieur à 10 % de la recharge hivernale sur l'ensemble des années*, excepté sur 1993 à 1995, 1997 à 2003, en 2008, 2014, 2020 et 2021. Ce ratio *dépasse 20 %* uniquement pour les années *1996 et 2017*.

Le ratio des *prélèvements en basses eaux dépasse* quant à lui *10 % de la recharge hivernale* uniquement lors des années *1996 et 2017*. *Toutes les années* présentent un ratio *inférieur à 15 %.*

On rappellera pour mémoire que le ratio de 15 % peut constituer, au titre de la Directive Cadre sur l'Eau (DCE), une référence pour l'évaluation de l'état quantitatif des masses d'eau souterraines en domaine sédimentaire (hors aquifères alluvionnaires et karstiques, ce qui pourrait constituer une restriction pour les calcaires de l'Avesnois fortement représentés sur le territoire du SAGE) pour les masses d'eau affichant une tendance à la baisse.

On note ainsi, en règle générale, des prélèvements annuels globalement importants en considérant ce ratio, pour les années 1996 et 2017 au regard de la recharge annuelle de la nappe estimée.

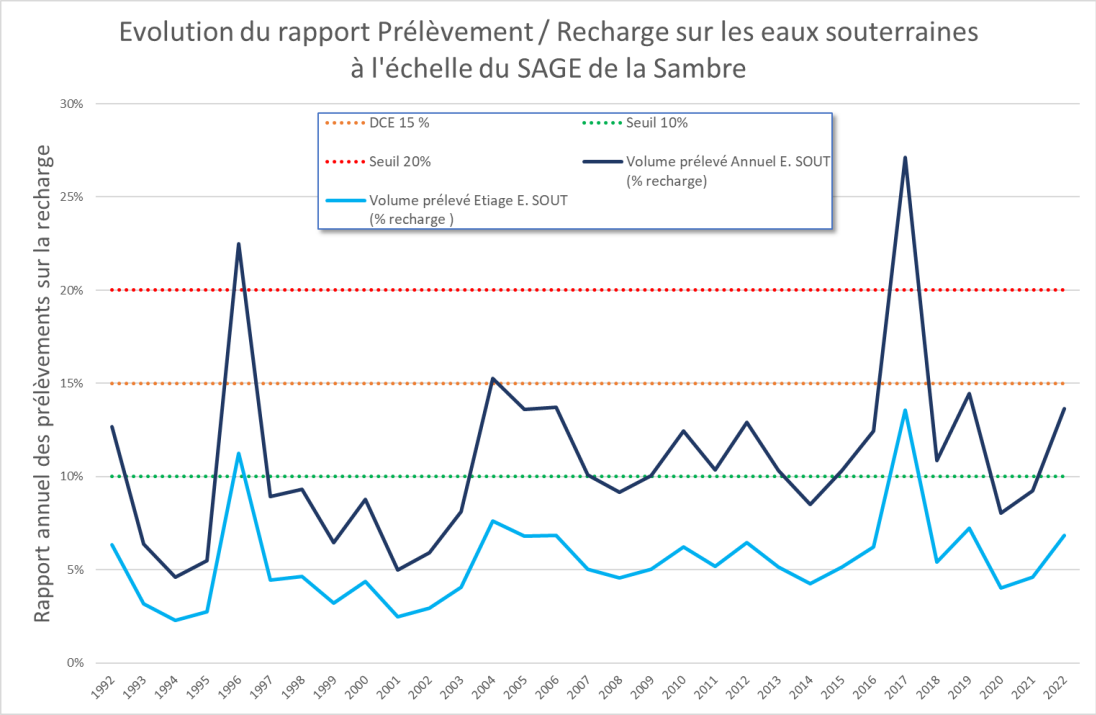


Figure 51 : Evolution du rapport des prélèvements annuels et à l'étiage en eau souterraine avec la recharge hivernale

7 Perspectives et évolutions

7.1 Quant à la précision et la complétude des données

- *Maintien en l'état du réseau* de surveillance existant (pour éviter au maximum les lacunes de données pour les ouvrages présents sur le territoire).
- Disposer des *données mensuelles* des *volumes prélevés* pour *l'alimentation en eau potable* et à *usage industriel*, sur l'ensemble des producteurs et/ou utilisateurs.
- S'assurer de *l'absence de prélèvements agricoles* sur le territoire du SAGE, y compris pour les faibles volumes prélevés.

