



Réalisation d'une étude hydrogéologique relative à l'estimation des volumes mobilisables par deux approches simples sur le bassin-versant du Thérain.

RAPPORT SYNTHETIQUE DES VOLUMES MOBILISABLES DU BASSIN-VERSANT DU THERAIN

Juin 2025



SOMMAIRE

1	<i>Préambule</i>	<i>1</i>
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
1.4	Principales sources de données	3
2	<i>Caractéristiques globales du territoire du SAGE du bassin du Thérain.....</i>	<i>4</i>
2.1	Les cours d'eau	5
2.2	Géologie et masses d'eau souterraines	5
2.3	Ecoulement des différentes masses d'eau souterraines	7
2.4	Arrêté cadre sécheresse	10
2.5	Les bassins versants repères analysés pour le territoire du Thérain.....	10
3	<i>Synthèse du fonctionnement de l'hydrosystème et des défaillances observées</i>	<i>11</i>
3.1	Climat.....	11
3.2	Fonctionnement hydrogéologique	12
3.3	Indicateurs de ressource en eau	18
3.3.1	Indicateurs hydrologiques	18
3.3.2	Indicateurs de franchissement des seuils piézométriques	24
3.3.3	Indicateurs de tendances piézométriques	27
4	<i>Synthèse des résultats de calcul de recharges</i>	<i>28</i>
4.1	Résultats des calculs de recharges apparentes	28
4.2	Résultats SIM2, WALLINGFORD, GARDENIA	30
4.2.1	Analyse comparée des résultats des différentes méthodes	30
4.2.2	Estimation de la recharge sur la nappe de la Craie à l'échelle du SAGE	33
4.2.3	Estimation de la recharge sur le Pays de Bray	34
5	<i>Synthèse des prélèvements effectués sur le territoire du SAGE</i>	<i>35</i>
5.1	Données disponibles et hypothèses prises en compte	35
5.2	Répartition des prélèvements par mois	36
5.3	Bilan sur les volumes annuels prélevés sur l'ensemble du SAGE.....	36
5.4	Bilan sur les volumes prélevés sur la période Mai à Octobre.....	39
6	<i>Estimation de l'enveloppe de volumes mobilisables</i>	<i>42</i>
6.1	Approche méthodologique déployée.....	42
6.2	1 ^e approche : comparaison avec un indicateur national (nappe de la Craie).....	42

6.3	2^e approche : comparaison avec des indicateurs locaux (nappe de la Craie)	43
6.3.1	Analyse pour les eaux souterraines vis-à-vis des observations historiques	43
6.3.2	Définition d'un volume mobilisable sur les eaux souterraines (nappe de la Craie)	44
6.3.3	Définition d'un volume mobilisable sur les eaux superficielles	45
6.4	Cas de la masse d'eau du Pays de Bray	46
6.4.1	1 ^e approche : comparaison avec un indicateur national (Pays de Bray)	46
6.4.2	2 ^e approche : comparaison avec des indicateurs locaux (Pays de Bray)	47
7	<i>Perspectives et évolutions</i>	49
7.1	Quant à la précision et la complétude des données.....	49
7.2	Vis-à-vis de la surveillance et de la gestion des unités sècheresse	49
7.3	Sur les méthodes mises en œuvre pour les prochaines études de volumes prélevables.....	49
	<i>Annexe 1 : présentation des méthodologies de calcul de la recharge.....</i>	52
	Approche des recharges et des vidanges apparentes.....	52
	Calcul de la recharge à partir de GARDENIA, outil de modélisation globale	52
	Calcul de la recharge à partir du calcul d'un écoulement de base (Wallingford).....	55
	Calcul de la recharge SIM 2	56

FIGURES

Figure 1 : Schéma de principe de l'approche méthodologique déployée (schéma Antea group)	2
Figure 2 : Carte de présentation du territoire du SAGE	4
Figure 5 : Carte des masses d'eau souterraines	6
Figure 3 : Coupe géologique de l'anticlinal du Pays de Bray entre Lalandelle et Lhéraule (source : plaquette « Le pays de Bray, des trésors et des richesses naturelles »).	8
Figure 4 : Carte géologique et piézométrie du bassin-versant du Thérain.	9
Figure 5 : Evolution des moyennes annuelles des températures maximales journalières	11
Figure 6 : Classement des années selon l'indice de précipitation standardisée (IPS)	12
Tableau 1 : cyclicité des piézomètres sur le territoire.....	13
Figure 7 : variation annuelle du niveau piézométrique sur un piézomètre sur la nappe de la Craie, à double cyclicité annuelle : BSS000GWHZ à Beauvais	13
Figure 8 : Chronique journalière d'un piézomètre amont sur la nappe de la Craie, à double cyclicité annuelle : BSS000FNLM à Omécourt	14
Figure 9 : Chronique journalière de 1974 à 2003 d'un piézomètre sur l'Eocène du Valois, à cyclicité pluriannuelle dominante, peu réactif aux pluies : BSS000JTHP à Saint-Vaast-lès-Mello.....	14
Figure 10 : Chronique journalière de 2007 à 2024 d'un piézomètre sur la masse d'eau du Pays de Bray, à cyclicité annuelle dominante, très réactif aux pluies : BSS000GVPM à Hodenc-en-Bray	15
Figure 11 : Carte de cyclicité de piézomètres présents sur le territoire du SAGE.....	16
Figure 12 : Comparaison entre le débit du Thérain à Beauvais et les variations de hauteur d'eau sur le piézomètre BSS000GWHZ - Beauvais.....	17
Figure 13 : Comparaison entre le débit de base de l'Avelon à Goincourt (calculé par la méthode de Wallingford) et les variations de hauteur d'eau sur le piézomètre BSS000GVPM – Hodenc-en-Bray (moyenne glissante sur 9 jours)	17
Tableau 2 : Nombre de jours de franchissement des seuils d'arrêtés sécheresse (les % indiqués correspondent au % maximum du nombre de jours concernés dans l'année du cycle de dépassement)	18

Figure 14 : Evolution des QMNA aux différentes stations vis-à-vis du QMNA quinquennal (sec et humide) et du QMNA biennal (période de référence 1991-2023)	19
Figure 15 : Evolution des volumes déficitaires d'étiage aux différentes stations	20
Figure 16 : Evolution mensuelle des observations du réseau ONDE sur la station « Herboval ».....	21
Figure 17 : Evolution mensuelle des observations du réseau ONDE sur la station « Ru des Raques ».....	21
Figure 18 : Cartographie des taux de franchissement interannuel du QMNA₅ (période de référence 1991-2023)	22
Figure 19 : Cartographie des modalités interannuelles d'assecs observés sur le réseau ONDE entre 2012 et 2023	23
Tableau 3 : Années de franchissement du HMNA₅ entre 1991 et 2023 (les % indiqués correspondent au % du nombre de jours concernés par rapport au nombre de jours avec mesure)	24
Figure 20 : Répartition des nombres de jours de dépassement des seuils de référence sécheresse observés sur le piézomètre BSS000GWHZ de Beauvais.....	25
Figure 21 : Cartographie des taux de franchissement interannuel du HMNA₅.....	26
Tableau 4 : Bilan des tendance piézométriques identifiées comme valides statistiquement.....	27
Figure 22 : principe de la recharge apparente, de la vidange apparente et du calcul du solde (solde = recharge - vidange)	28
Figure 23 : Recharge, vidange et solde apparents en mètres de niveau d'eau dans le piézomètre BSS000FNLM - Omécourt à la Craie Picarde, et période de retour associée.....	29
Figure 24 : Recharge, vidange et solde apparents en mètres de niveau d'eau dans le piézomètre BSS000GXKH - Lafraye à la Craie Picarde, et période de retour associée.....	30
Figure 25 : Comparaison des résultats des calculs de recharges et des temps de retour associés, entre les différentes méthodes utilisées pour la station du Thérain à Beauvais	32
Figure 26 : Comparaison des résultats des calculs de recharge annuelle GARDENIA entre les stations hydrologiques.....	33
Tableau 5 : bilan des recharges annuelles calculées	33
Figure 27 : Comparaison des résultats des calculs de recharges annuelles SIM2 de l'ensemble du SAGE avec ceux des stations hydrologiques	34
Tableau 6 : bilan des recharges annuelles calculées	34

Figure 28 : Résultats des calculs de recharge annuelle sur la station de l'Avelon à Goincourt, et temps de retour associé.	35
Figure 29 : Répartition mensuelle des prélèvements pour l'Alimentation en Eau potable sur la Communauté d'Agglomération du Beauvaisis.....	36
Figure 30 : Evolution des prélèvements annuels en eaux superficielles	37
Figure 31 : Evolution des prélèvements annuels en eaux souterraines	37
Figure 32 : Evolution des prélèvements annuels en eaux souterraines selon les masses d'eau captées.....	39
Figure 33 : Evolution des prélèvements en périodes de basses eaux (de Mai à Octobre) en eaux superficielles.....	39
Figure 34 : Evolution des prélèvements en périodes de basses eaux (de Mai à Octobre) en eaux souterraines.....	39
Figure 35 : Répartition des points de prélèvements sur le territoire du SAGE avec identification des usages pour l'année 2020	40
Figure 36 : Répartition de l'importance des volumes AEP, industriels et agricoles prélevés sur le territoire du SAGE (année 2020 toutes ressources confondues)....	41
Figure 37 : Comparaison du rapport prélèvements en étiage / recharge, avec l'objectif DCE.....	43
Figure 38 : Graphiques de synthèse sur les eaux souterraines avec les recharges et leurs temps de retour associés, et les franchissements de seuils d'arrêtés sécheresse (1 : seuil de vigilance, 2 : seuil d'alerte, 3 : seuil d'alerte renforcée, 4 : seuil de crise).	44
Figure 39 : Positionnement des volumes prélevés en eau souterraine avec les volumes mobilisables définis, les recharges et leurs temps de retour associés, et les franchissements de seuils d'arrêtés sécheresse (1 : seuil de vigilance, 2 : seuil d'alerte, 3 : seuil d'alerte renforcée, 4 : seuil de crise).	45
Figure 40 : Positionnement des volumes prélevés en eau superficielle avec les recharges et leurs temps de retours associés, et les franchissements de seuils d'arrêtés sécheresse sur la station du Thérain à Beauvais (1 : seuil de vigilance, 2 : seuil d'alerte, 3 : seuil d'alerte renforcée, 4 : seuil de crise).	46
Figure 41 : Comparaison du rapport prélèvements en étiage / recharge, avec l'objectif DCE.....	47
Figure 42 : Positionnement des volumes prélevés en eau souterraine avec les recharges et les franchissements de QMNA5 (1 : au moins 1 jour de dépassement, 2 : plus de 20 jours de dépassement, 3 : plus de 50 jours, 4 : plus de 80 jours).....	48
Figure 43 : Proposition d'unités de gestion	51

<i>Principe de la recharge apparente, de la vidange apparente et du calcul du solde (solde = recharge - vidange)</i>	<i>52</i>
<i>Schéma de principe du fonctionnement du modèle global GARDENIA (source : BRGM).....</i>	<i>53</i>
<i>Exemple d'ajustement des niveaux piézométriques obtenus par calage d'un modèle GARDENIA</i>	<i>54</i>
<i>Exemple de tableau de paramètres avant et après calage pour un modèle GARDENIA</i>	<i>54</i>
<i>Page d'accueil du logiciel ESPERE (Source : BRGM).....</i>	<i>55</i>
<i>Exemple de résultats graphiques de pluie efficace et de recharge de nappe permis par le logiciel ESPERE (Source : BRGM)</i>	<i>56</i>
<i>Principe de calcul de la chaîne SAFRAN-ISBA-MODCOU (Source : Centre National de Recherches Météorologiques)</i>	<i>57</i>

1 Préambule

Les chapitres suivants rappellent les objectifs de l'étude conduite pour le Syndicat des Intercommunalités de la Vallée du Thérain (S.I.V.T), 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

Les objectifs de l'étude sont de :

- Caractériser la ressource par des *indicateurs statistiques hydrologiques, climatiques et hydrogéologiques*
- Evaluer la *recharge des nappes* présentes et en faire une analyse statistique selon plusieurs méthodes
- Mettre en regard les *prélèvements avec la recharge* et les indicateurs
- Etablir, en identifiant des années particulières, une *enveloppe de volumes mobilisables* pour le SIVT.

Cette dernière 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 déterminations des volumes prélevables qui peuvent exister ou pourront être engagées dans un futur proche par le SAGE lui-même. Elle propose une *première estimation des enveloppes de volumes mobilisables* qui se veulent provisoires avant des études plus complètes.

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 plus poussée de type « HMUC » ou « volumes prélevables » à proprement parler 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 2023). 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 de constater l'existence de volumes prélevés « 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.

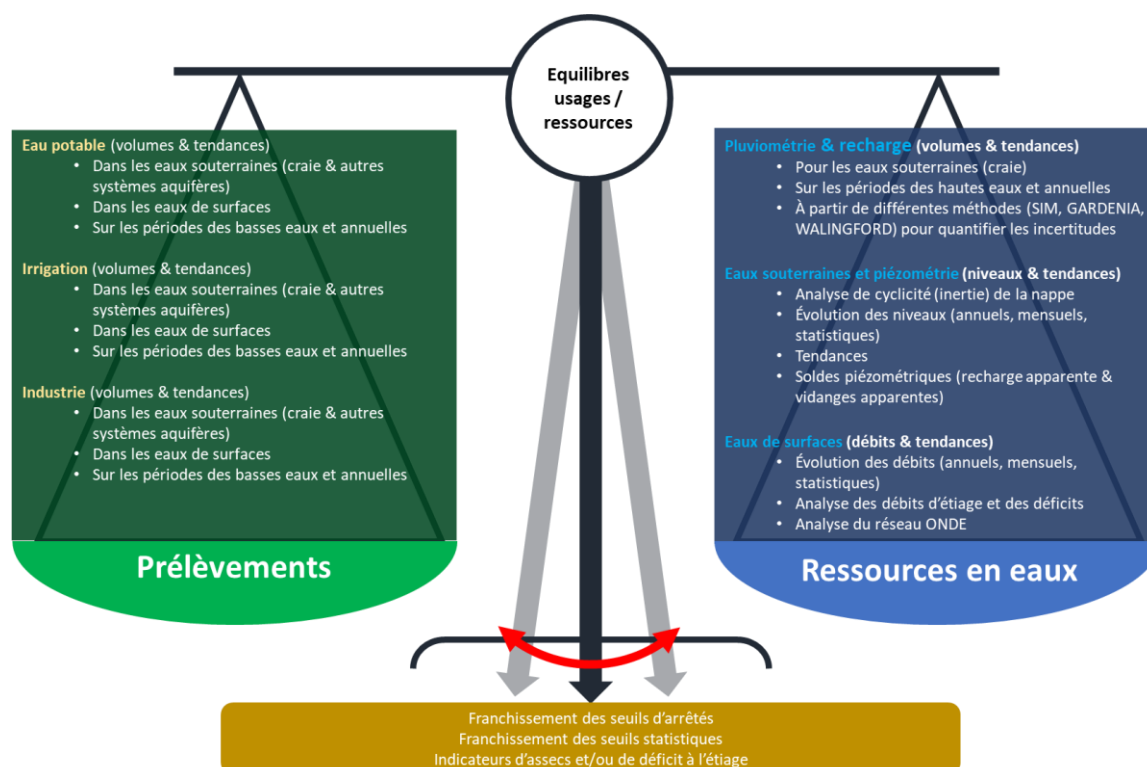


Figure 1 : Schéma de principe de l'approche méthodologique déployée (schéma Antea group)

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 5 ²) Franchissement des seuils d'arrêtés sécheresse Evaluation de la recharge apparente (delta de niveaux entre hautes eaux & basses eaux) et de la vidange apparente qui la précède.
Sur la ressource en eaux de surface	Variations de débit mensuelles, annuelles et interannuelles Franchissement de seuils statistiques classiques (QMNA ₅ ³ , VCN ₃ 5 ⁴) Franchissement des seuils d'arrêtés sécheresse Evaluation des étiages sur les stations hydrométriques Analyse des résultats du réseau ONDE (assecs)
Sur la recharge et les événements climatiques	Analyse des recharges pluviométriques sur la base de la chaîne SIM2 (Safran – ISBA – MODCOU) Analyse des recharges à travers des mises en œuvre de modèles GARDENIA sur des bassins versants cibles Analyse des recharges par la méthode de Wallingford Analyses statistiques des fréquences de retour sur les recharges
Sur les prélèvements	Analyse des prélèvements annuels et sur les périodes de basses eaux de mai à octobre Analyse des prélèvements par type de ressource sollicitée Analyse des prélèvements par type d'usage

¹ HMNA₅ : Hauteur Minimale Mensuelle Interannuelle de fréquence de retour 5 ans sec.

² HCN₃ 5 : Hauteur minimale pendant 3 jours consécutifs sur l'année de fréquence de retour 5 ans sec.

³ QMNA₅ : Débit Minimum Mensuel Interannuel de fréquence de retour 5 ans sec.

⁴ VCN₃ 5 : Débit minimum pendant 3 jours consécutifs sur l'année de fréquence de retour 5 ans sec.

1.3 Limites de l'étude conduite

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

- Ne permet pas la prise en compte des *effets futurs du changement climatique*, ce n'est pas une étude prospective.
- Est basée sur des *indicateurs statistiques*, et non des indicateurs de bon état hydrobiologique type « débit biologique » ou « débit écologique ».
- Ne permet pas le calcul de *l'état naturel de la ressource* (« désinfluencement » des régimes piézométriques et hydrologiques).
- N'intègre pas les *éventuels rejets* opérés sur la ressource, qu'ils s'effectuent vers les eaux souterraines ou superficielles.
- N'intègre pas les *éventuels transferts* entre bassin-versants.

Par ailleurs, les résultats de l'étude sont dépendants :

- De la *bonne connaissance des prélèvements effectués sur le territoire* (localisation, répartition saisonnière et volumes concernés) s'agissant de les comparer à la recharge et aux indicateurs de dépassement des seuils.
- 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.

1.4 Principales sources de données

Les principales sources de données utilisées pour l'étude sont :

- La *banque de données ADES* pour les niveaux d'eau dans les piézomètres (niveaux piézométriques). Les données isolées ou attribuées de façon évidente à des erreurs de mesure ont été supprimées. En cas de doute, les données ont été conservées.
- La *banque de données HYDROPORTAIL* pour les débits des stations hydrologiques. Seules les données avec les statuts « Donnée validée », « Donnée pré-validée » et « Donnée corrigée » ont été conservées. Les années présentant un taux de complétude des données journalières inférieur à 80 % ont été exclues.
- Les données d'observation des assecs du *réseau ONDE* (Observatoire National Des Etiages). Le niveau d'écoulement des cours d'eau est apprécié visuellement environ une fois par mois, selon 4 modalités (écoulement visible, écoulement visible faible, écoulement non visible, assec). Aucune correction de données n'a été réalisée.
- Les stations *Météo France de Longues Séries Homogénéisées (LSH)* pour les calculs de tendance et des calculs statistiques sur la température et la pluviométrie. Sur le SAGE du Thérain, les stations de Beauvais-Tille et de Songeons ont été utilisées. A la date de l'étude, ces données n'étaient disponibles que jusqu'à 2022.
- Les résultats de l'analyse *SAFRAN*, présentant des résultats spatialisés sur des mailles de 8x8 km pour les variables météorologiques parmi lesquelles sur la température, la pluviométrie et l'évapotranspiration.

L'origine des données de prélèvement d'eau est détaillée dans le §5.

2 Caractéristiques globales du territoire du SAGE du bassin du Thérain

Le périmètre du SAGE du bassin du Thérain (cf. Figure 2) s'étend sur environ **1215 km²** sur les départements de l'Oise majoritairement, et de la Seine-Maritime dans son extrémité Ouest. Ce SAGE a fait l'objet d'une approbation le 27 janvier 2023. Il regroupe 167 communes réparties comme suit : 162 dans le département de l'Oise et 5 en Seine-Maritime.



Figure 2 : Carte de présentation du territoire du SAGE

2.1 Les cours d'eau

Le Thérain prend sa source dans le Pays de Bray à Grumesnil (76) à 175 m d'altitude. Après avoir parcouru 96 km, il se jette dans l'Oise au niveau de Montataire (60), à 26 m d'altitude. Ce cours d'eau présente une pente moyenne de 1,6 ‰ mais peut être subdivisé en trois secteurs : une pente d'environ 2,5 ‰ depuis les sources jusqu'à l'aval de Fontenay-Torcy (nord-ouest du bassin du Thérain) ; une pente d'environ 1,75 ‰ jusqu'à la confluence de l'Avelon ; une pente faible d'environ 0,83 ‰ jusqu'à la confluence avec l'Oise.

Le Thérain et ses affluents constituent un réseau hydrographique s'étendant sur 555 km de long. Ses principaux affluents sont l'Avelon et le Petit Thérain.

2.2 Géologie et masses d'eau souterraines

Le territoire du SAGE du bassin du Thérain est *couvert par différentes formations géologiques parfois remises à l'affleurement par érosion : Calcaire, argile, craie et sable*.

Au sud-ouest du bassin, les formations géologiques formant l'anticlinal du Pays de Bray, et remises à l'affleurement par l'érosion en boutonnière, vont des formations Quaternaire et Crétacé supérieur pour les plus jeunes, aux formations du Jurassique supérieur.

Au nord et au sud-est du bassin, on trouve un plateau fortement érodé par la vallée du Thérain. Les formations quaternaires recouvrent au sud les formations Eocène (calcaires, sables, argiles), et au nord les formations crayeuses du Crétacé supérieur.

Sur ce bassin versant du Thérain, d'une superficie totale de 121 500 hectares, plusieurs masses d'eau souterraines sont juxtaposées (cf. Figure 10). Elles présentent des caractéristiques sensiblement *différentes en termes de cyclicité* :

- **FRHG205 Craie Picarde** qui couvre 83 020,2 hectares (68,3 % du territoire) ;
- **FRHG301 Pays de Bray** qui couvre 30 289,67 hectares (24,9 % du territoire) ;
- **FRHG104 Eocène du Valois** qui couvre 21 341,95 hectares (17,6 % du territoire) ;
- **FRHG204 Craie des Bassins Versants de l'Eaulne, Béthune, Varenne, Bresle et Yères**, qui couvre 6 895,2 hectares (5,7 % du territoire).

Le territoire du SAGE est également concerné par la présence de *masses d'eau périphériques, d'extension limitée* sur le territoire, représentant environ 1,13 % de la superficie du SAGE :

- **FRAG312 Craie de la moyenne vallée de la Somme** qui couvre 1 155,5 hectares (0,95 % du territoire au nord)
- **FRHG201 Craie du Vexin Normand et Picard** qui couvre 139,9 hectares (0,12 % du territoire au sud)
- **FRHG002 Alluvions de l'Oise** qui couvre 72,8 hectares (0,06 % du territoire à l'est).

La masse d'eau de l'Eocène du Valois et celle de la craie picarde se superposent. C'est pourquoi la surface totale des masses d'eau est supérieure à la surface totale du SAGE.

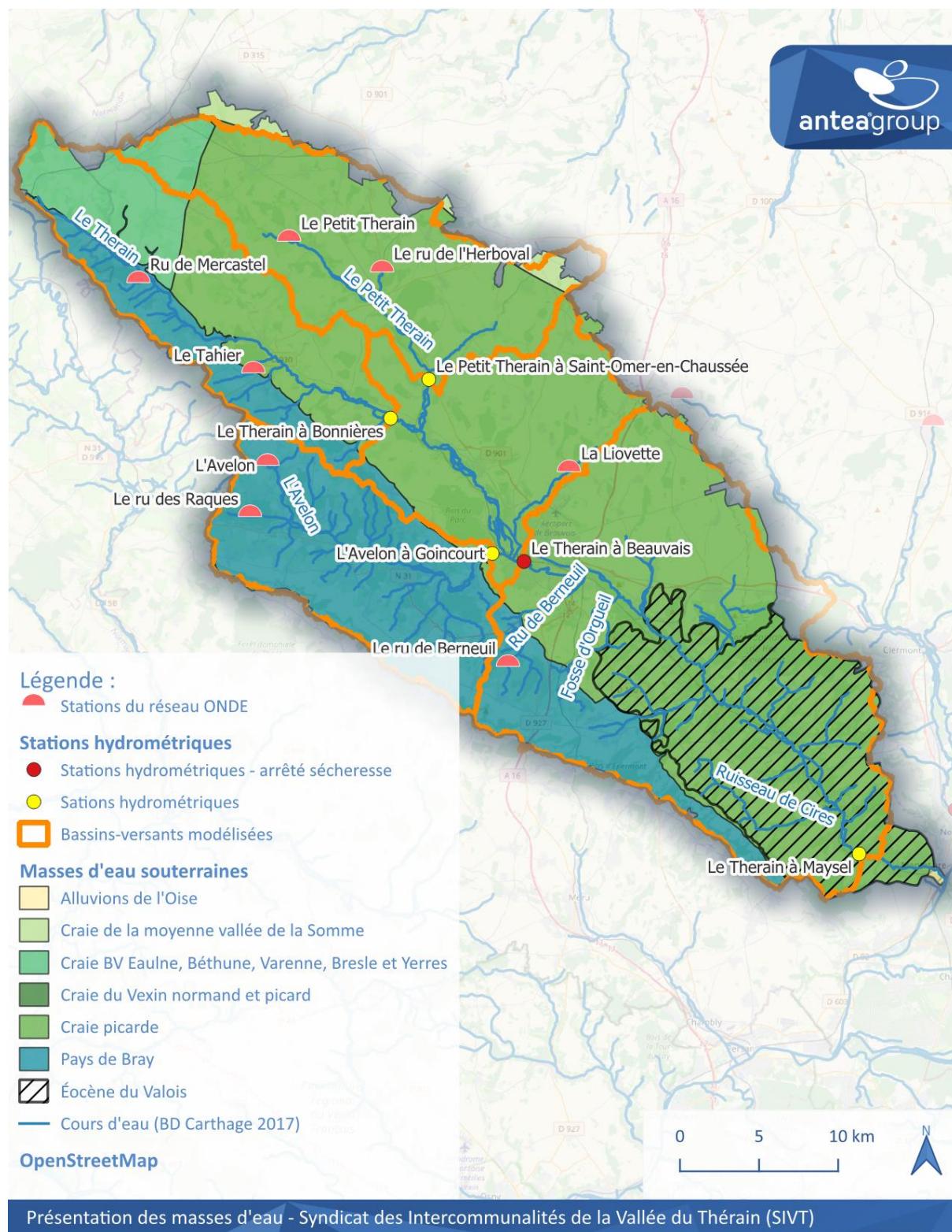


Figure 5 : Carte des masses d'eau souterraines

Cinq stations hydrométriques, mesurant des débits, sont présentes sur le SAGE du Thérain (Figure 5), ainsi que sept stations ONDE (Observatoire Nationale Des Etiages).

2.3 Ecoulement des différentes masses d'eau souterraines

Globalement, d'après les cartes piézométriques régionales à disposition, les bassins-versants hydrogéologiques correspondent aux limites du SAGE.

La *craie des Bassins Versants de l'Eaulne, Béthune, Varenne, Bresle et Yerres* et la *craie Picarde* forment des masses d'eau majoritairement libre en connexion avec les cours d'eau. Elles peuvent être regroupées sous l'appellation de nappe de la Craie. La piézométrie de la nappe de la Craie est fortement marquée par le réseau hydrographique, soulignant un drainage de la nappe au droit des vallées principales et secondaires (cf. Figure 4). En effet, la craie est généralement plus fissurée et plus perméable au droit des vallées que sous les plateaux. Les vallées sèches présentent généralement une fissuration et une perméabilité plus limitées que les vallées à écoulement superficiel pérenne. Le long de la vallée du Thérain, l'écoulement va donc majoritaire du Nord-Ouest vers le Sud-Est.

Sur tout ce territoire, la craie bénéficie *d'une réalimentation et d'une recharge par les pluies efficaces* plus ou moins marquée, dépendante des formations de recouvrement qui peuvent en limiter les apports (*limons loessiques* et les *formations sablo-argileuses*).

La nappe de la Craie devient captive au sud-est lorsqu'elle se retrouve sous recouvrement Eocène et Paléocène. Dans sa partie captive, la craie est moins fissurée et nettement moins productive, sauf sous les alluvions. Elle est en continuité hydraulique avec la nappe des sables de Bracheux (Thanétien, Paléocène), qui fait partie de la masse d'eau de la Craie Picarde. La masse d'eau peut localement être alimentée par drainance des aquifères Eocène, mais globalement on peut considérer que *la Craie n'est pas alimentée sous recouvrement Eocène*.

L'*Eocène du Valois* est une masse d'eau en connexion avec les cours d'eau, qui comprend deux aquifères superposés :

- Les calcaires grossiers du Lutétien, qui forment des nappes libres perchées de faible importance en sommet de butte, et qui présentent une perméabilité d'interstices et de fissures.
- Les sables de l'Yprésien sont quant à eux captifs sous le Lutétien ou libres à l'affleurement, avec une perméabilité d'interstices.

La carte piézométrique de l'Yprésien montre qu'il est fortement influencé par le *réseau hydrographique du Thérain* soulignant un *drainage de la nappe par la vallée principale*. La carte piézométrique du Lutétien n'est pas présentée ici mais les constatations sont identiques.

Le **Pays de Bray** est une zone géologiquement très particulière résultant d'un anticlinal faillé et érodé en son centre, où apparaissent des roches plus anciennes (Jurassique à Crétacé inférieur) que dans le reste du territoire du SAGE. La masse d'eau **Pays de Bray** est une masse d'eau hétérogène qui comprend :

- La partie libre de plusieurs aquifères profonds d'importances à l'échelle du Bassin Parisien (Kimméridgien, Portlandien, Wealdien, Barrémien et Albien). La masse d'eau correspond donc à un aquifère multicouches libre, connecté aux cours d'eau. Une fois captifs, ces différents aquifères deviennent profonds et sont hydrauliquement déconnectés des nappes de surface du territoire (Craie et Eocène).
- Sur toute une bande au Sud-Ouest, des terrains crayeux du Crétacé supérieur sont également présents, renfermant une nappe qui s'écoule vers le Nord-Est et alimente le réseau hydrographique et/ou le reste de la masse d'eau du Pays de Bray.

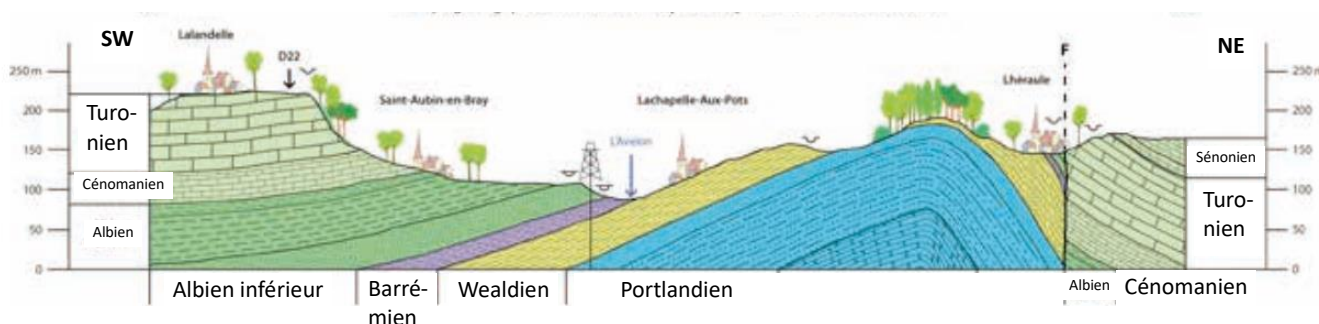


Figure 3 : Coupe géologique de l'anticlinal du Pays de Bray entre Lalandelle et Lhéraule (source : plaquette « Le pays de Bray, des trésors et des richesses naturelles »).

Et enfin, les **Alluvions de l'Oise** forment une masse d'eau libre en connexion avec l'Oise au Sud-Est du territoire.

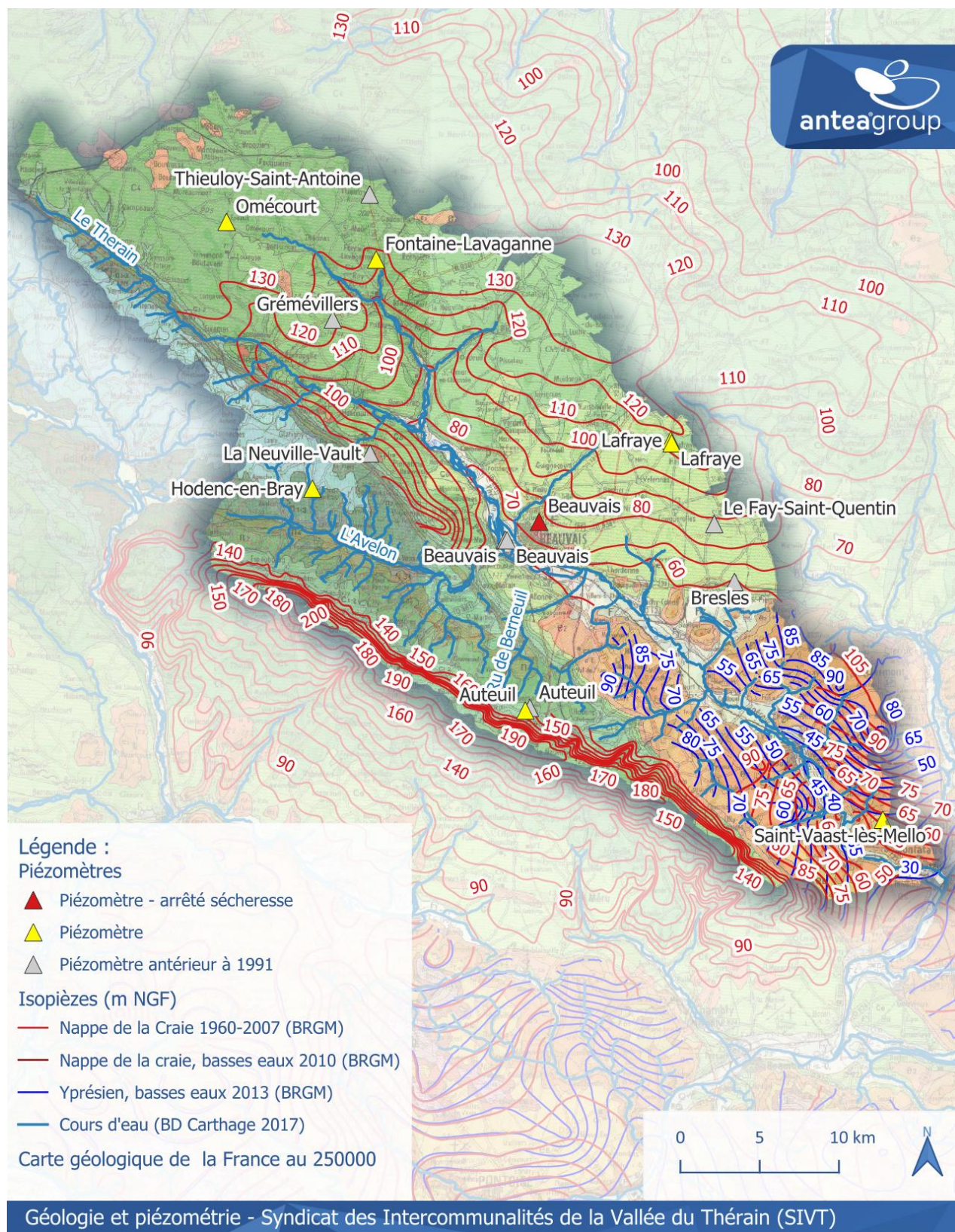


Figure 4 : Carte géologique et piézométrie du bassin-versant du Thérain.

2.4 Arrêté cadre sécheresse

Le dernier *arrêté cadre sécheresse* sur le département de l'Oise date du **29 juillet 2022**. Il délimite des zones d'alerte relatives à la gestion des eaux, définit les seuils de gestion en cas de sécheresse ainsi que la nature des mesures coordonnées de gestion de l'eau. Pour le bassin-versant du Thérain, les *points de suivis* utilisés en indicateurs de référence sont :

- Le *piézomètre de Beauvais* (BSS000GWHZ), situé approximative au centre du territoire et qui capte la nappe de la Craie (masse d'eau de la craie Picarde).
- La *station hydrométrique « le Thérain à Beauvais »* (H774201001), dont le bassin-versant intègre 62% du territoire du SIVT.

Les différents seuils définis dans l'Arrêté (vigilance / alerte / alerte renforcée / crise), ont été établis respectivement :

- Pour les piézomètres, comme égaux aux niveaux mensuels moyens de période de retour 2 ans / 5 ans / 10 ans / 20 ans secs (HMNA).
- Pour les stations hydrométriques, comme égaux aux VCN3 annuels de période de retour 2 ans / 5 ans / 10 ans / 20 ans secs.

2.5 Les bassins versants repères analysés pour le territoire du Thérain

5 stations hydrométriques sont encore actives sur le territoire du SAGE du Thérain. *Les calculs de recharge* ont été réalisés sur les bassins versant de ces stations sur la période 1991-2023 :

- La station sur le Thérain nommée « *le Thérain à Bonnières* » (H770201001)
- La station sur le Petit Thérain nommée « *le Petit Thérain à Saint-Omer-en-Chaussée* » (H771301001)
- La station sur l'Avelon nommée « *l'Avelon à Goincourt* » (H773301001)
- La station sur le Thérain nommée « *le Thérain à Beauvais* » (H774201001)
- La station sur le Thérain nommée « *le Thérain à Maysel* » (H774202001)

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

3.1 Climat

Les données des stations Météo France LSH permettent d'illustrer la hausse des températures sur le territoire, d'environ *+0,37°C par décennie entre 1955 et 2022* (cf. Figure 5).

En termes de pluviométrie, le calcul de l'Indice des Précipitations standardisées⁵ (cf. Figure 6) met en évidence les années les plus sèches (1991, 1996, 2003, 2005, 2015 et 2022), et la *suite d'années humides entre 1999 et 2001*.

Evolution des températures maximales moyennes annuelles entre 1955 et 2022

Poste de BEAUVAIS-TILLE / Station N° 60639001 - Tendance à la hausse de 0.37 °C par décennie

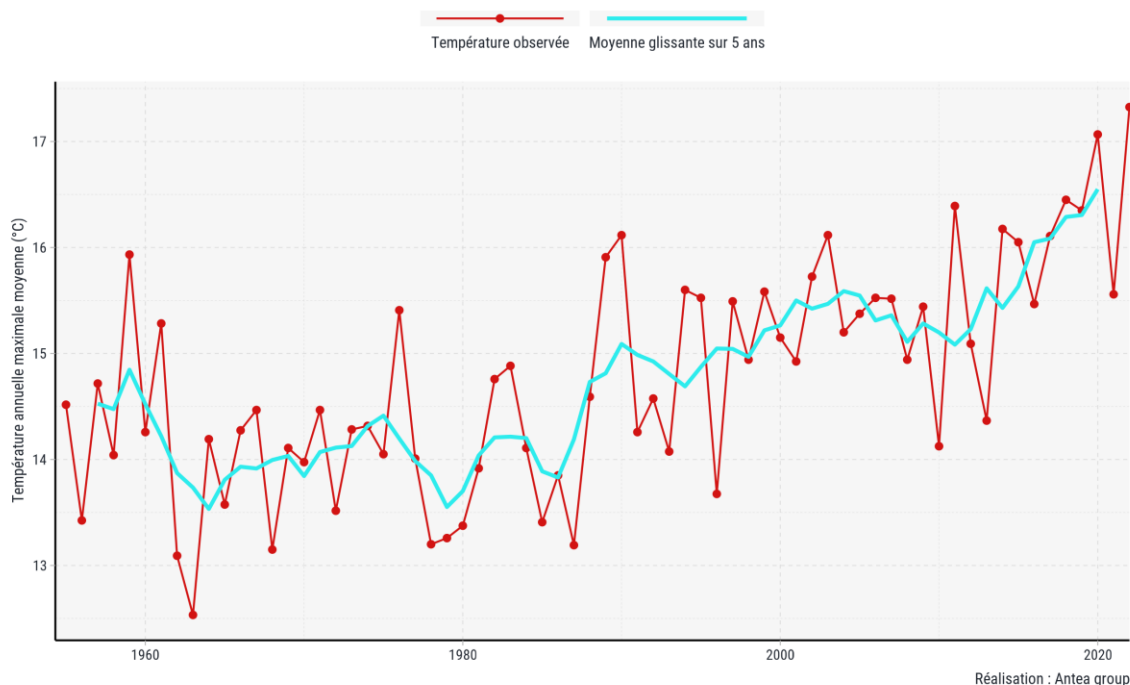


Figure 5 : Evolution des moyennes annuelles des températures maximales journalières

⁵ IPS (Indice de Précipitation Standardisée) : indice de probabilité qui repose seulement sur les précipitations, permettant d'identifier les sécheresses météorologiques. Un SPI de 0 indique une quantité de précipitation médiane (par rapport à une climatologie moyenne de référence). L'indice est négatif pour les sécheresses, et positif pour les conditions humides.

Précipitations annuelles standardisées entre 1991 et 2022

Poste de BEAUVAIS-TILLE / Station N° 60639001

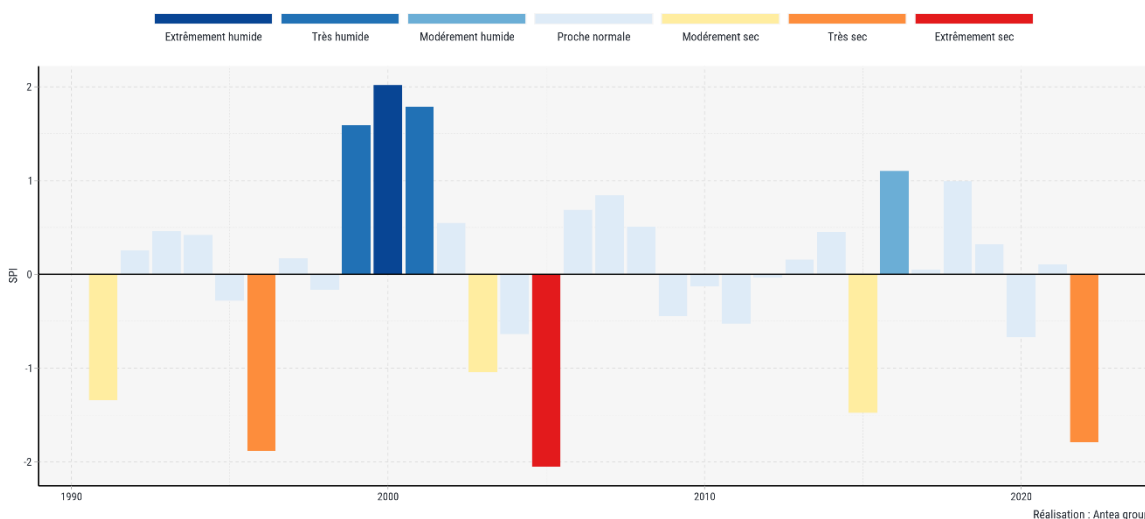


Figure 6 : Classement des années selon l'indice de précipitation standardisée (IPS)

3.2 Fonctionnement hydrogéologique

Les piézomètres actifs sur la période 1991-2023 montrent une différence marquée de comportement entre les différentes masses d'eau (cf. Tableau 1) :

- La nappe de la craie présente une *double cyclicité*, visible sur les 4 piézomètres la surveillant (cf. Figure 7). Une cyclicité annuelle est clairement observable, et la nappe est réactive à sa *recharge par la pluie efficace*. Mais dans le même temps de grands cycles pluriannuels s'observent, indiquant la capacité de la nappe à emmagasiner l'eau pendant les séries d'années plus humides. Ces cycles pluriannuels sont d'autant plus importants sur les piézomètres en amont (BSS000FNLM-Omécourt et BSS000GXKH-Lafraye, cf. Figure 8).
- La masse d'eau du Pays de Bray présente une *cyclicité annuelle marquée à très marquée*, en particulier localement sur le piézomètre BSS000GVPM-Hodenc-en-Bray qui surveille le niveau Portlandien (cf. Figure 10) et qui semble très réactif aux pluies (un ruissellement direct dans le piézomètre n'est pas à exclure). Cela indique un drainage important de la nappe et une faible capacité à stocker l'eau, comme en témoigne le réseau hydrographique qui est beaucoup plus développé dans le Pays de Bray. Le piézomètre BSS000GXCZ-Auteuil capte la frange crayeuse au Sud-Ouest du Pays de Bray, et présente un comportement plus similaire à la nappe de Craie, avec une double cyclicité.
- L'Eocène du Valois n'est surveillé que par un piézomètre qui n'est plus en activité. Il montre une cyclicité pluriannuelle marquée et une faible réactivité aux pluies (cf. Figure 9). Ce fonctionnement est peut-être lié à l'épaisseur de la zone non saturée de la nappe libre qui est particulièrement importante au droit du piézomètre (plus de 30 mètres) et ralentit l'infiltration de l'eau.

L'*inertie de la nappe de la Craie* joue un *rôle majeur dans les débits observés* à l'étiage sur le cours de du Thérain 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*.

Cela est moins vrai dans le Pays de Bray, où l'influence des prélèvements sera plus immédiate. Concernant l'Eocène du Valois, il y a trop peu d'informations pour en déduire sa réactivité.