7.2 Vis-à-vis de la surveillance et de la gestion des unités sècheresse

- Piézométrie :
    - *Peu voire pas de piézomètres* à la craie faisant l'objet d'un *suivi régulier*, sont présents sur le territoire (7 recensés au total sur la craie dont 2 à la craie du Valenciennois et 7 à la craie du Cambrésis, mais aucun d'entre-eux ne dispose de mesures continues avec une complétude annuelle et mensuelle exploitable).

  3 piézomètres de référence de l'unité sècheresse du Bassin versant de la Sambre qui couvre à la fois les formations crayeuses et calcaires, s'adressant à la *uniquement à la masse d'eau des Calcaires de l'Avesnois.* Il est par ailleurs à noter que l'in de ces piézomètres est probablement fortement influencé par la *présence proche de carrières en exploitation*.

  Proposition peut être faite :

  De *disposer* d'un *enregistrement en continu des niveaux* sur quelques *ouvrages existants non équipés* s'adressant à chacune des *masses d'eau crayeuses* qui permettrait d'avoir une meilleure connaissance du fonctionnement de ces masses d'eau sur le territoire du SAGE, voire d'en créer si besoin. A évaluer au regard de l'importance des prélèvements effectués plus limités que sur les Calcaires de l'Avesnois (en particulier pour la Craie du Valenciennois).

  De *s'assurer* de la *non-influence des piézomètres aux Calcaires de l'Avesnois* utilisés comme référence pour les unités sècheresse et / ou des seuils définis, en particulier pour le piézomètre 00383X0229/PZSP6 à Taisnières-en-Thiérache qui présente de nombreux franchissements de seuils. Le cas échéant, il pourrait être nécessaire de rechercher un piézomètre plus représentatif, voire d'en créer un nouveau.

  ⇨ Essentiel dans le cadre d'une gestion dynamique fortement conseillée.

- Hydrologie :

  Uniquement *2 stations hydrométriques* présentes sur le territoire : La Solre à Ferrière-la-Grande et L'Helpe Mineure à Étrœungt. On notera que cette dernière se situe en aval des rejets des eaux d'exhaure des carrières situées plus en amont, et que son bassin versant est concerné à la fois par la présence de la masse d'eau des Calcaires de l'Avesnois et par celle de la Craie du Cambrésis. En revanche, la station sur la Solre à Ferrière-la-Grande apparaît la plus homogène et la plus représentative de ce point de vue, des formations des Calcaires de l'Avesnois.

Voir s'il est envisageable de *mettre en place une station complémentaire* disposant d'un *bassin versant* sur la *Craie du Cambrésis* (La Riviérette, malgré la présence d'un écoulement intermittent ?).

7.3 Sur les méthodes mises en œuvre pour les prochaines études de volumes prélevables

Constat :

Les *méthodes utilisées* dans le cadre de l'étude fournissent des *résultats intéressants*, mais parfois *difficiles à interpréter* du fait de la variabilité des masses d'eau identifiées sur certains bassins versants de cours d'eau.

De ce fait, elles connaissent des *limites* dans l'approche de *l'estimation des Volumes mobilisables provisoires*, en particulier relative au *secteur concerné* par la *masse d'eau des Calcaires de l'Avesnois* (cyclicité pluriannuelle de la recharge, présence d'une fissuration développée de manière très hétérogène, voire karstique, avec un fonctionnement de l'hydrosystème très variable selon les secteurs). Aussi, l'analyse de la recharge apparente constitue ainsi un élément important pour caractériser la situation de la nappe.

On peut considérer :

- Que la *méthodologie* ici mise en œuvre apparaît *peu adaptée* pour *l'estimation des volumes mobilisables provisoires* sur l'ensemble du secteur concerné par les Calcaires de l'Avesnois, masse d'eau principale sur le territoire.
- Qu'elle *ne permet pas*, au regard des données disponibles, de *discrétiser les résultats* entre la masse d'eau des Calcaires et celle(s) contenue(s) dans les formations crayeuses.

D'où une proposition de *volumes mobilisables provisoires* faite pour l'ensemble du SAGE à *considérer avec précautions*.