Tableau 1 : cyclicité des piézomètres sur le territoire

Piézomètre	Masse d'eau	Cyclicité / Inertie	Période principale	Force de la saisonnalité intra-annuelle ⁶	Début-fin chronique récente
BSS000FNLM (Omécourt)	Craie Picarde	Double cycle (intra et inter annuel) et Réactif aux pluies	216 mois	52%	1974-2024
BSS000FNNE (Fontaine-Lavaganne)	Craie Picarde	Double cycle (intra et inter annuel) et Réactif aux pluies	120 mois	71%	1970-2024
BSS000GWHZ (Beauvais)	Craie Picarde	Double cycle (intra et inter annuel) et Réactif aux pluies	12 mois	63%	1974-2024
BSS000GXKH (Lafraye)	Craie Picarde	Double cycle (intra et inter annuel) et Réactif aux pluies	288 mois	66%	1970-2020
BSS000GXKR (Lafraye)	Craie Picarde	Double cycle (intra et inter annuel) et Réactif aux pluies	180 mois	64%	1950-2024
BSS000GVPM (Hodenc-en-Bray)	Pays de Bray	1 seul cycle annuel et très réactif aux pluies	12 mois	51%	2007-2024
BSS000GXCZ (Auteuil)	Pays de Bray	Double cycle (intra et inter annuel) et Réactif aux pluies	12 mois	65%	2007-2024
BSS000JTHP (Saint-Vaast-lès-Mello)	Eocène du Valois	Pluriannuel et Peu réactif aux pluies	288 mois	3%	1974-2008

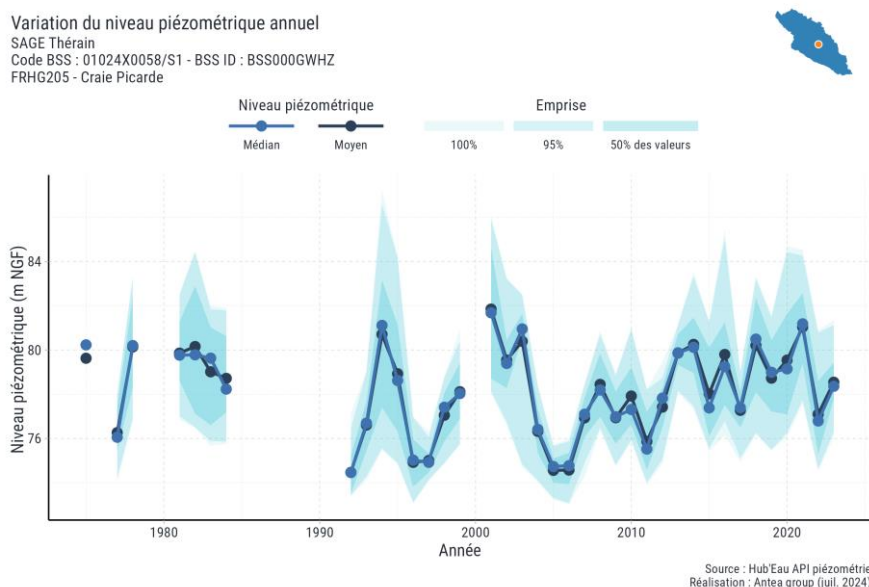


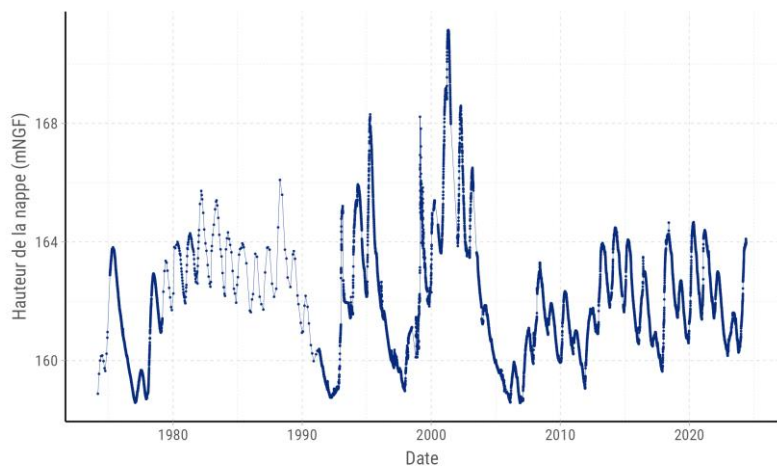
Figure 7 : variation annuelle du niveau piézométrique sur un piézomètre sur la nappe de la Craie, à double cyclicité annuelle : BSS000GWHZ à Beauvais

⁶ La force de la saisonnalité indique à quel point la nappe est corrélée à des fluctuations saisonnières intra-annuelle. Un pourcentage élevé (>75%) indique un fonctionnement avec des fluctuations saisonnières identifiées. Un pourcentage faible indique un fonctionnement plutôt décorrélé d'un fonctionnement saisonnier.

SAGE Thérain

Code BSS : 00791X0017/S1 - BSS ID : BSS000FNLM

FRHG205 - Craie Picarde



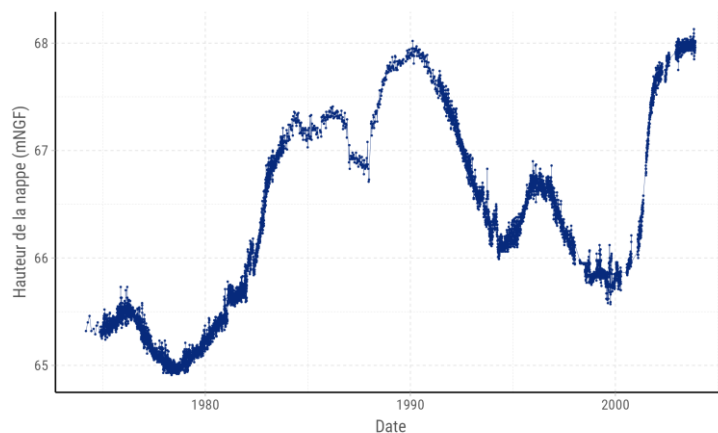
Réalisation : Antea group / Hubeau

Figure 8 : Chronique journalière d'un piézomètre amont sur la nappe de la Craie, à double cyclicité annuelle : BSS000FNLM à Omécourt

SAGE Thérain

Code BSS : 01273X0038/S1 - BSS ID : BSS000JTHP

FRHG104 - Eocene du Valois



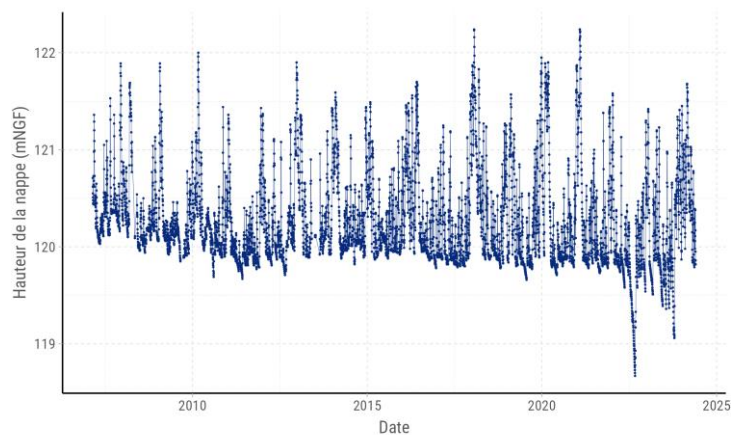
Réalisation : Antea group / Hubeau

Figure 9 : Chronique journalière de 1974 à 2003 d'un piézomètre sur l'Eocène du Valois, à cyclicité pluriannuelle dominante, peu réactif aux pluies : BSS000JTHP à Saint-Vaast-lès-Mello

SAGE Thérain

Code BSS : 01022X0073/P - BSS ID : BSS000GVPM

FRHG301 - Pays de Bray



Réalisation : Antea group / Hubeau

Figure 10 : Chronique journalière de 2007 à 2024 d'un piézomètre sur la masse d'eau du Pays de Bray, à cyclicité annuelle dominante, très réactif aux pluies : BSS000GVPM à Hodenc-en-Bray

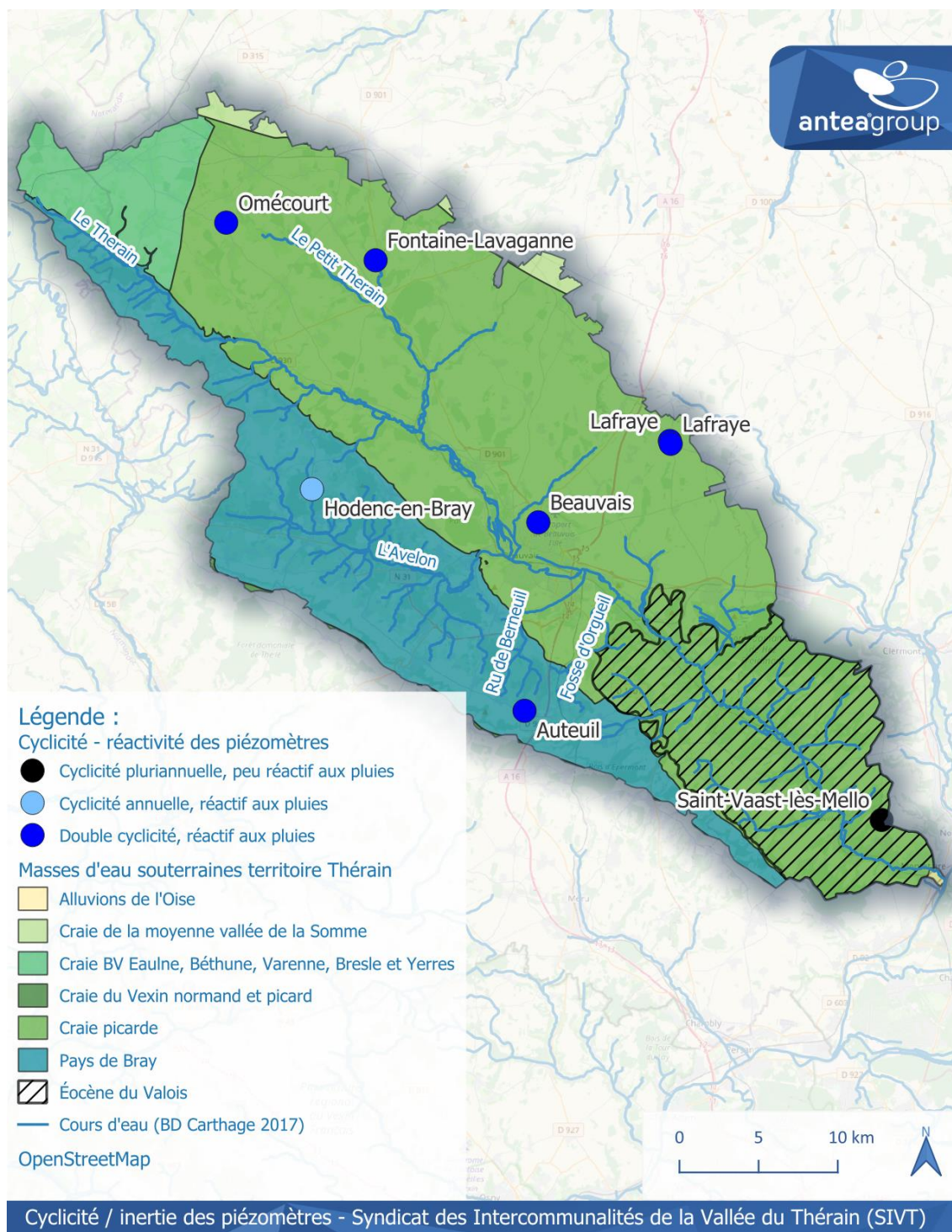


Figure 11 : Carte de cyclicité de piézomètres présents sur le territoire du SAGE

Les niveaux d'eau des piézomètres à la Craie sont corrélés avec les débits du Thérain à Beauvais (cf. Figure 12). Les « Base flow index⁷ » moyens calculés par la méthode de Wallingford sont entre 89% et 97% sur les quatre stations hydrométriques le long du Thérain et du Petit Thérain. Ces deux éléments indiquent une *alimentation très importante du Thérain par les nappes d'eau souterraine, notamment la Craie*.

Les niveaux d'eau du piézomètre BSS000GVPM du Pays de Bray sont corrélés avec les débits de l'Avelon à Goincourt de façon moins évidente, cela est visible en lissant les niveaux et les débits (cf. Figure 13 avec les débits de base). Le « Base flow index » moyen calculé par la méthode de Wallingford est de 64% sur cette station. Ces deux éléments indiquent une *alimentation partielle de l'Avelon par les nappes d'eau souterraine du Pays de Bray*.

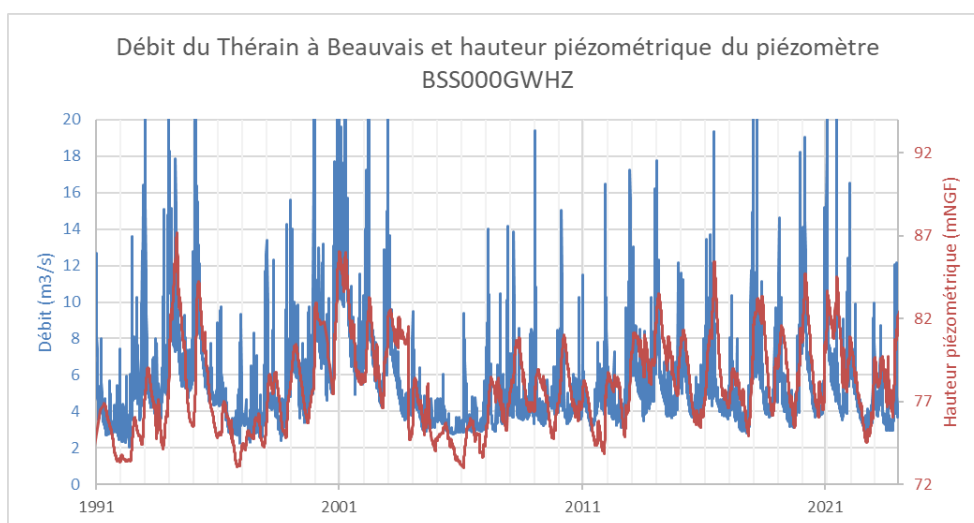


Figure 12 : Comparaison entre le débit du Thérain à Beauvais et les variations de hauteur d'eau sur le piézomètre BSS000GWHZ - Beauvais

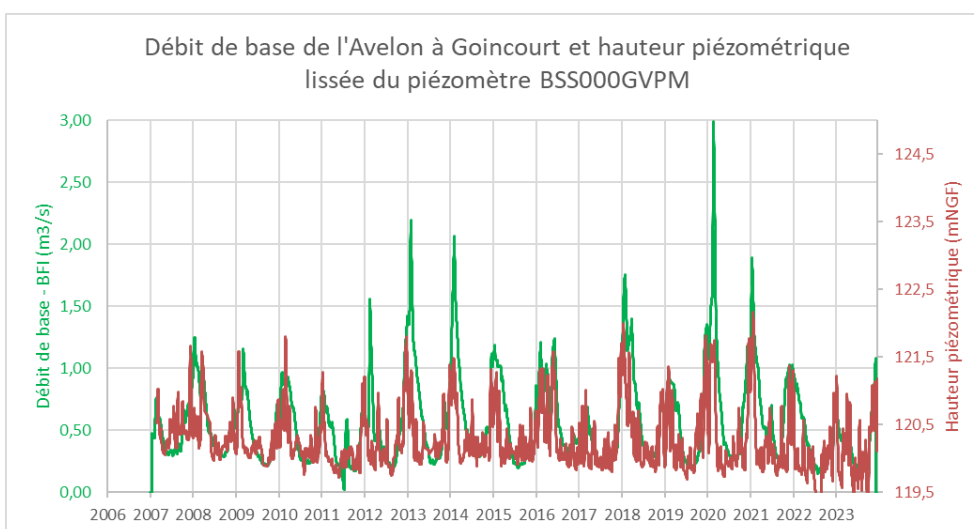


Figure 13 : Comparaison entre le débit de base de l'Avelon à Goincourt (calculé par la méthode de Wallingford) et les variations de hauteur d'eau sur le piézomètre BSS000GVPM – Hodenc-en-Bray (moyenne glissante sur 9 jours)

⁷ Indice caractérisant la contribution des eaux d'infiltration (et donc globalement des nappes) au débit du cours d'eau

3.3 Indicateurs de ressource en eau

3.3.1 Indicateurs hydrologiques

En considérant les données disponibles, des indicateurs *de franchissement du QMNA₅*, témoin d'assec plus prononcés sont *constatés sur la station du Thérain à Beauvais* en 1992, puis sur les périodes 1995-1998, 2005-2007 et en 2017 (cf. Figure 14).

Sur les autres stations sur le Thérain et le Petit Thérain, ce sont globalement les mêmes périodes de franchissement du QMNA₅ (calculé sur la période de référence 1991-2023) qui ressortent. Il n'y a pas de différence de comportement (cf. Figure 18). Quant à la station sur l'Avelon à Goincourt, elle ne présente pas un historique de données suffisant (pas de données entre 1993 et 2006) pour que le calcul de QMNA₅ soit significatif.

Sur *la station du Thérain à Beauvais*, les franchissements du seuil de vigilance de l'arrêté sécheresse sont fréquents, mais les franchissements de seuil d'alerte n'ont lieu que sur les périodes 1991-1992 et 1996-1998 (cf. Tableau 2). Le seuil de crise n'est atteint qu'un jour en 1992.

Tableau 2 : Nombre de jours de franchissement des seuils d'arrêtés sécheresse (les % indiqués correspondent au % maximum du nombre de jours concernés dans l'année du cycle de dépassement)

Code station	Nom station	Années de franchissement de seuil (taux maximum de franchissement de seuil sur la période)			
		Seuil de vigilance	Seuil d'alerte	Seuil d'alerte renforcée	Seuil de crise
H774201001	Le Thérain à Beauvais	1991-1992 (44%) 1996-1998 (49%) 2004-2007 (71%) 2009 (4%) 2011-2012 (12%) 2017 (38%) 2019 (8%) 2022-2023 (23%)	1991-1992 (15%) 1996-1998 (4%)	1992 (1%)	

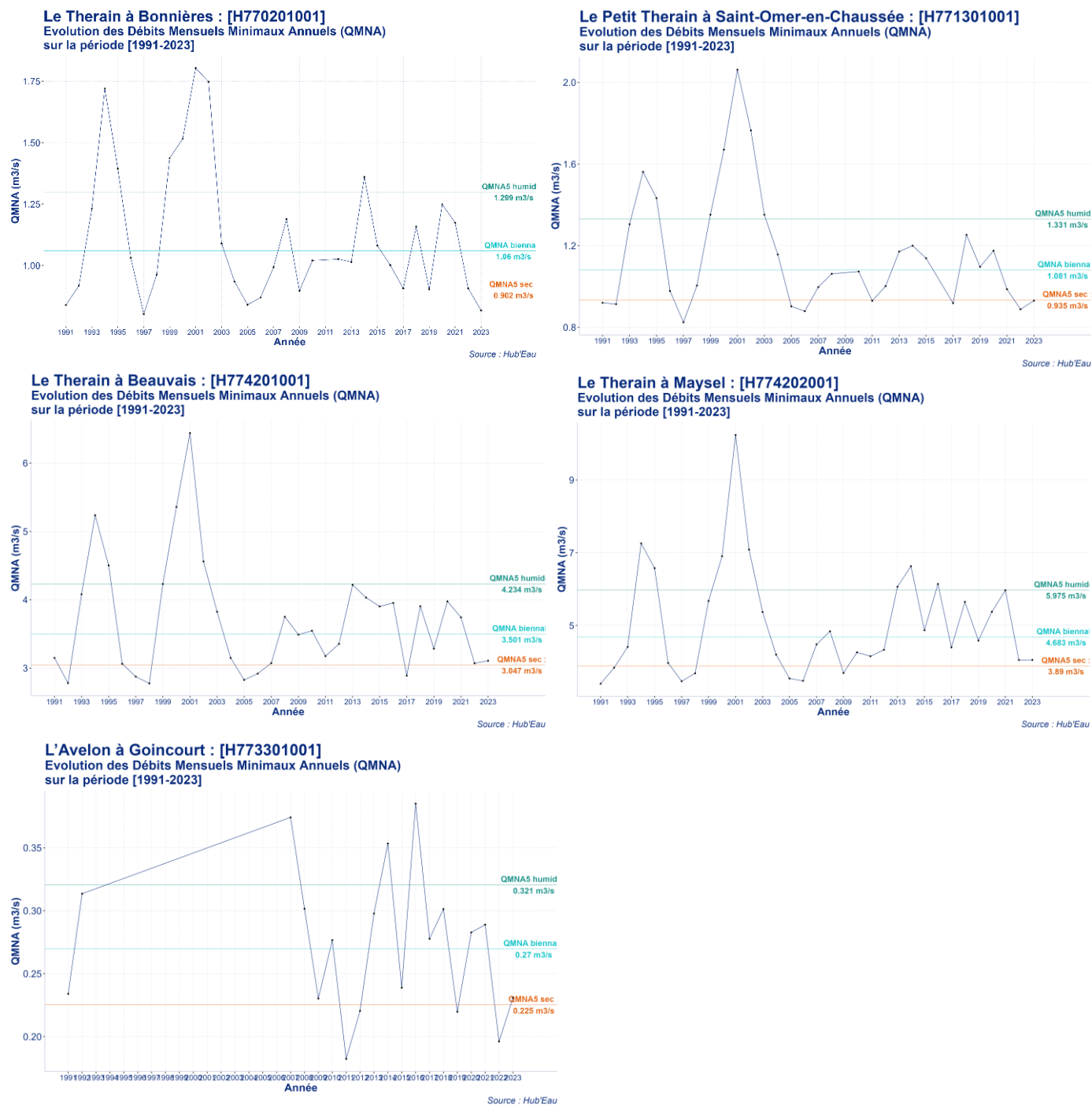


Figure 14 : Evolution des QMNA aux différentes stations vis-à-vis du QMNA quinquennal (sec et humide) et du QMNA biennal (période de référence 1991-2023)

Une *analyse des déficits d'écoulement à l'étiage* est réalisée à partir des indicateurs suivants :

- Un débit statistique Q15 représentant le débit journalier dépassé 15 % du temps dans la chronique.
- Un volume déficitaire d'étiage représentant le volume « manquant » en deçà du débit Q15.
- Une durée d'étiage représentant le nombre de jours où le débit est inférieur au Q15.

Cela fait ressortir sur 1991-2023 pour toutes les stations considérées, les périodes suivantes présentant des étiages (cf. Figure 15) : 1991-1992, 1995-1997, 2004-2007, 2011-2012, 2016, et 2022-2023. En particulier les *années 2005 et 2006* ressortent comme des années avec des étiages sévères, longs, assortis de volumes déficitaires à l'écoulement relativement importants. La station sur le Petit Thérain fait exception, les étiages étant également sévères sur les différentes périodes.

La station sur l'Avelon à Goincourt n'est pas représentée car elle ne présente pas de données entre 1993 et 2006, ce qui surestime le Q15 par rapport aux autres stations et fait ressortir presque toutes les années en déficit.

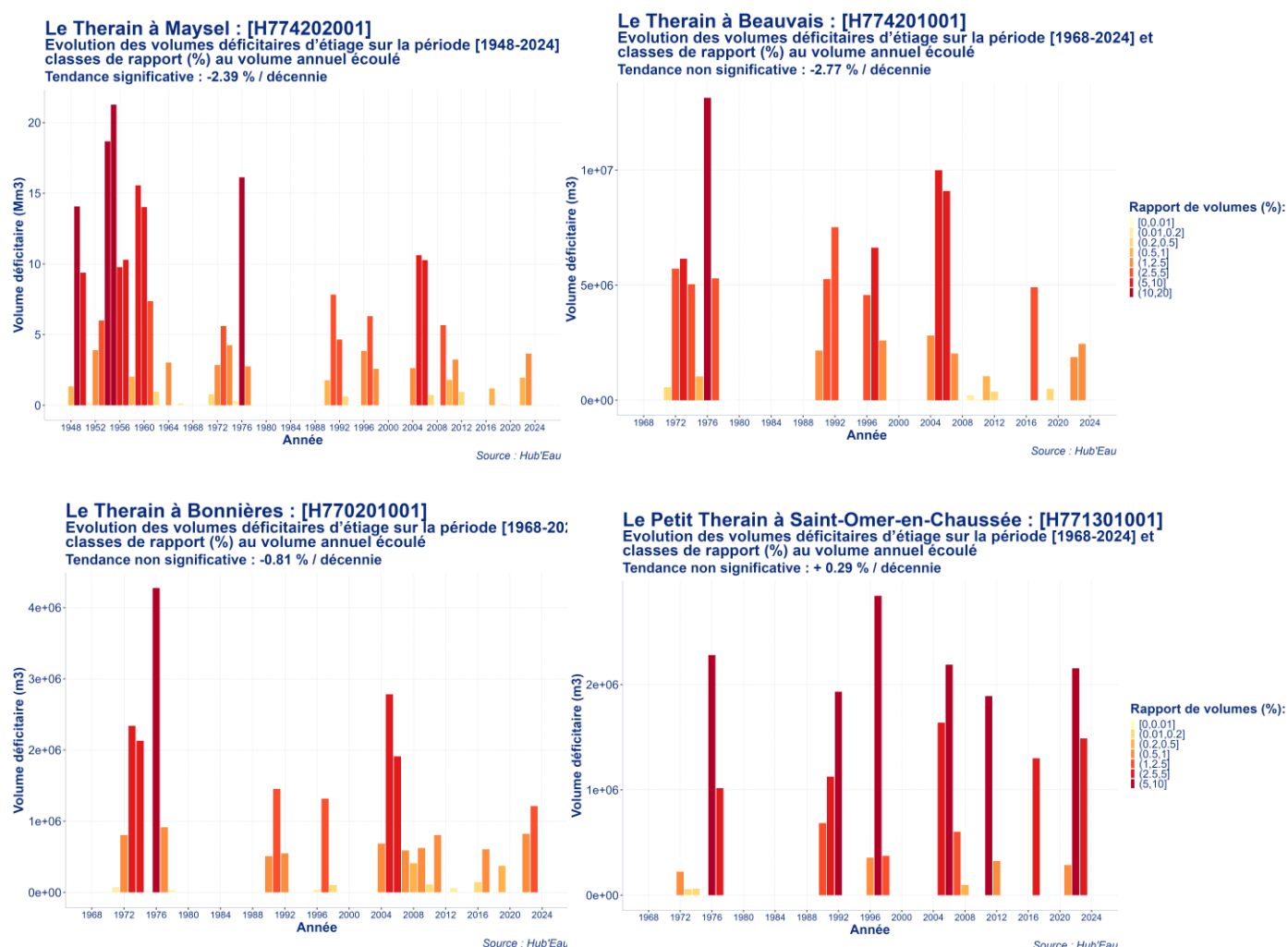


Figure 15 : Evolution des volumes déficitaires d'étiage aux différentes stations

Les indicateurs d'assec du réseau ONDE sur la période 2012-2023 (cf. Figure 19) montrent que les assecs semblent structurels et fréquents sur les stations du Ru des Raques (cf. Figure 17) et du Ru de l'Herboval (cf. Figure 16) et presque absents sur les autres stations. Ces stations sont donc représentatives de situations très locales. L'année avec les principaux assecs observés est 2023.

SAGE Thérain - Herboval [H2110001]

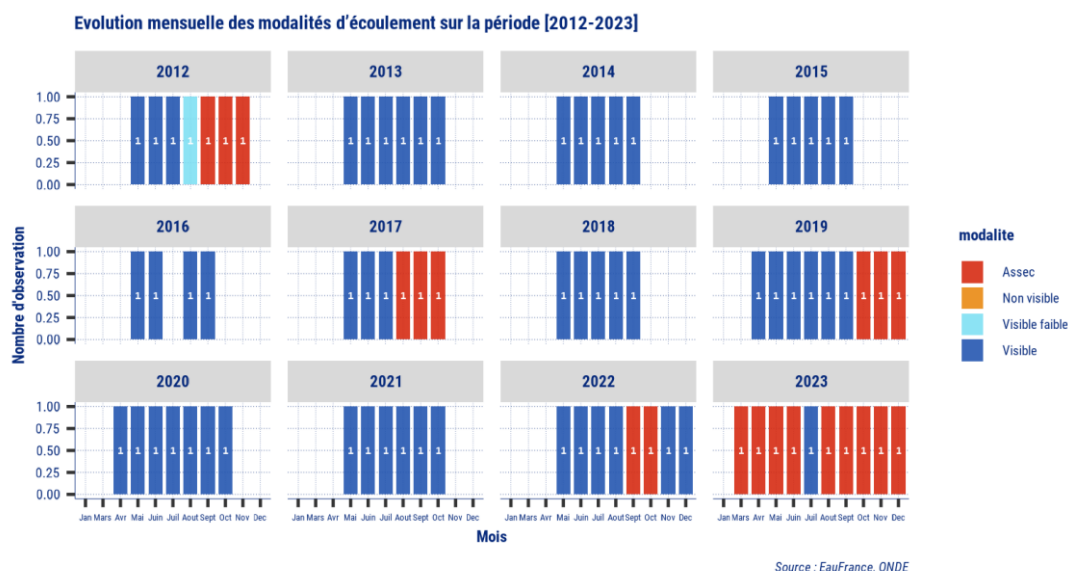


Figure 16 : Evolution mensuelle des observations du réseau ONDE sur la station « Herboval ».

SAGE Thérain - Ru des Raques [H2130001]

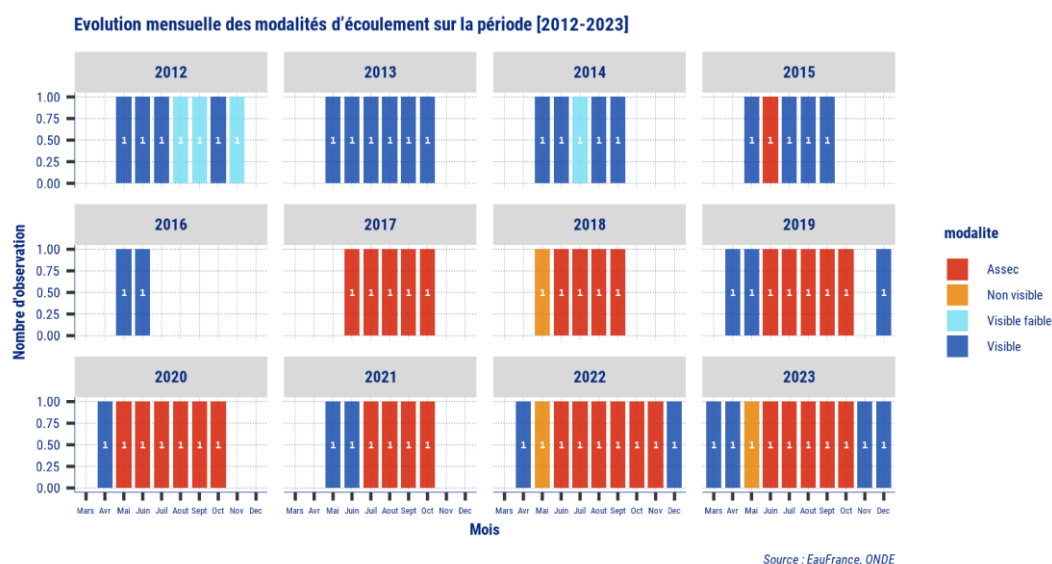


Figure 17 : Evolution mensuelle des observations du réseau ONDE sur la station « Ru des Raques ».



Figure 18 : Cartographie des taux de franchissement interannuel du QMNA₅ (période de référence 1991-2023)

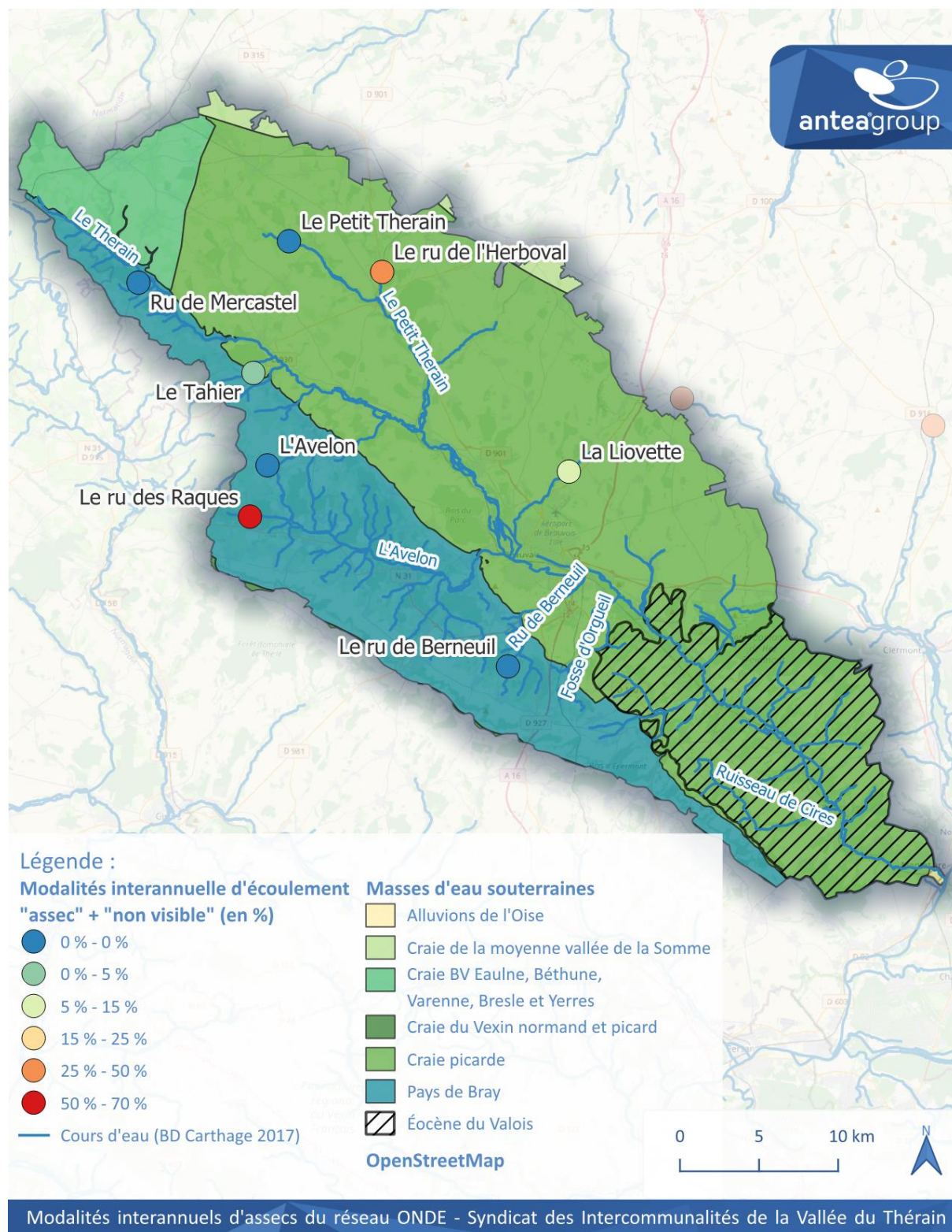


Figure 19 : Cartographie des modalités interannuelles d'assecs observés sur le réseau ONDE entre 2012 et 2023

3.3.2 Indicateurs de franchissement des seuils piézométriques

Sur le SAGE du Thérain, l'un des *piézomètres s'adressant à la Craie picarde* (BSS000FPVM à Beauvais) *est identifié comme piézomètre de référence d'alerte sécheresse*, avec des seuils réglementaires de franchissement définis. Les franchissements des seuils de vigilance sont très fréquents (cf. Figure 20), et les franchissements du seuil d'alerte sont observés sur les cycles 1991-1993, 1995-1996, 2004-2007, 2011 et 2022. Les seuils de crise sont atteints sur les mêmes périodes, sauf en 2002. Les franchissements de seuil de crise les plus marqués sont observés en 1992 (pendant 181 jours), en 1996 (pendant 98 jours) et en 2005 (pendant 94 jours).

Le piézomètre de référence et les autres piézomètres ont également été utilisés pour l'analyse des franchissements du HMNA5 calculés sur la période de référence 1991-2023 (cf. Tableau 3). Des *franchissements assez généralisés*, sont observés sur les périodes 1991-1992, 1997-1998, 2004-2007 et 2010-2011 sur la Craie Picarde, mais très peu en 2023. A l'inverse, sur la masse d'eau du Pays de Bray on observe des franchissements en 2017-2018 et 2022-2023. L'historique de données est moins long, mais cela peut montrer une réactivité plus importante de la nappe.

A l'Eocène du Valois les franchissements ont lieu sur d'autres périodes, en particulier en 1997-2000 du fait du cycle différent (pluriannuel) observé et de la plus faible durée de la chronique disponible.

Tableau 3 : Années de franchissement du HMNA5 entre 1991 et 2023 (les % indiqués correspondent au % du nombre de jours concernés par rapport au nombre de jours avec mesure)

Masse d'eau	Code BSS	Années de franchissement de HMNA5	Début-fin chronique récente
Craie Picarde	BSS000FNLM (Omécourt)	1991-1992 (88%) 1997-1998 (33%) 2005-2007 (49%) 2011 (20%)	1974-2024
Craie Picarde	BSS000FNNE (Fontaine-Lagavanne)	1991-1992 (100%) 1997 (45%) 2005-2007 (83%) 2011 (21%)	1970-2024
Craie Picarde	BSS000GWHZ (Beauvais)	1991-1993 (47%) 1996-1997 (33%) 2004-2007 (41%) 2011 (10%)	1974-2024
Craie Picarde	BSS000GXKH (Lafaye)	1991-1992 (67%) 1997 (20%) 2005 -2007-(70%) 2011-2012 (33%)	1970-2020
Craie Picarde	BSS000GXKR (Lafaye)	1991-1992 (67%) 1997 (20%) 2005-2007 (82%) 2011-2012 (37%) 2012 (22%) 2023 (2%)	1950-2024
Pays de Bray	BSS000GVPM (Hodenc-en-Bray))	2022-2023 (20%)	2007-2024
Pays de Bray	BSS000GXCZ (Auteuil)	2011 (16%) 2017 -2018(15%) 2022-2023 (25%)	2007-2024
Eocène du Valois	BSS000JTHP (Saint-Vaast-lès-Mello)	1994 (1%) 1997-2000 (97%)	1974-2008

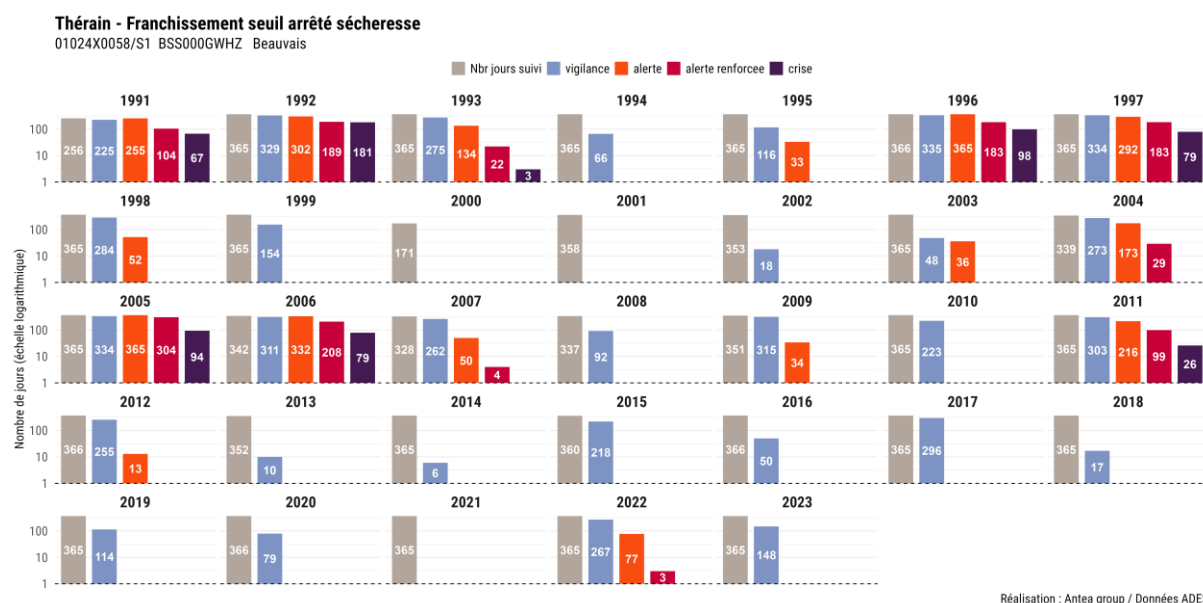


Figure 20 : Répartition des nombres de jours de dépassement des seuils de référence sécheresse observés sur le piézomètre BSS000GWHZ de Beauvais

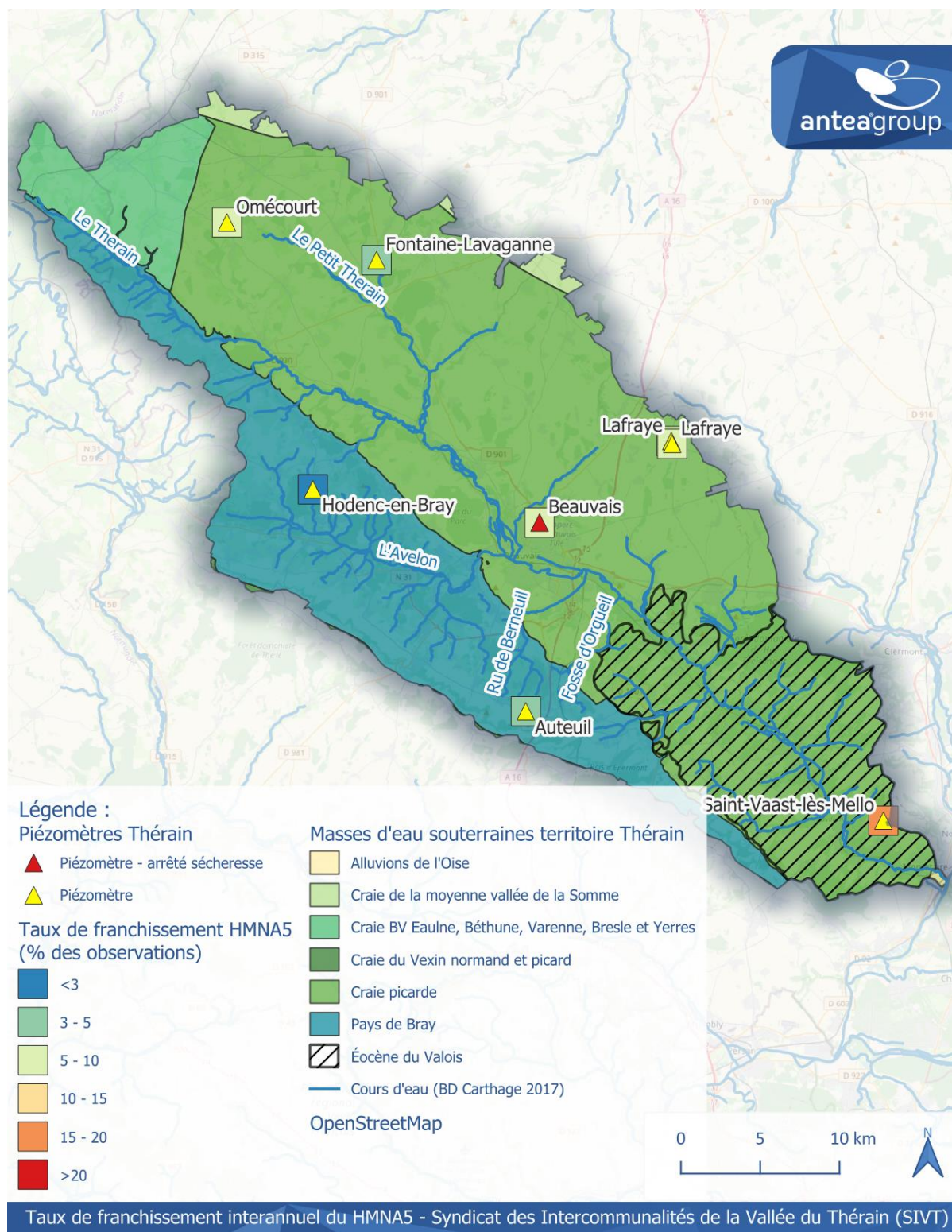


Figure 21 : Cartographie des taux de franchissement interannuel du HMNA5

3.3.3 Indicateurs de tendances piézométriques

Les deux piézomètres situés dans le Pays de Bray affichent *des tendances à la baisse* avec une intensité *de l'ordre de 1,1 et 7,1 cm/an en moyenne depuis 2007*.

Les piézomètres de la Craie Picarde affichent globalement des tendances à la hausse depuis les niveaux très bas atteints en 2005-2007. *Sur la période globale, il n'y a pas de tendance généralisée à la hausse ou à la baisse*.

Notons cependant que ces analyses de tendances sont effectuées sur des ouvrages influencés et que la relation avec l'évolution des prélèvements ne peut être clairement évaluée. Du fait des périodes d'analyse différentes et du caractère très cyclique, ces tendances piézométriques sont indicatives uniquement.

Tableau 4 : Bilan des tendance piézométriques identifiées comme valides statistiquement

Code BSS du piézomètre	Masse d'eau	Tendances en cm/an	Période de validité de la tendance
BSS000FNLM (Omécourt)	Craie Picarde	+10,1	2004-2024
BSS000FNNE (Fontaine-Lagavanne)	Craie Picarde	-2	1979-2024
BSS000GWHZ (Beauvais)	Craie Picarde	Pas de tendance	1974-2024
BSS000GXKH (Lafaye)	Craie Picarde	+10,7 +20,9	1970-2004 2004-2020
BSS000GXKR (Lafaye)	Craie Picarde	+10,0 +15,4	1970-2004 2004-2020
BSS000GVPM (Hodenc-en-Bray))	Pays de Bray	-1,1	2007-2024
BSS000GXCZ (Auteuil)	Pays de Bray	-7,1	2007-2024
BSS000JTHP (Saint-Vaast-lès-Mello)	Eocène du Valois	Pas de tendance	1974-2008

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* (voir description détaillée en Annexe 1) :

- *Approche par analyse des recharges apparentes* : Vidange / recharge sur les observations piézométriques.
- *Approche SIM2* : Chaîne 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.