Evolution pouvant être envisagée dans le cadre des futures études :

- Pour la partie crayeuse : 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, y compris sur le territoire du SAGE concerné.
- Pour la partie Calcaires de l'Avesnois : Une démarche de modélisation hydrodynamique peut également être envisagée sur la partie Calcaires de l'Avesnois mais plus délicate à mettre en œuvre compte tenu de la forte fissuration parfois hétérogène affectant les calcaires.

  On pourra également envisager une *approche plus adaptée* au *contexte des calcaires, à mettre en œuvre* avec un *ciblage spécifique sur les eaux de surface* par *bassins versants*, dont le principe schématique est présenté en Figure 52 ci-dessous.
- Les étapes d'analyse en seraient les suivantes :

  1. Désinfluencer les débits des prélèvements (+) et des rejets (-).
  2. Évaluer le débit plancher adapté (Débit Minimum Biologique ou autres) pour garantir les usages à l'aval.

3. Déterminer le volume circulant sur la période ciblée (basses eaux, étiage ou hautes eaux).
4. Déterminer le volume mobilisable (prélevable) qui en serait déduit.

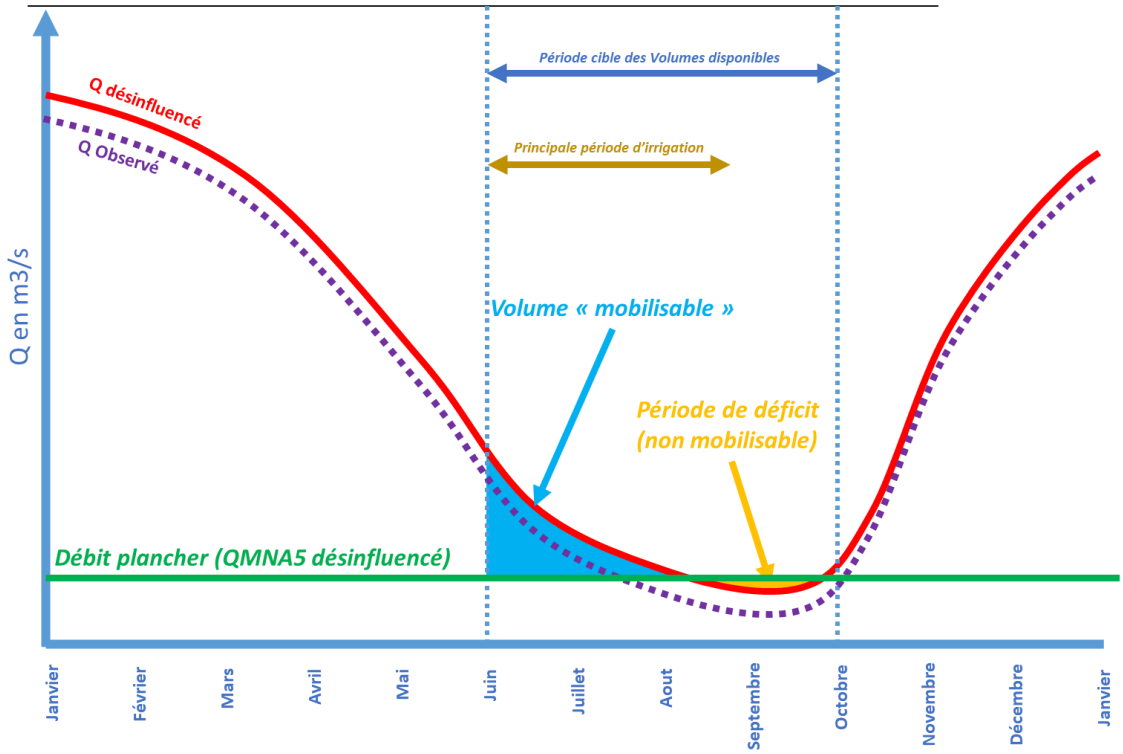


Figure 52 : Schéma de principe d'une méthodologie d'approche des volumes prélevables pour la partie Calcaires de l'Avesnois sur le SAGE de la Sambre

7.4 Pour les outils de gestion quantitative (gestion dynamique)

Quoi qu'il en soir, *une gestion dynamique annuelle est fortement conseillée du fait de la présence d'une cyclicité pluriannuelle qui reste importante pour les nappes présentes sur le territoire*. Ainsi, la définition des volumes prélevables doit être envisagée sous l'angle volume maximum autorisé mais pouvant être abaissé par suite de situations climatiques ou de niveaux préoccupants observés avant la période estivale.