Pour chaque approche, il est calculé *une période de retour* (ou temps de retour) pour la recharge calculée par année. Cette période de retour est une durée moyenne au cours de laquelle, statistiquement un évènement d'une même intensité se reproduit. Par exemple, *une année de recharge quinquennale sèche correspond à une année sèche susceptible de se produire 1 année sur 5*. Une année de recharge vicennale humide est une année humide susceptible de se produire 1 année sur 20. Et enfin *une année de recharge biennale est une année « médiane »* susceptible de se produire 1 année sur 2.

4.1 Résultats des calculs de recharges apparentes

Des calculs de *recharges et de vidanges apparentes* qui suivent ces recharges ont été effectués sur les piézomètres présents sur le territoire du SAGE présentant des données postérieures à 1991. Ce sont des résultats exprimés en mètres de niveau d'eau dans les piézomètres, qui ne peuvent être comparés directement aux autres méthodes de calcul de recharge.

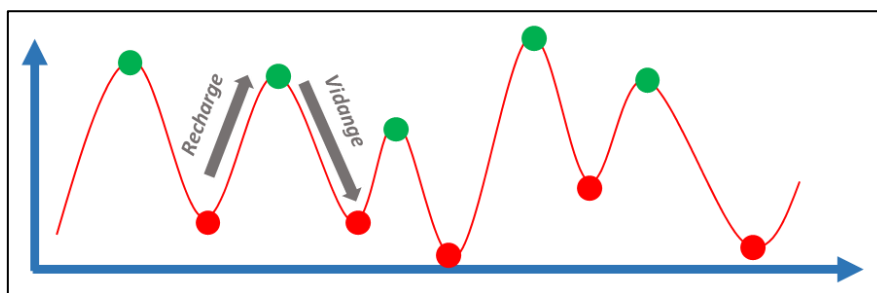


Figure 22 : principe de la recharge apparente, de la vidange apparente et du calcul du solde (solde = recharge - vidange)

Le piézomètre à l'Eocène du Valois (BSS000JTHP – Saint-Vaast-lès-Mello) ne présente plus de mesures après 2003. Sur 1991-2003, la recharge la plus importante concerne l'année hydrologique 2001-2002.

Les piézomètres du Pays de Bray (BSS000GXCZ – Auteuil et BSS000GVPM – Hodenc-en-Bray) ne présentent pas de données avant 2007. Du fait des cyclicités très différentes entre les deux piézomètres, les recharges, vidanges et soldes sont également différentes et il est difficile de dégager des tendances.

Sur les piézomètres de la nappe de la Craie, sur la période d'étude (1991-2023), les *recharges les plus faibles* se situent *en moyenne* sur les périodes *1991, 1995-1997, 2003-2006, et 2015-2016*. Les *plus élevées* concernent les périodes *1992-1995, 1997-2000, et entre 2016 et 2020*.

Les années hydrologiques où les *vidanges suivant les recharges* sont les *plus importantes* correspondent globalement à celles où les recharges ont été les plus élevées. De même, les années hydrologiques où les *vidanges* suivant les recharges sont *les plus faibles* correspondent également à des années de recharge faible.

Il en ressort que les *soldes recharges – vidanges*, correspondant au bilan de recharge sur l'année, sont identifiés pour les soldes *les plus déficitaires* de *1995-1996, 2001-2002 à 2004-2005, et 2021-2022*. Ceux *les plus excédentaires* sont sur *1992-1993, 1999-2000, 2007-2008 et 2017-2018*.

On notera la *forte variabilité* de ces résultats, dépendante :

- Du positionnement géographique des ouvrages et des masses d'eau concernées,
- Ainsi que de leur cyclicité qui peut conduire à des cycles hydrologiques où les recharges ou vidanges ont été inexistantes (cycles pluriannuels).

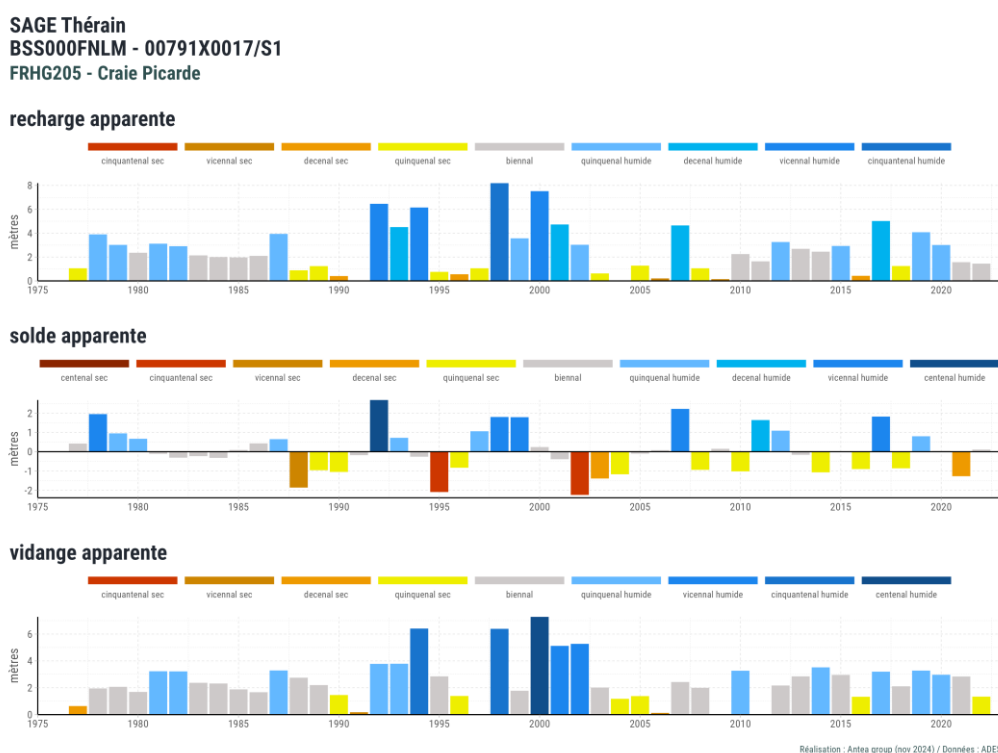
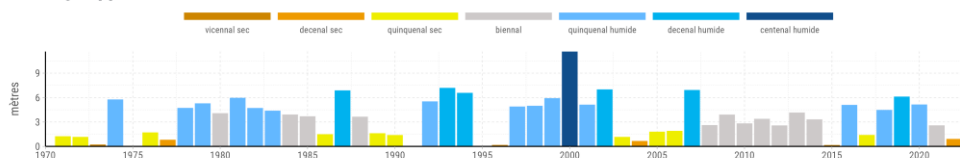


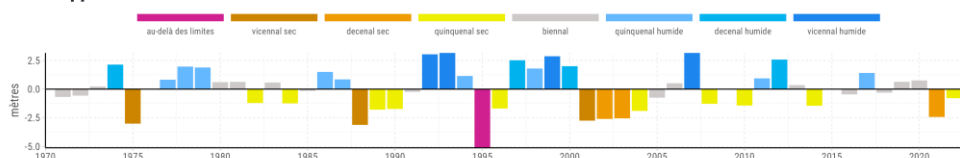
Figure 23 : Recharge, vidange et solde apparents en mètres de niveau d'eau dans le piézomètre BSS000FNLM - Omécourt à la Craie Picarde, et période de retour associée

SAGE Thérain
BSS000GXKR - 01031X0031/P
FRHG205 - Craie Picarde

recharge apparente



solde apparente



vidange apparente

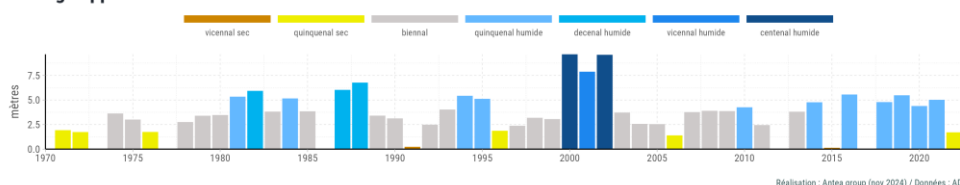


Figure 24 : Recharge, vidange et solde apparents en mètres de niveau d'eau dans le piézomètre BSS000GXKH - Lafraye à la Craie Picarde, et période de retour associée

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 (Novembre à Avril) et annuelle, à partir des outils *SIM2*, *WALLINGFORD* et *GARDENIA*, a été faite sur les 5 stations hydrographiques localisées sur le SAGE.

La comparaison entre les méthodes montre globalement les mêmes choses sur les différentes stations (cf. Figure 25 pour le Thérain à Beauvais) :

- Les *limites de la méthode de WALLINGFORD* qui ne permet pas d'estimer la recharge pour les années hydrologiques disposant de données limitées⁸ (4 années pour le Thérain à Beauvais).
- Une *forte variabilité de la valeur de recharge* obtenue pour une même année hydrologique selon la méthode mise en œuvre. En moyenne, la recharge calculée par SIM2 est significativement plus importante en période hivernale que pour les deux autres méthodes, et plus faible en période estivale (Mai à Octobre).
- Une assez *bonne correspondance dans les typologies de temps de retour entre SIM2 et GARDENIA* (82 % sur la station du Thérain à Maysel, 61 % pour celle du Thérain à Beauvais), contrairement à WALLINGFORD avec les autres méthodes (moins de 50 %).

⁸ Pour cette méthode, sont exclues les mois présentant plus de 20% de jours sans valeurs de débit et les années présentant plus de 2 mois exclus

Les *valeurs de recharges hivernales* obtenues sur la station du Thérain à Beauvais s'établissent sur la période étudiée à :

- 114 mm/an en moyenne pour les résultats WALLINGFORD
- 114 mm/an en moyenne pour les résultats GARDENIA.
- 210 mm/an en moyenne pour les résultats SIM2.

Les *valeurs de recharges annuelles* obtenues sur la station du Thérain à Beauvais s'établissent sur la période étudiée à :

- 204 mm/an en moyenne pour les résultats WALLINGFORD
- 183 mm/an en moyenne pour les résultats GARDENIA.
- 237 mm/an en moyenne pour les résultats SIM2.

D'une part, on observe un écart important dans les calculs entre recharge annuelle et hivernal, qui peut avoir plusieurs explications :

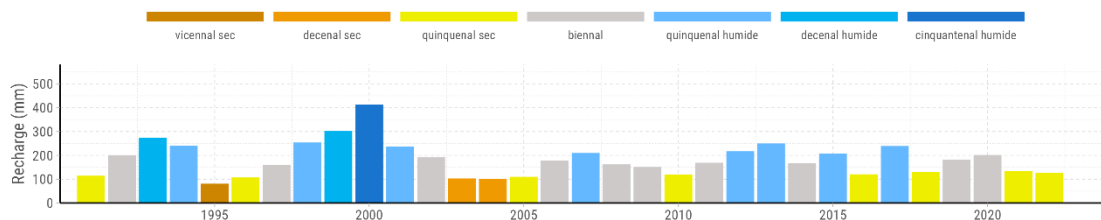
- La recharge estivale est ici calculée sur 6 mois entre mai et octobre inclus, c'est donc bien plus qu'une recharge estivale.
- En période « estivale » humide, il peut y avoir de la recharge alors que la végétation se développe.
- Et enfin les méthodes Gardenia et Wallingford ont tendance à plus « lisser » la recharge de la nappe sur l'année que SIM2, vis-à-vis de la pluie efficace.

D'autre part, *la méthode SIM2 présente une recharge hivernale de près de 83 % plus élevée que la méthode GARDENIA* en moyenne. Ce ratio évolue suivant les années. En termes de recharge annuelle, l'écart est plus faible.

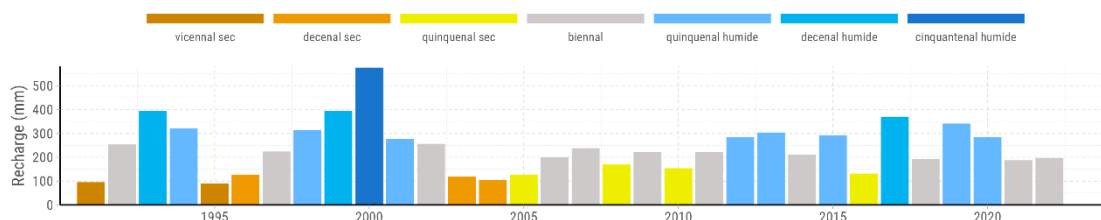
L'estimation retenue sera celle de GARDENIA, considérée comme plus représentative sur le bassin-versant. En effet, la méthode SIM2 est une méthode à plus grande échelle qui calcule l'infiltration sur les premiers mètres du sol vers les eaux souterraines. Une partie de cette infiltration est interceptée par les limons des plateaux qui recouvrent la Craie. D'autre part, sur le Pays de Bray seule une partie de la recharge alimente la nappe libre et ensuite la rivière. Une part non négligeable alimente plusieurs aquifères profonds d'importance à l'échelle du Bassin Parisien (Kimméridgien, Portlandien, Néocomien, Barrémien et Albien), qui sont déconnectés des autres aquifères et cours d'eau du territoire du SAGE.

Typologie annuelle - Recharge (Total) SAGE Thérain - H774201001 Le Thérain à Beauvais

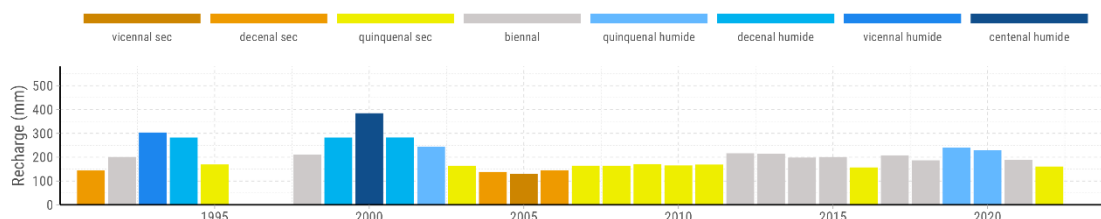
GARDENIA



SIM2



WALLINGFORD



Réalisation : Antea group (janv 2025)

Figure 25 : Comparaison des résultats des calculs de recharges et des temps de retour associés, entre les différentes méthodes utilisées pour la station du Thérain à Beauvais

Les années hydrologiques de *plus faibles recharges* sont 1994-1995, 2003-2004 et 2004-2005. Les *plus élevées* concernent les années hydrologiques 1994-1995, 1999-2000 et 2000-2001.

On observe également une *différence significative sur le calcul de la recharge entre les stations*, que ce soit par SIM2 ou par GARDENIA (cf. Figure 26). Cela s'explique par le différentiel de précipitations, qui sont plus importantes au Nord-Ouest du SAGE. Pour GARDENIA, les stations les plus intégratrices (Le Thérain à Beauvais et à Maysel) présentent également des résultats de calcul de recharge avec une incertitude de calcul plus faible.

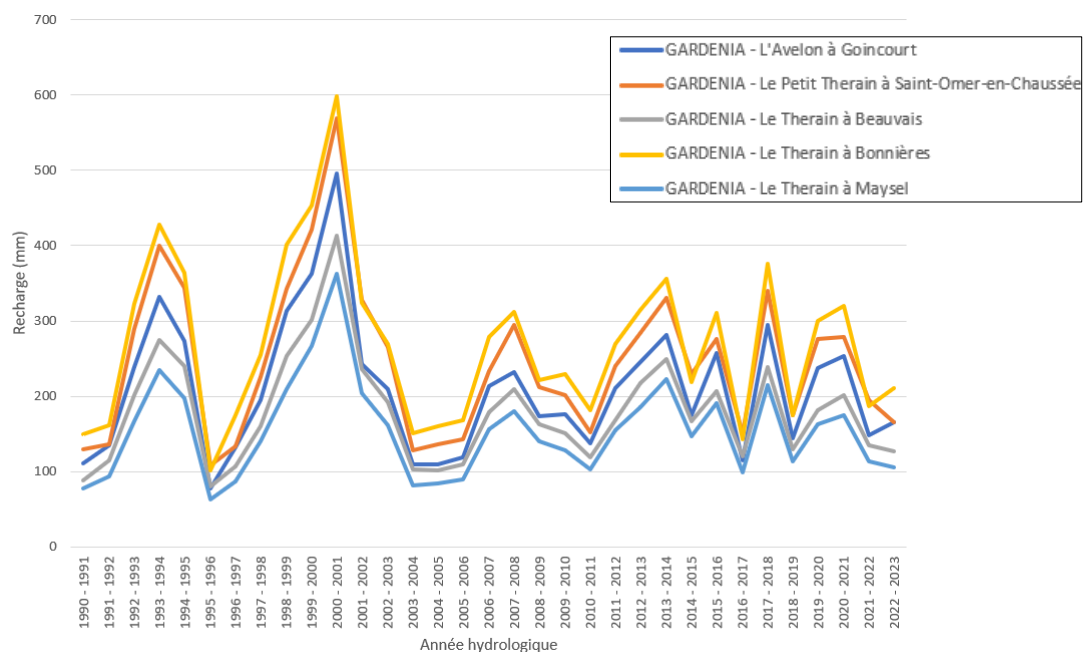


Figure 26 : Comparaison des résultats des calculs de recharge annuelle GARDENIA entre les stations hydrologiques

4.2.2 Estimation de la recharge sur la nappe de la Craie à l'échelle du SAGE

Pour la nappe de la Craie, la station considérée comme la plus représentative est celle du Thérain à Maysel.

Sur l'ensemble du SAGE, en pondérant la valeur SIM2 (seule disponible à cette échelle) avec les résultats observés sur la station avec GARDENIA, on obtient *une valeur de recharge annuelle sur l'ensemble de la période 1991-2023 aux environs de 142 mm/an en année biennale pour la nappe de la Craie, pour une surface équivalente à 57 % de l'ensemble du territoire du SAGE.*

Les résultats obtenus au niveau des stations modélisées conduisent aux estimations du tableau suivant tant en termes de lame d'eau qu'en termes de volumes à l'échelle de la station et de la nappe de la Craie sur le SAGE.

Tableau 5 : bilan des recharges annuelles calculées

Echelle d'analyse :	Le Thérain à Maysel	Nappe de la Craie sur l'ensemble du SAGE	
	Lame d'eau de recharge	Lame d'eau de recharge	Equivalent en volume sur le territoire
En moyenne sur 1991-2023	SIM2 : 207 mm	158 mm	110 Mm3
	GARDENIA : 157 mm		
Année biennale (1 année sur 2)	SIM2 : 179 mm	151 mm	105 Mm3
	GARDENIA : 142 mm		
Année quinquennale sèche (1 année sur 5)	SIM2 : 114 mm	102 mm	71 Mm3
	GARDENIA : 98 mm		

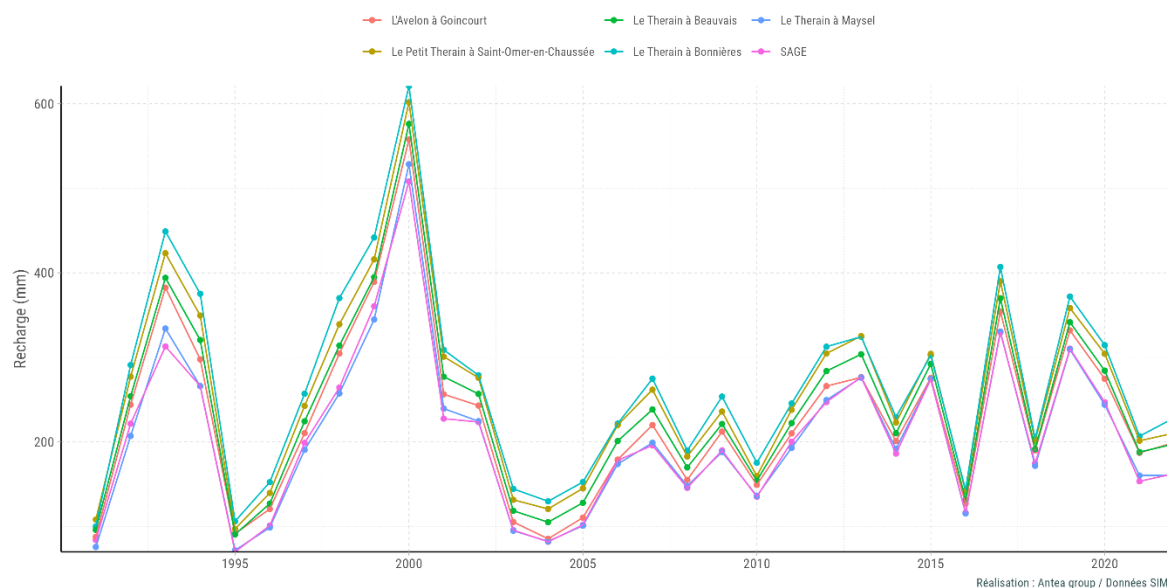


Figure 27 : Comparaison des résultats des calculs de recharges annuelles SIM2 de l'ensemble du SAGE avec ceux des stations hydrologiques

4.2.3 Estimation de la recharge sur le Pays de Bray

Pour la masse d'eau du Pays de Bray, la station représentative est celle de l'Avelon à Goincourt.

Sur l'ensemble du SAGE, en considérant les résultats calculés sur la station avec GARDENIA, on obtient *une valeur de recharge annuelle sur l'ensemble de la période 1991-2023 aux environs de 192 mm/an en année biennale, pour une surface équivalente à 25 % de l'ensemble du territoire du SAGE.*

Notons qu'*une partie de cette recharge calculée* correspond à la recharge des nappes profondes du Bassin parisien (Albien, Néocomien... cf. §2.3) et *ne participe donc pas à l'alimentation du réseau hydrologique du territoire.*

Les résultats obtenus conduisent aux estimations du tableau suivant tant en termes de lame d'eau qu'en termes de volumes à l'échelle de la station et de la masse d'eau du Pays de Bray sur le SAGE.

Tableau 6 : bilan des recharges annuelles calculées

Echelle d'analyse :	L'Avelon à Goincourt	Masse d'eau Pays de Bray sur l'ensemble du SAGE	
	Lame d'eau de recharge	Lame d'eau de recharge	Equivalent en volume sur le territoire
En moyenne sur 1991-2023	SIM2 : 225 mm	213 mm	65 Mm3
	GARDENIA : 213 mm		
Année biennale (1 année sur 2)	SIM2 : 209 mm	192 mm	58 Mm3
	GARDENIA : 192 mm		
Année quinquennale sèche (1 année sur 5)	SIM2 : 131 mm	131 mm	40 Mm3
	GARDENIA : 131 mm		

Typologie annuelle - Recharge (Total) SAGE Thérain - H773301001 L'Avelon à Goincourt

GARDENIA

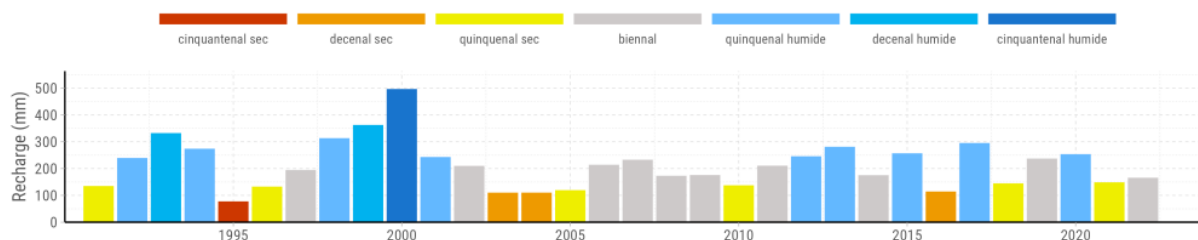


Figure 28 : Résultats des calculs de recharge annuelle sur la station de l'Avelon à Goincourt, et temps de retour associé.

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 principalement sur les *données fournies par l'Agence de l'Eau Seine-Normandie* sur deux périodes au pas de temps annuel :

- Une première série de données entre 2008 et 2023, fournie en début d'étude. Ce sont des données géoréférencées et globalement fiabilisées, issues des déclarations pour redevance auprès de l'Agence de l'Eau.
- Une deuxième série de données entre 1989 et 2007, fournie en cours d'étude. Celles-ci sont issues d'archives des dossiers d'instruction des redevances sur l'eau. Une partie des volumes provient de mesures au compteur, une autre provient d'estimation selon différentes règles de calcul. La localisation des prélèvements a été effectuée par rapprochement avec les données 2008-2023, de façon à cibler la masse d'eau la plus probable plus qu'à indiquer le lieu précis du prélèvement. La répartition des prélèvements entre les différentes origines (surface, souterrain ou réseau) n'est fiable qu'à partir de 1994, en particulier pour l'industrie. *Les données présentées dans la suite du rapport commenceront donc en 1994.*

L'essentiel de l'analyse réalisée dans le cadre de cette étude porte sur la *période 2008 à 2023* qui apparaît *la plus fiable* pour en tirer des conclusions.

L'attribution des masses d'eau aux points de prélèvements a été contrôlée par rapprochement géographique sous SIG, et par consultation de la Banque de données du Sous-Sol (BSS) si nécessaire.

Des entretiens auprès de la DDT et de la Chambre d'Agriculture et des demandes ciblées auprès de différents acteurs (Communauté d'agglomération du Beauvaisis) ont également été réalisés pour préciser ces données.

Signalons que 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 prélèvements agricoles sont consommés par les plantes, sans retour vers la nappe.

5.2 Répartition des prélèvements par mois

Concernant les prélèvements réalisés pour l'Alimentation en Eau Potable (AEP), les données mensuelles récoltées auprès de la Communauté d'agglomération du Beauvaisis (cf. Figure 29) montrent que les prélèvements sont bien répartis dans l'année. Quelques années font exception mais aucune tendance claire ne se dégage.

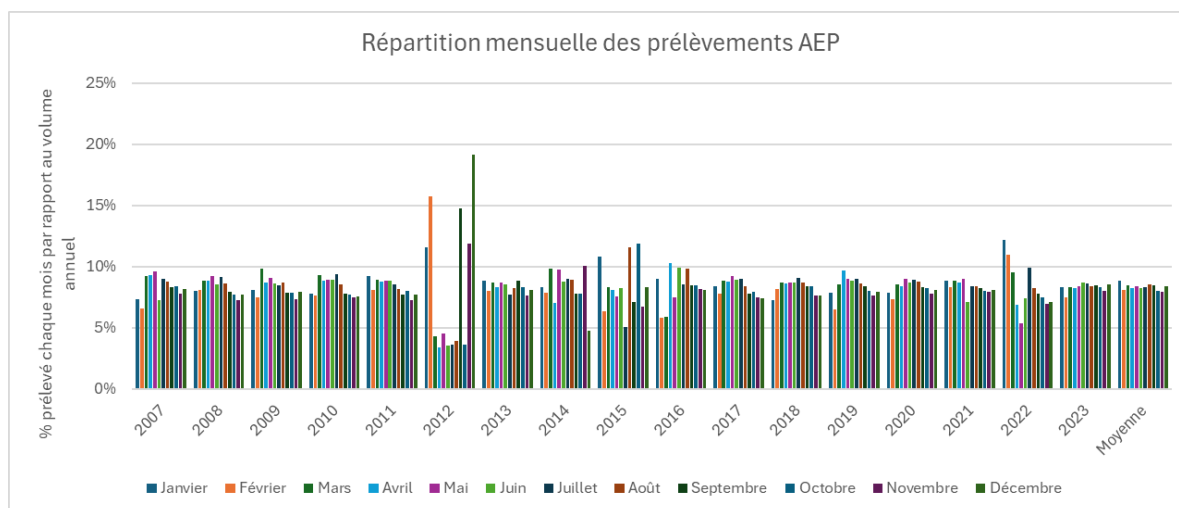


Figure 29 : Répartition mensuelle des prélèvements pour l'Alimentation en Eau potable sur la Communauté d'Agglomération du Beauvaisis.

Il a donc été décidé de considérer une répartition équilibrée des prélèvements pour l'AEP sur l'année.

En l'absence de données plus précises, il a également été décidé de considérer une répartition équilibrée des prélèvements pour l'industrie sur l'année.

Concernant les prélèvements réalisés pour l'irrigation, il a été décidé en accord avec le SIVT de considérer la répartition suivante moyenne des prélèvements :

- Juin : 20%
- Juillet : 30%
- Aout : 30%
- Septembre : 20%

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

L'évolution des volumes prélevés sur la période 1994-2023 pour les eaux superficielles d'une part, les eaux souterraines d'autre part, tous usages confondus est la suivante.

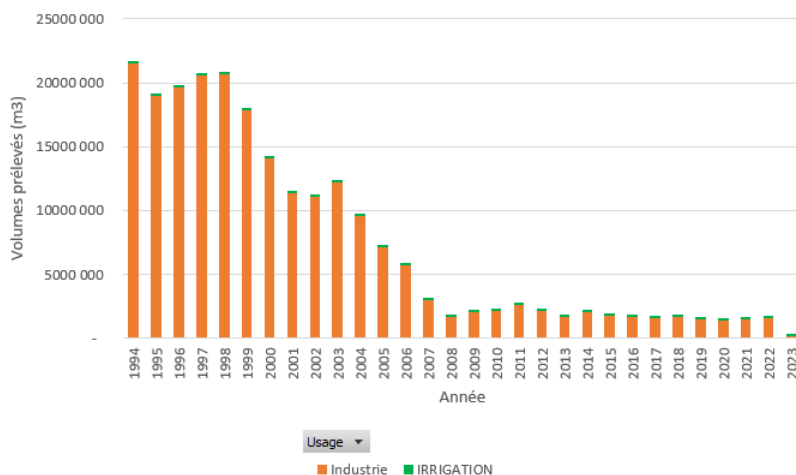


Figure 30 : Evolution des prélèvements annuels en eaux superficielles

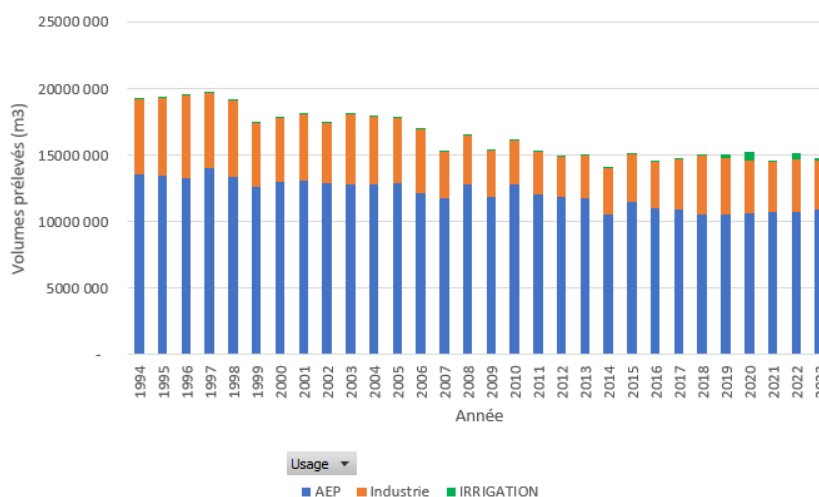


Figure 31 : Evolution des prélèvements annuels en eaux souterraines

Les *volumes prélevés sur l'ensemble du territoire du SAGE* s'établissent aux environs de **24 Mm³ en moyenne sur la période 1994-2023**.

Sur cette période, la répartition est de 45% en eaux superficielles, et 55% en eau souterraines. Sur 2008-2023, la répartition est de 11% en eaux superficielles, et 89% en eau souterraines

L'évolution des volumes prélevés sur la période 1994-2023 montre :

- Une *tendance sensible à la baisse en AEP sur le long terme*, les prélèvements se faisant uniquement en eaux souterraines : près de 13,5 Mm³ en moyenne sur 1994-1997 contre 10,7 Mm³ sur 2021-2023.
- Une *diminution marquée des prélèvements industriels depuis 1998* (Arcelor et GE-Plastic), en particulier sur les eaux de surface (26,1 Mm³ en moyenne sur 1994-1998), et qui semble se stabiliser à partir de 2008 (5,3 Mm³ sur 2020-2022, prélevé à 4/5^e dans les eaux souterraines).
- Une *tendance à la hausse des prélèvements agricoles*, uniquement en eaux souterraines, avec une variabilité marquée selon les années, les prélèvements les plus importants se situant au cours des dernières années (2020 avec 639 000 m³ et 2022 pour 484 000 m³). Ces volumes restent faibles en comparaison des autres usages.

Sur la période 2008 à 2023, la répartition moyenne entre les usages en *eaux souterraines* est la suivante :

- 75 % pour l'AEP.
- 24 % pour l'industrie.
- 1 % pour l'agriculture.

La *répartition entre les masses d'eau souterraines* est la suivante (cf. Figure 32) :

- 77 % dans la Craie.
- 6 % dans l'Eocène du Valois.
- 17 % dans le Pays de Bray.

La majorité des prélèvements importants s'effectue le long des vallées du Thérain et du petit Thérain, à proximité des cours d'eau (cf. Figure 35). Notons cependant en Pays de Bray la présence de prélèvements sur la bordure Sud-Ouest (terrain crayeux), dont un prélèvement important pour l'alimentation en eau potable sur la commune d'Auneuil.

Ce dernier prélèvement est une source captée qui sert à alimenter la Communauté d'Agglomération du Beauvaisis, en complément du champ captant situé à Beauvais à la plaine du Canada. Une expérimentation est en cours pour limiter les prélèvements sur la commune d'Auneuil (en Pays de Bray) et maximiser les prélèvements sur Beauvais (dans la Craie), mais il n'est pas certain que cette expérimentation se poursuive. Cette expérimentation conduit à diminuer les prélèvements de l'ordre de 600 000 m³ dans le Pays de Bray.

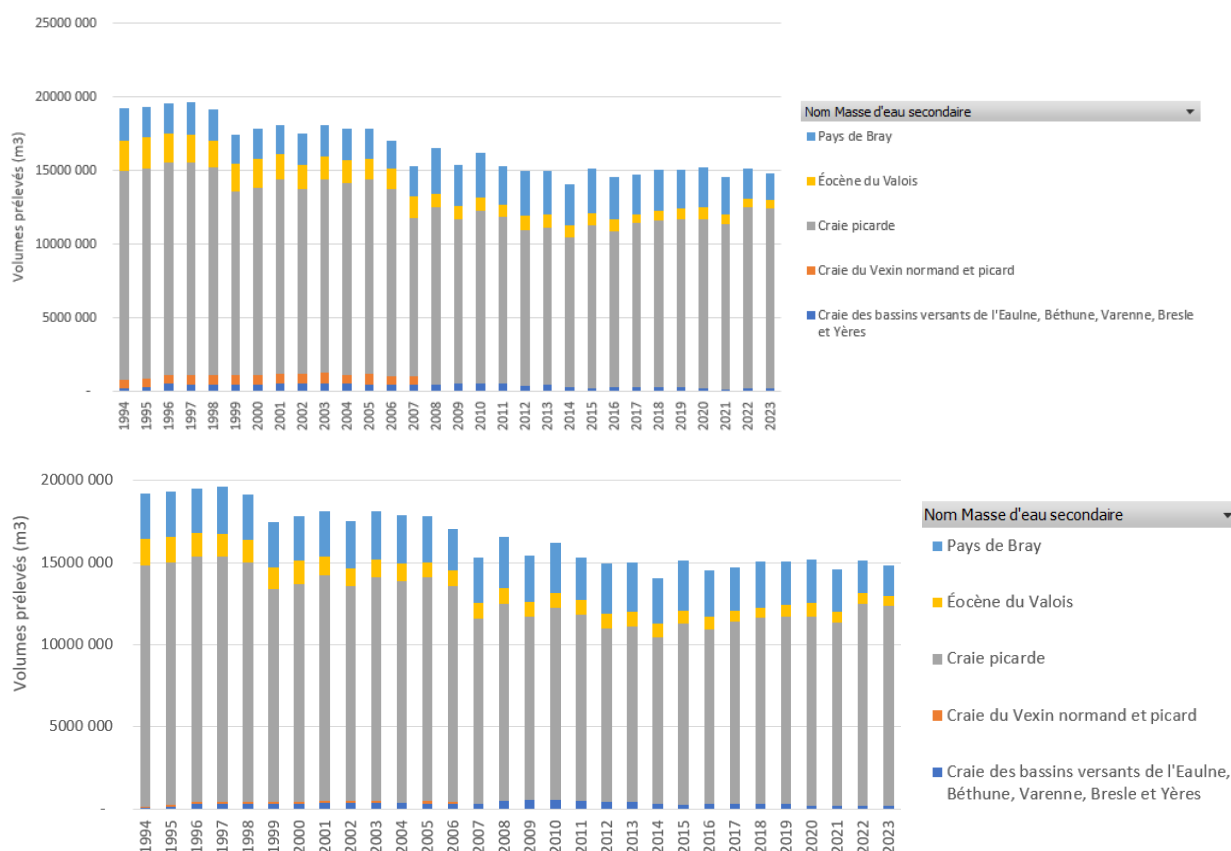


Figure 32 : Evolution des prélèvements annuels en eaux souterraines selon les masses d'eau captées

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

L'évolution des volumes prélevés sur la période 1991-2023 pour les eaux superficielles d'une part, les eaux souterraines d'autre part, sur la *période Mai à Octobre*, tous usages confondus est la suivante :

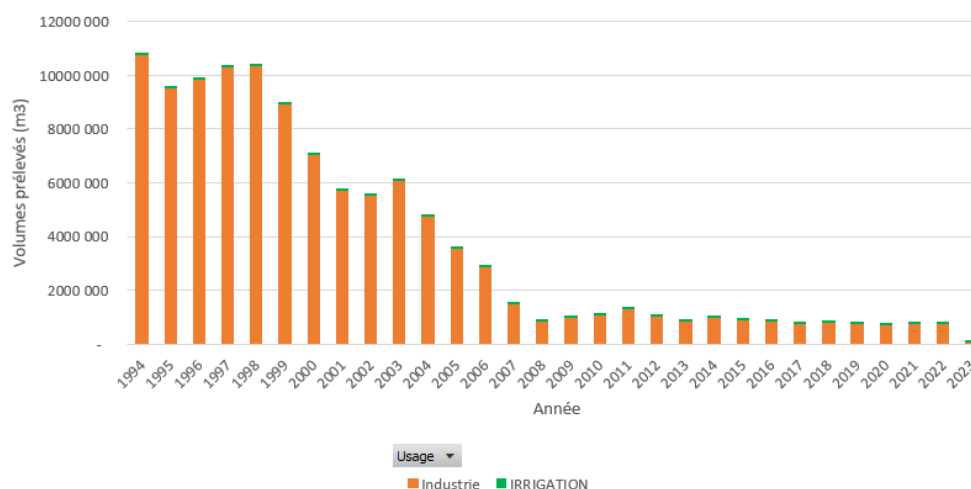


Figure 33 : Evolution des prélèvements en périodes de basses eaux (de Mai à Octobre) en eaux superficielles

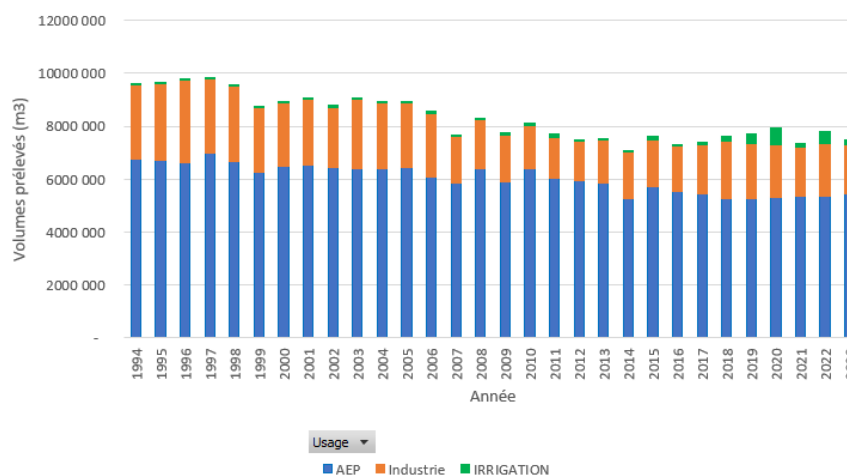


Figure 34 : Evolution des prélèvements en périodes de basses eaux (de Mai à Octobre) en eaux souterraines

Sur la période 2014-2023, les volumes prélevés sur Mai à Octobre sur l'ensemble du territoire du SAGE s'établissent aux environs de **12 Mm³ en moyenne**, soit **51 % des prélèvements annuels** sur cette même période.

Du fait de la clé de répartition mensuelle choisie, les répartitions entre usages et masses d'eau sont quasi identiques à celles des volumes prélevés sur l'année.

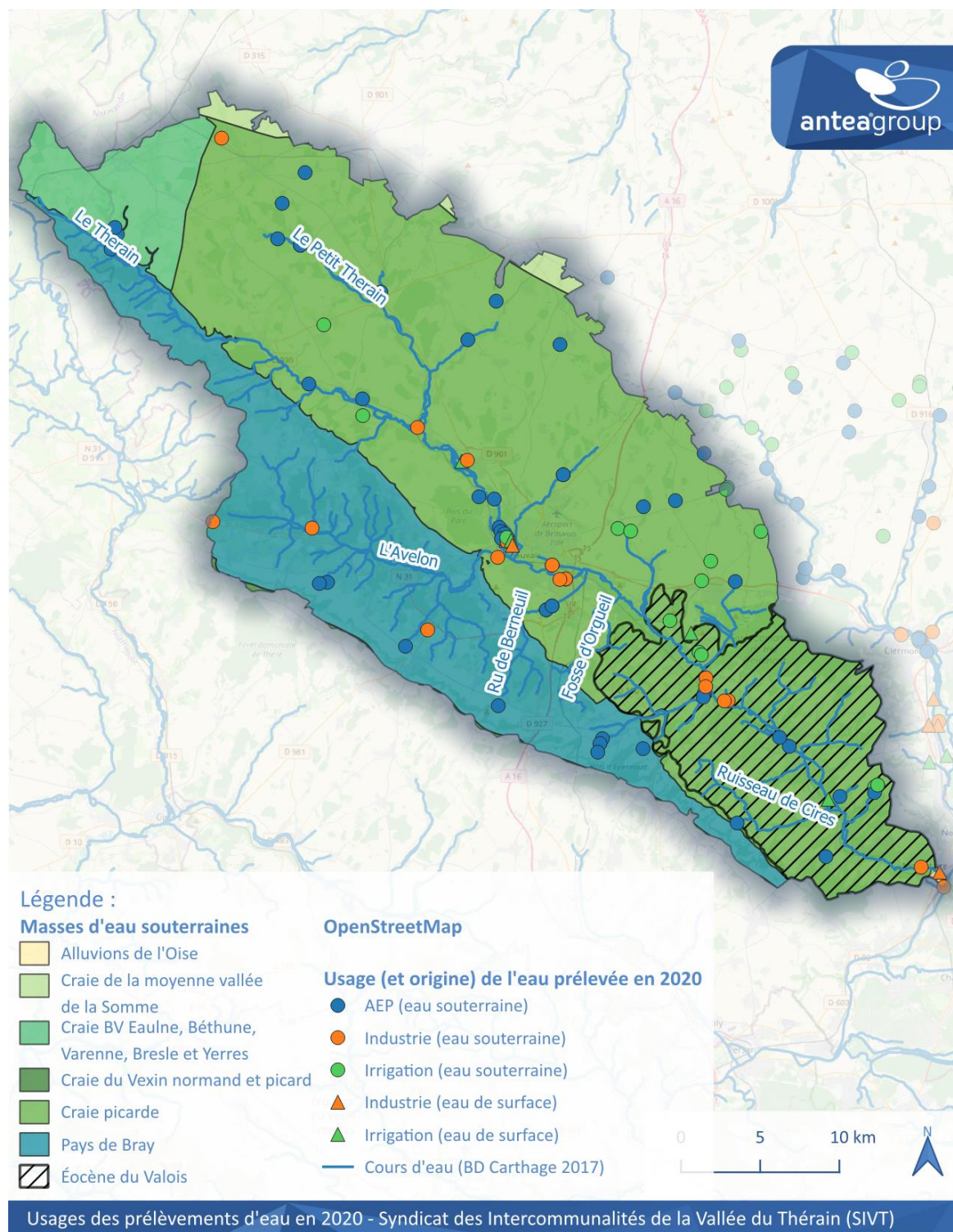


Figure 35 : Répartition des points de prélèvements sur le territoire du SAGE avec identification des usages pour l'année 2020

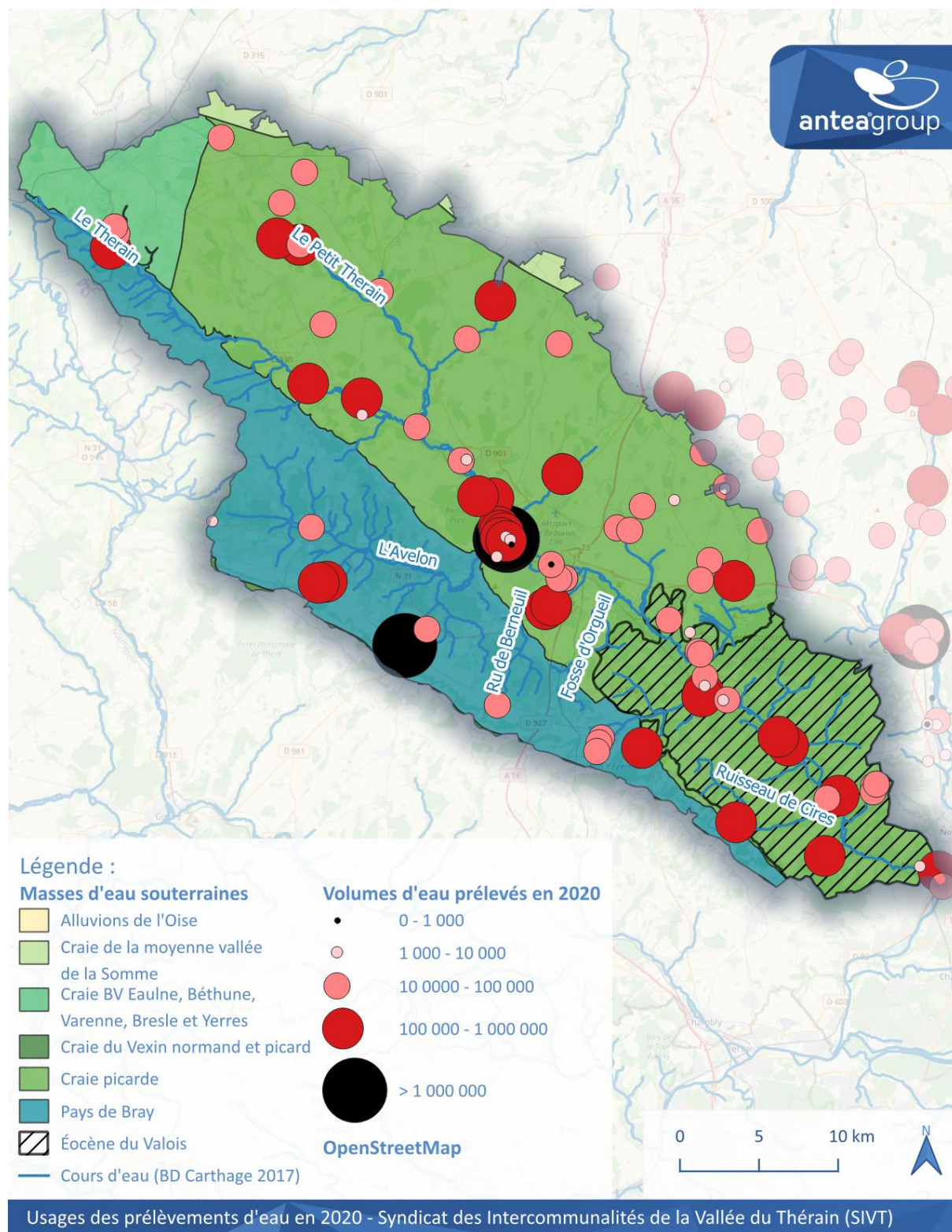


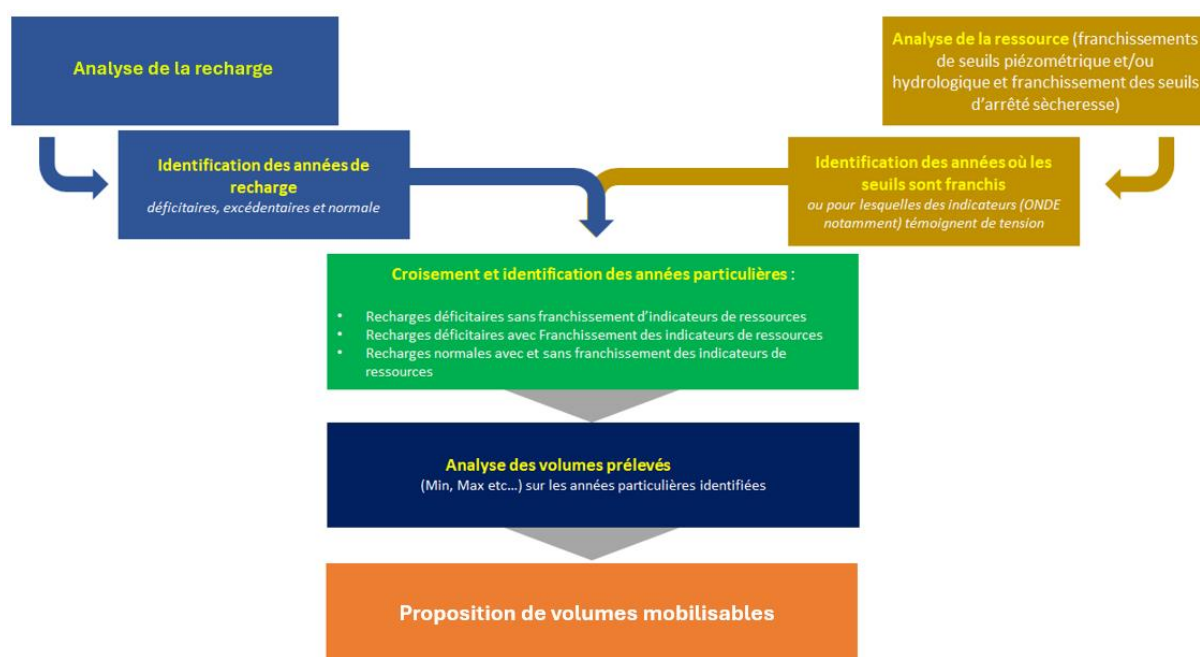
Figure 36 : Répartition de l'importance des volumes AEP, industriels et agricoles prélevés sur le territoire du SAGE (année 2020 toutes ressources confondues)

6 Estimation de l'enveloppe de volumes mobilisables

6.1 Approche méthodologique déployée

L'étude historique de l'état de la ressource est réalisée suivant deux approches basées sur deux types d'indicateurs différents :

- 1e approche : comparaison du ratio prélèvement/recharge avec un *indicateur national* issu du « Guide d'évaluation de l'état des eaux souterraines (Juillet 2019) du Ministère de la transition écologique ».
- 2e approche : comparaison des prélèvements et de la recharge avec les franchissements de seuil définis dans l'arrêté sécheresse pour le bassin-versant de la Thérain (*indicateurs locaux*) et identification d'années particulières pour définition de volumes mobilisables selon la logique suivante :



Cette étude historique a été réalisée sur la nappe de la Craie, et dans la mesure du possible sur la masse d'eau du Pays de Bray.

6.2 1^{ère} approche : comparaison avec un indicateur national (nappe de la Craie)

On rappellera pour mémoire qu'un ratio prélèvement/recharge 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) pour les masses d'eau affichant une tendance à la baisse.

Année par année, le *ratio des prélèvements annuels* en eaux souterraines à la craie apparaît *supérieur à 15 % de la recharge* sur les années 1996, 1997, 2004 à 2006, 2011, 2017, 2022 et 2023. Cela donne une 1^{ère} indication des tensions relatives entre les années.

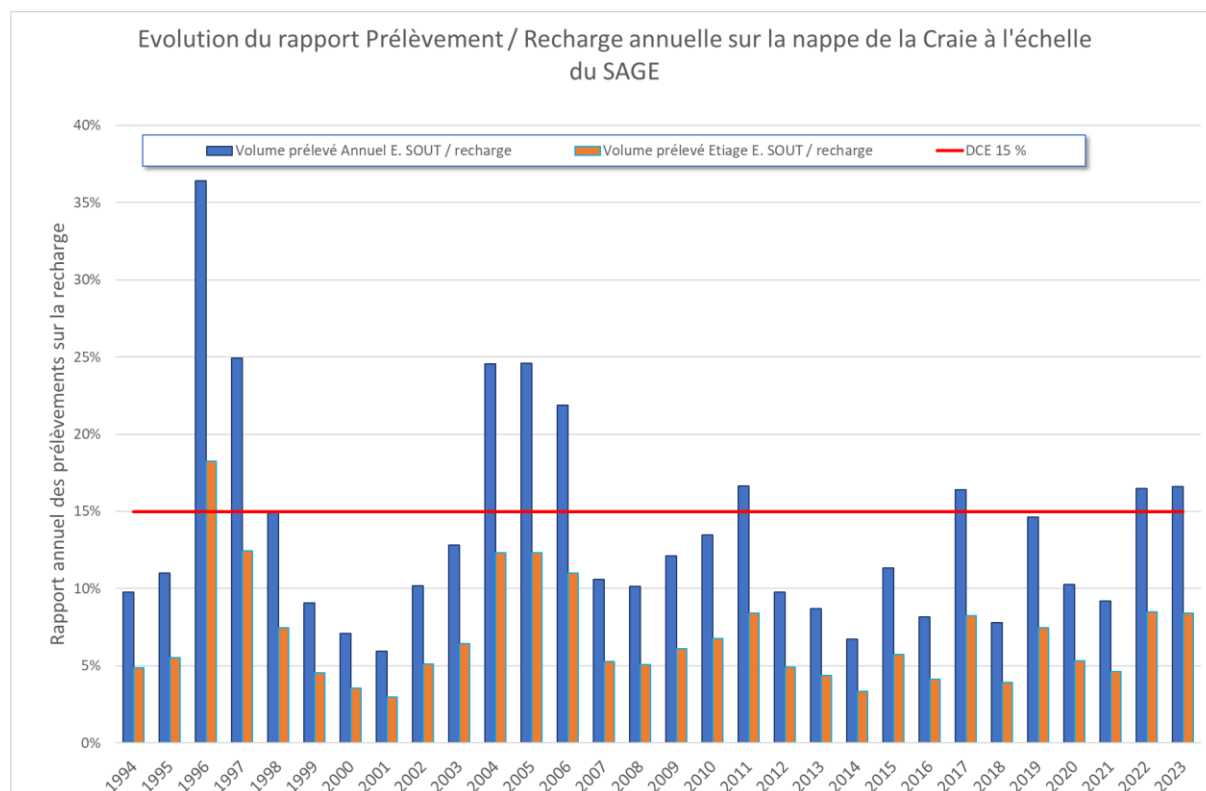


Figure 37 : Comparaison du rapport prélèvements en étiage / recharge, avec l'objectif DCE

6.3 2^e approche : comparaison avec des indicateurs locaux (nappe de la Craie)

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

Le graphique synthétique (cf. Figure 38) permet les constatations suivantes :

- Les années sans dépassement de seuil en eaux souterraines sont très rares, uniquement sur quelques années de recharge humide.
- En année de recharge biennale (« normale »), *il y a systématiquement des dépassements de seuil sur les piézomètres* (eaux souterraines).
- En année de recharge faible, il y a augmentation systématique des dépassements de seuil par rapport aux années précédentes.
- A l'inverse, il y a *très peu de franchissements de seuil sur le Thérain à Beauvais*, et majoritairement en années sèches.

Cela est le signe d'une *ressource globalement à l'équilibre, mais en équilibre précaire sur la ressource en eau souterraine*, du moins d'après les indicateurs existants définis sur le piézomètre de Beauvais.

Notons que l'indicateur national fait ressortir une tension plus forte sur la ressource (cf. § précédent), qui semble infirmée par les indicateurs locaux.

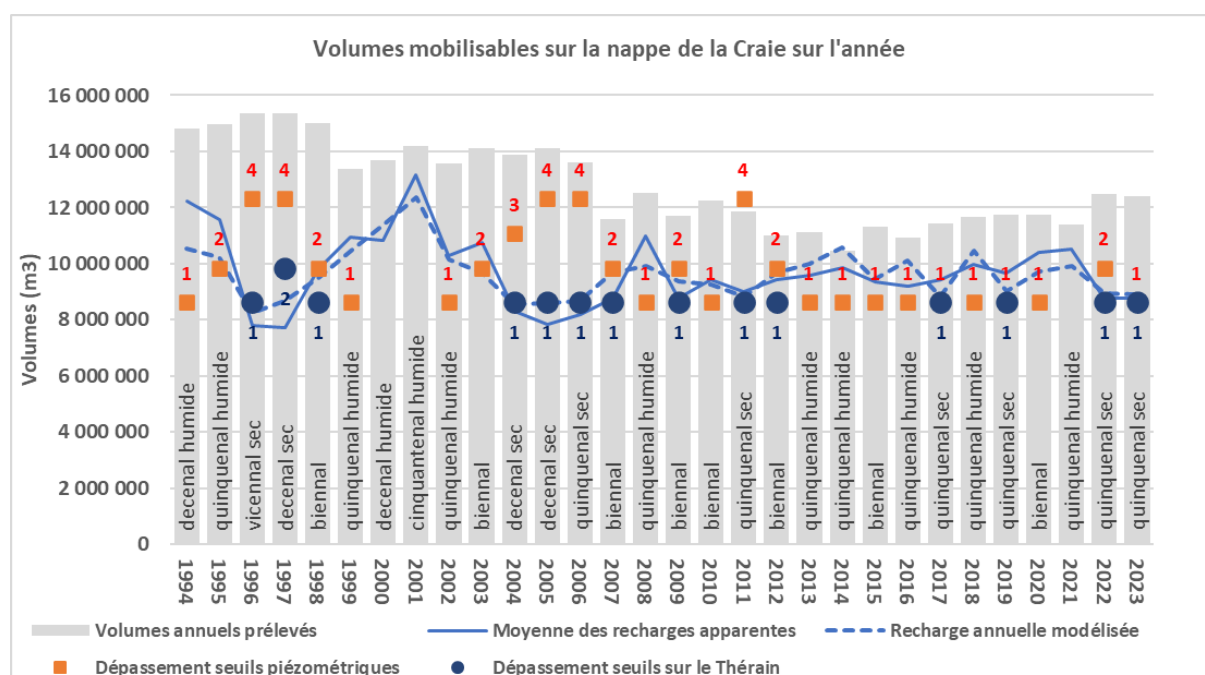


Figure 38 : Graphiques de synthèse sur les eaux souterraines avec les recharges et leurs temps de retour associés, et les franchissements de seuils d'arrêtés sècheresse (1 : seuil de vigilance, 2 : seuil d'alerte, 3 : seuil d'alerte renforcée, 4 : seuil de crise).

6.3.2 Définition d'un volume mobilisable sur les eaux souterraines (nappe de la Craie)

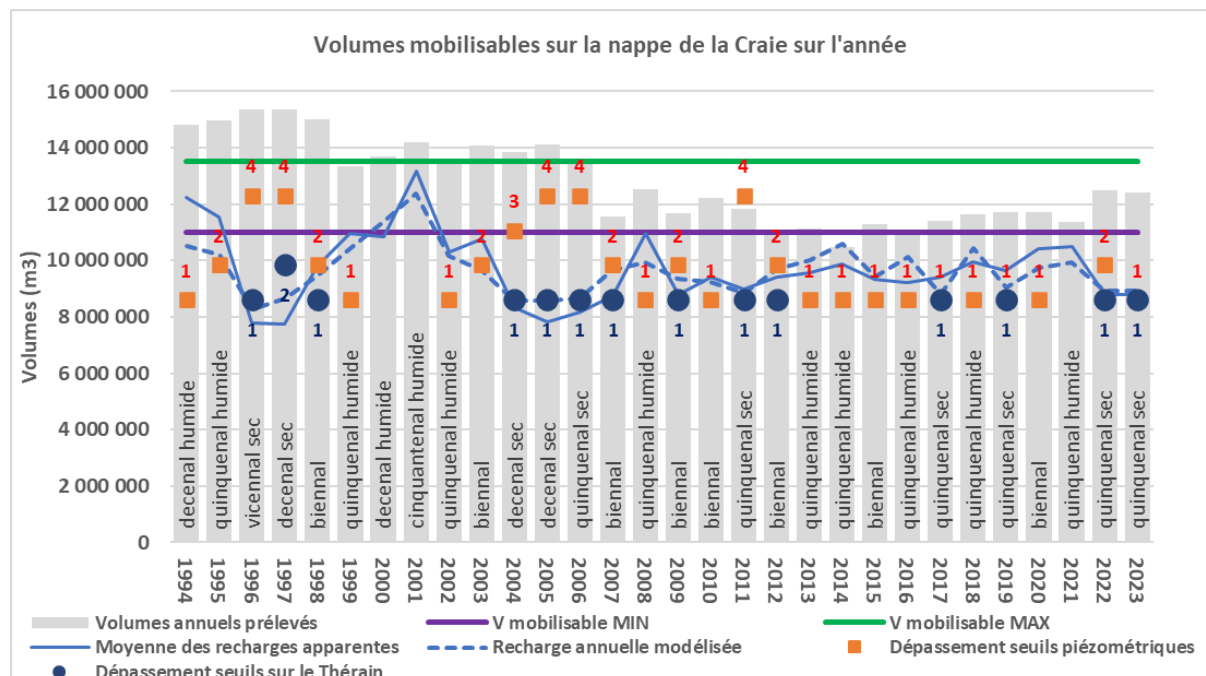
Un *volume mobilisable en eaux souterraines sur la nappe de Craie correspondant à un seuil bas/seuil de sécurité* sans tension sur la ressource, est proposé ici à partir d'une analyse historique. Ce volume mobilisable correspond à un niveau de volume prélevé en *2015 (année hydrologique 2014-2015)* pour une *année de recharge normale*, sans franchissement de seuil sur le Thérain, et un franchissement de seuil de vigilance uniquement sur les piézomètres. L'année 2012 (année hydrologique 2011-2012) peut également être prise pour référence, avec une année de recharge normale qui suit une année de recharge sèche, et une diminution des franchissements de seuils.

Ce volume de prélèvement permet d'après l'historique et les indicateurs locaux (seuils arrêtés préfectoraux), d'atteindre un état acceptable de la ressource en eau pour une année « normale ».

Le volume mobilisable « bas » proposé sur la nappe de la Craie est donc de *11 Mm³*. Il correspond à *10% de la recharge pour une année biennale (médiane)*, et *15% de la recharge pour une année quinquennale sèche*.

De même, un volume mobilisable correspondant à un *seuil haut* avec une tension importante mais jugée acceptable sur la ressource est proposé ici à partir d'une analyse historique. Ce volume mobilisable correspond à un niveau de volume prélevé en *2006 (année hydrologique 2005-2006)* pour une *année de recharge sèche*, avec franchissement de seuil de crise sur le piézomètre, mais un franchissement de seuil de vigilance uniquement sur le Thérain.

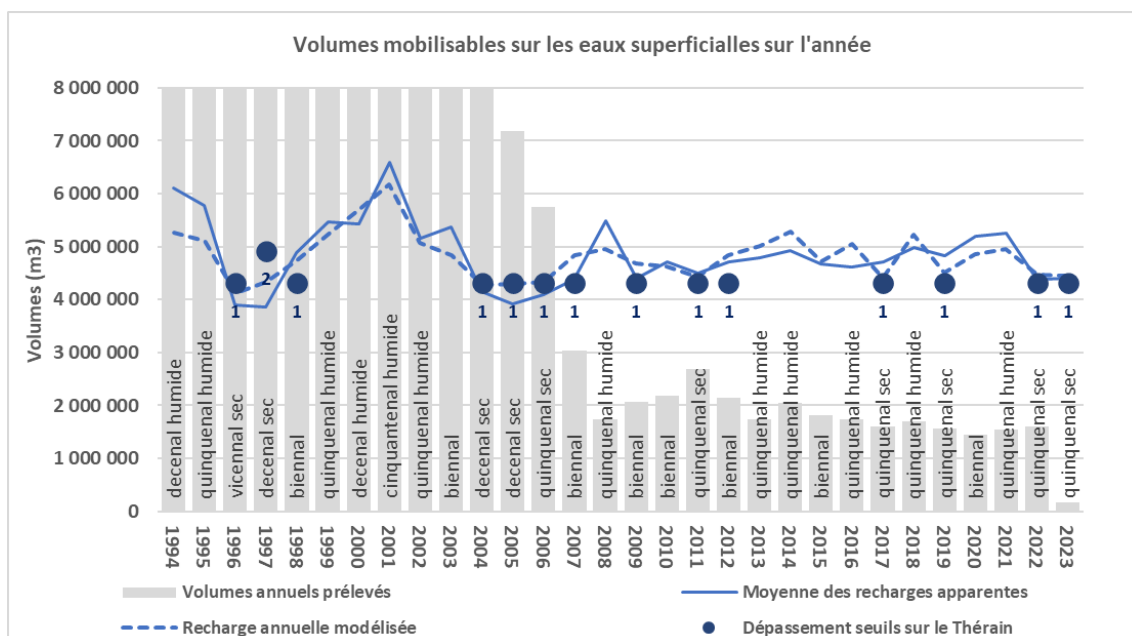
Le volume mobilisable « haut » proposé sur la nappe de la Craie est donc de **13,5 Mm³**. Il correspond à **13% de la recharge pour une année biennale**, et **19% de la recharge pour une année quinquennale sèche**.



6.3.3 Définition d'un volume mobilisable sur les eaux superficielles

Pour ce qui concerne les **eaux superficielles**, la **forte variabilité** des volumes prélevés connus au sein de ces dernières, le **volume concerné peu important**, ainsi que **le soutien important du débit par la nappe**, ne permettent pas de mettre en relation les prélèvements et les situations hydrologiques des années correspondantes.

En conséquence, **il n'est pas proposé de volumes pour les eaux superficielles**.



6.4 Cas de la masse d'eau du Pays de Bray

6.4.1 1^{re} approche : comparaison avec un indicateur national (Pays de Bray)

On rappellera pour mémoire qu'un ratio prélèvement/recharge 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) pour les masses d'eau affichant une tendance à la baisse.

Dans le cas de la masse d'eau Pays de Bray, *cette approche est biaisée* car une partie de la recharge calculée *ne participe pas à l'alimentation du réseau hydrologique*. De plus, la majeure partie des prélèvements a lieu sur une aire limitée, l'arc crayeux de la bordure Sud et Sud-Ouest qui est une partie de la masse d'eau avec un comportement différent (cyclicité annuelle et pluriannuelle). Il faudrait comparer ces prélèvements avec une recharge calculée uniquement sur cette partie crayeuse.

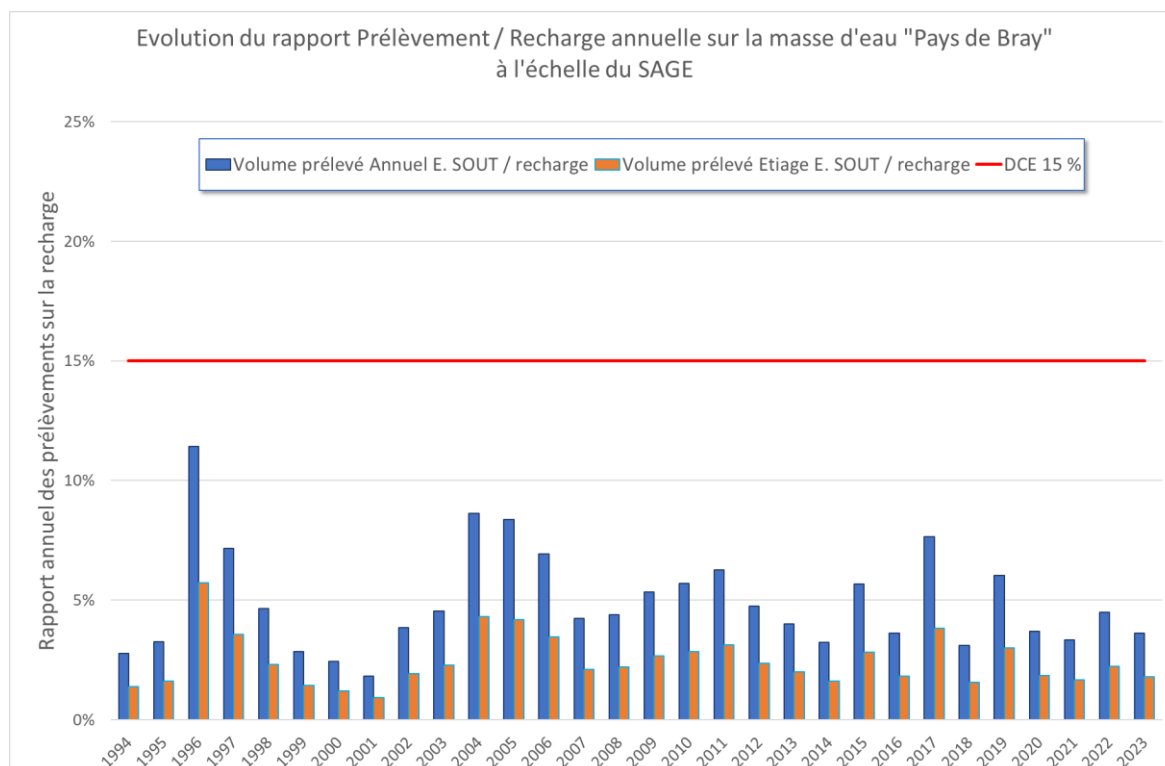


Figure 41 : Comparaison du rapport prélèvements en étiage / recharge, avec l'objectif DCE

6.4.2 2^e approche : comparaison avec des indicateurs locaux (Pays de Bray)

Il n'y a pas de suivi sur la masse d'eau du Pays de Bray au titre de l'Arrêté sécheresse. Plusieurs essais de définition d'un indicateur synthétique ont été réalisés à partir des QMNA et VCN sur l'Avelon à Goincourt et HMNA sur les deux piézomètres du Pays de Bray.

Le graphique de la Figure 38 présente un essai réalisé à partir du QMNA5 sur l'Avelon. Globalement *ces approches ne sont pas satisfaisantes* et ne font pas ressortir de lien clair entre recharge, prélèvements et indicateurs. Plusieurs raisons peuvent l'expliquer :

- L'historique de suivi pour les eaux de surface et souterraines est limité, depuis 2009 seulement.
- Cet historique n'intègre pas l'enchaînement d'années « extrêmes » entre 2000 et 2006, ce qui biaise le calcul des indicateurs statistiques type QMNA₅ et autre.
- Et pour les raisons détaillées dans le § précédent sur la recharge et la localisation des prélèvements.

En conséquence, il n'est *pas proposé de volumes mobilisables sur le Pays de Bray*. Il faudrait considérer une échelle plus fine que celle de la masse d'eau, et réfléchir à l'échelle des terrains crayeux du Crétacé supérieur.

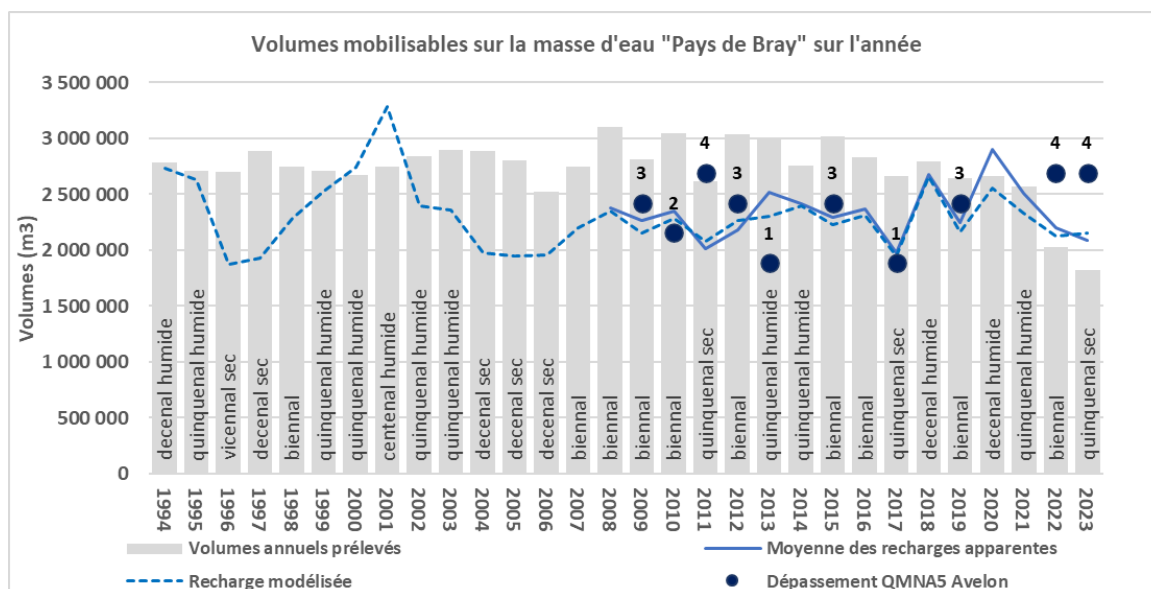


Figure 42 : Positionnement des volumes prélevés en eau souterraine avec les recharges et les franchissements de QMNA5 (1 : au moins 1 jour de dépassement, 2 : plus de 20 jours de dépassement, 3 : plus de 50 jours, 4 : plus de 80 jours).

7 Perspectives et évolutions

7.1 Quant à la précision et la complétude des données

Les préconisations suivantes, d'ordre assez générale, sont rappelées car la complétude des données est la base de toute bonne compréhension des ressources en eau :

- *Maintenir en l'état le réseau* de surveillance existant (éviter les lacunes de données).
- Poursuivre l'effort de bancarisation des volumes prélevés pour disposer des données mensuelles des volumes prélevés pour l'alimentation en eau potable et à usage industriel.
- Renforcer l'identification et les volumes agricoles prélevés, y compris pour les volumes limités.

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

La nappe de la Craie (masses d'eau FRHG205 et FRHG204 principalement) est bien suivie par le réseau de surveillance actuel.

Pour les autres masses d'eau souterraine, les préconisations suivantes peuvent être formulées :

- Actuellement, il n'existe plus de piézomètre pour suivre l'Eocène du Valois (masse d'eau FRHG104, 6% des volumes prélevés). Il serait intéressant de *recommencer un suivi sur cette masse d'eau* sur un ouvrage existant représentatif. Un suivi commun avec le bassin-versant de la Brèche pourrait être imaginé.
- Sur le Pays de Bray (masse d'eau FRHG301, 17% des volumes prélevés) : le comportement de l'hydrosystème est différent. Des indicateurs pertinents sont à réfléchir pour établir une *gestion différenciée*. Il faudrait également considérer une *échelle plus fine que celle de la masse d'eau* pour tenir compte des différences de comportement hydrogéologique internes à la masse d'eau et de la répartition des prélèvements.

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

Les *méthodes utilisées* dans le cadre de l'étude, permettent *d'approcher l'estimation des volumes mobilisables pour les eaux souterraines* par une analyse historique et globale à l'échelle du territoire. Elles connaissent cependant *des limites*, en raison de la présence d'une *cyclicité pluriannuelle de la recharge* de la nappe de la Craie, et du comportement très spécifique de la masse d'eau souterraine du Pays de Bray.

Pour aller plus loin dans l'estimation des volumes prélevables, et permettre d'aborder la *gestion de l'hydrosystème* en termes de *disponibilité de la ressource* et de *gestion prévisionnelle*, il sera nécessaire de réaliser des études intégrant :

- La définition d'un état naturel de la ressource (« désinfluencé » des prélèvements actuels),
- La définition *d'unités de gestion à plus petit échelle*, pour tenir compte des disparités locales en termes de ressource et d'enjeux. Une 1^e proposition d'unités de gestion, correspondant aux bassins-versants hydrologiques et pouvant intégrer plusieurs masses d'eau souterraine suivant les cas est la suivante (cf. Figure 43) :
 - Le bassin-versant de l'Avelon (intègre une partie du Pays-de-Bray)
 - Le bassin-versant du petit Thérain (intègre une partie de la nappe de la Craie)
 - Le bassin-versant du Thérain amont à Bonnières (intègre une partie de la nappe de la Craie et du Pays de Bray)
 - Le bassin-versant du Thérain entre Bonnières et Beauvais (intègre une partie de la nappe de la Craie)
 - Le bassin-versant du Thérain aval, après Beauvais (intègre une partie de la nappe de la Craie, du Pays de Bray et tout l'Eocène du Valois).
- Un volet prospectif en termes d'évolution des prélèvements et du climat,
- La définition d'indicateurs de gestion à l'échelle de chaque unité de gestion, autres que les indicateurs purement statistiques utilisés dans cette étude, tenant compte des besoins biologiques.
- Des modélisations, dont le type sera à adapter en fonction des enjeux et particularités de chaque unité de gestion. Elles peuvent être simples, du type GARDENIA (pluie-niveau-débit) à l'échelle d'une unité de gestion quand les enjeux sont faibles et les stations hydrométriques bien positionnées. Elles peuvent être plus complexes, de type modèle maillé englobant plusieurs unités de gestion. Les modèles maillés présentent l'avantage de pouvoir prendre en compte la position géographique précise des prélèvements, et de pouvoir intégrer des connaissances entre plusieurs bassins-versants sur une même masse d'eau souterraine. Sur le territoire du SIVT par exemple, cela peut permettre de mieux caractériser le comportement de la masse d'eau Eocène du Valois.

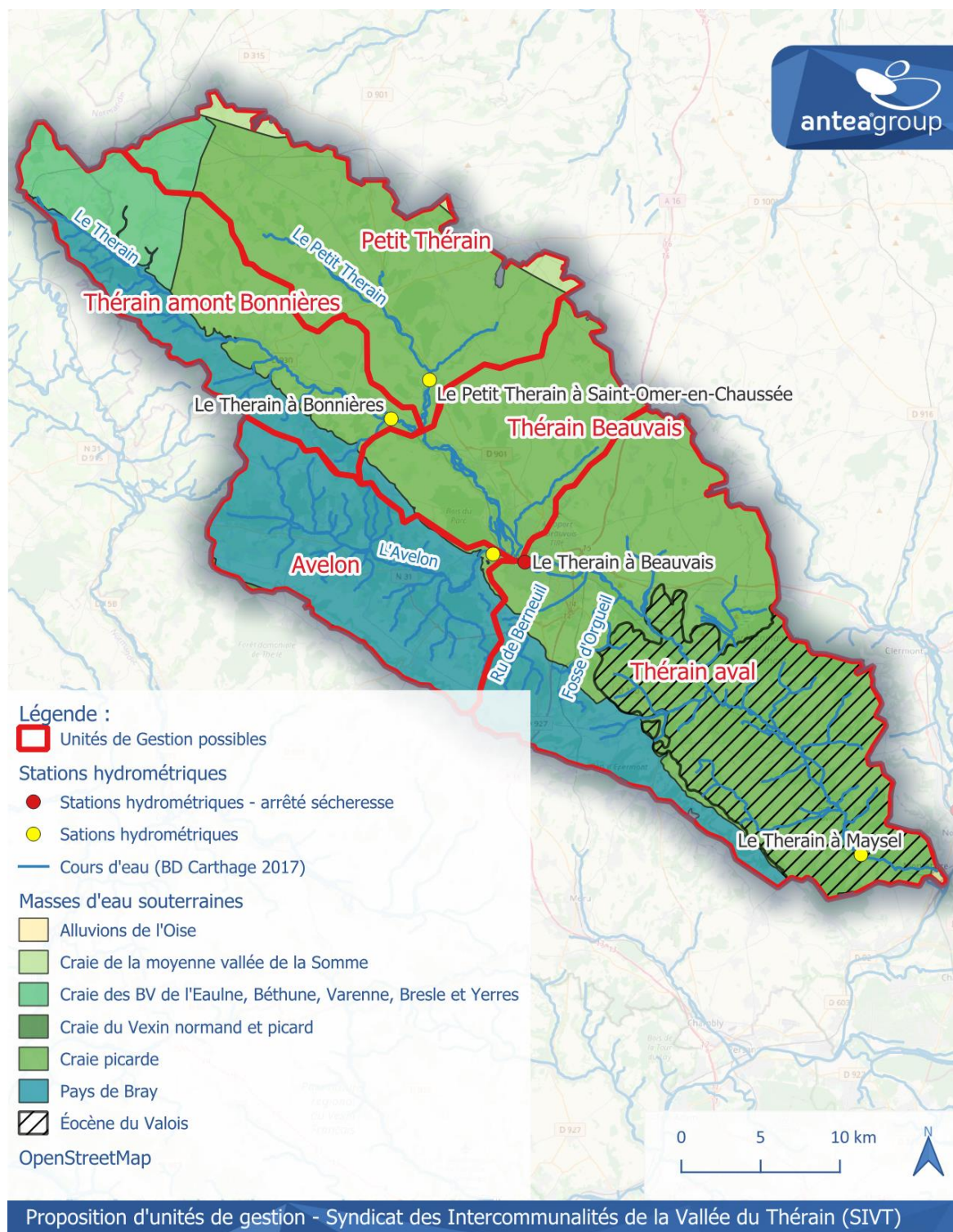
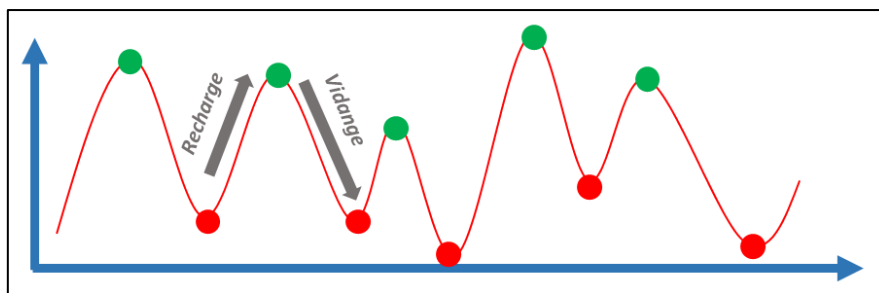


Figure 43 : Proposition d'unités de gestion

Annexe 1 : présentation des méthodologies de calcul de la recharge

Approche des recharges et des vidanges apparentes

Cette première approche est déployée à l'échelle des piézomètres disposant d'une chronique suffisamment longue et complète. L'analyse consiste à étudier le différentiel de niveau entre le point le plus bas de l'année et le niveau le plus haut de la période de recharge qui lui succède pour estimer la « recharge apparente » exprimée en m. De la même manière, la vidange est estimée sur la base d'un différentiel du niveau le plus haut de hautes eaux avec le niveau le plus bas qui lui succède pour estimer la « vidange apparente ». Le croisement des niveaux entre ces 2 approches permet de dégager un solde piézométrique annuel. Un solde positif indique une recharge supérieure à la vidange, un solde négatif une vidange plus importante que la recharge.



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

Calcul de la recharge à partir de GARDENIA, outil de modélisation globale

Cette méthodologie de calcul est basée sur l'utilisation de modélisation pluie-niveaux-débits à l'aide du logiciel GARDENIA développé par le BRGM.

GARDENIA permet notamment :

- D'évaluer la recharge des nappes d'eau souterraines présentes sur un territoire à partir de la pluie dont on a soustrait l'évapotranspiration potentielle (P-ETP) et le ruissellement, recharge qui correspond ainsi à la recharge « naturelle » des nappes d'eau
- D'évaluer ensuite, par corrélation et calage des chroniques d'écoulement des cours d'eau observées (donc tenant compte des prélèvements et rejets effectués) et calculées, les apports de nappe qui contribuent à l'alimentation naturelle des cours d'eau en situations critiques, notamment en période d'étiage et sans précipitations (écoulement retardé)
- De définir les débits « naturels » reconstitués (ou désinfluencés) des cours d'eau, par suppression dans le modèle, des prélèvements et rejets introduits

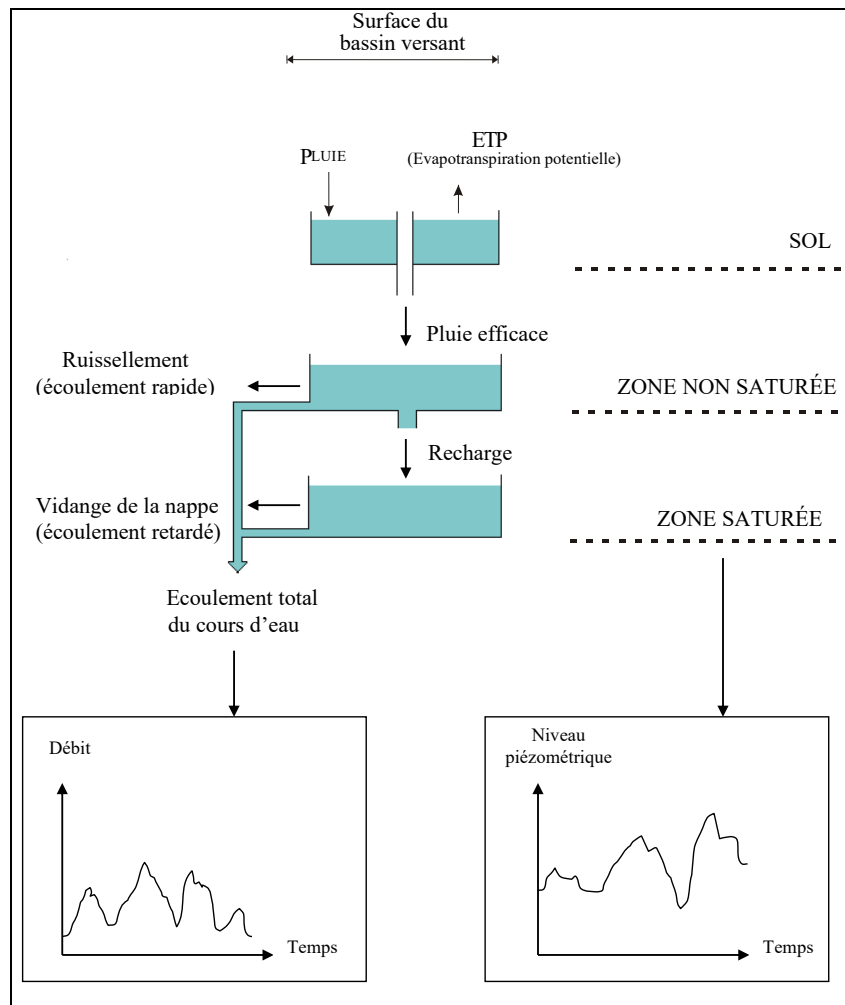


Schéma de principe du fonctionnement du modèle global GARDENIA (source : BRGM)

Construction et calage des modélisations pluies-niveaux-débits

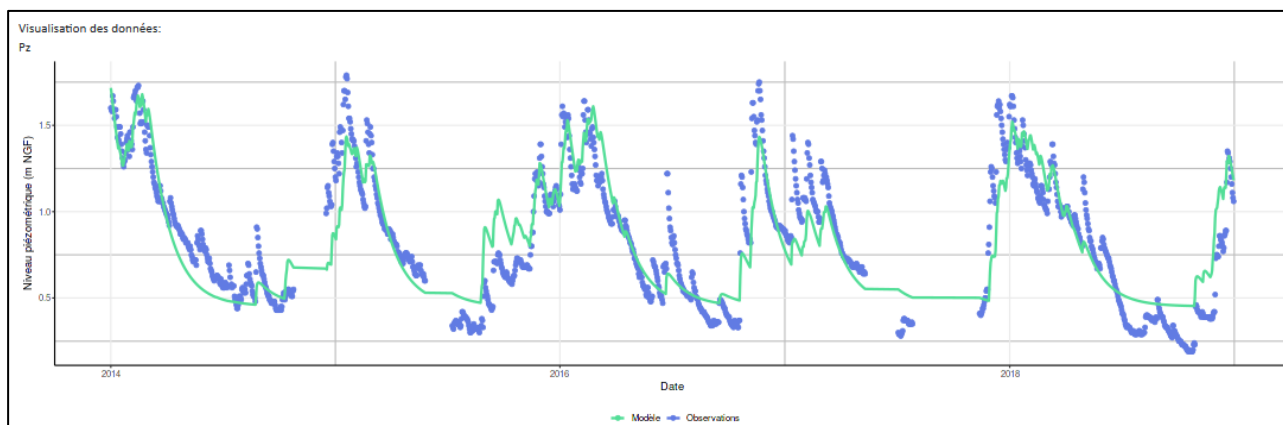
Les données d'entrée des modèles seront constituées par les **pluies et ETP au pas de temps journalier** aux points de grille de calcul SAFRAN les plus proches.

Les données de calage du modèle pour chaque bassin versant modélisé sont :

- La **chronique de débit disponible à la station hydrométrique** localisée à l'exutoire du bassin versant,
- Une **chronique de niveau piézométriques** disponible sur un piézomètre jugé représentatif du bassin versant.

Le calage est validé par l'obtention d'un coefficient de Nash supérieur à 0,7.

Dans le cadre de cette étude, les prélèvements ne sont pas explicitement pris en compte dans la modélisation. La recharge calculée est donc une recharge « influencée ».



Exemple d'ajustement des niveaux piézométriques obtenus par calage d'un modèle GARDENIA

Valeur des paramètres avant et après optimisation :

Paramètre	Initiales	Optimisées
Correction globale des pluies (-)	0.00	0.00
Correction globale d'ETP (-)	0.00	0.00
Capacité de la réserve utile (mm)	100.00	30.20
Remplissage de la réserve utile (mm)	1.00	1.00
Hauteur dans le réservoir H pour laquelle il y a répartition égale entre écoulement rapide et percolation (mm)	100.00	1.00
Temps de demi-vidange du réservoir intermédiaire H (mois)	1.00	0.05
Temps de demi-vidange du réservoir souterrain G1 (mois)	1.00	0.80
Emmagasinement (-)	0.01	0.02

Exemple de tableau de paramètres avant et après calage pour un modèle GARDENIA

Prise en compte des échanges interbassins

Les limites de bassins hydrogéologiques pouvant s'avérer légèrement différentes des limites de bassins versants de surface, dans ce cas, une partie de la recharge pluviométrique ayant lieu au droit du bassin versant hydrologique s'écoulera au sein du compartiment souterrain vers un bassin versant voisin, dans lequel il est susceptible d'alimenter ensuite les écoulements de surface.

Ces flux sont éventuellement ajustés au cours du calage, en particulier si des biais dans les résultats sont observés pour deux bassins versants voisins.

Calcul de la recharge à partir du calcul d'un écoulement de base (Wallingford)

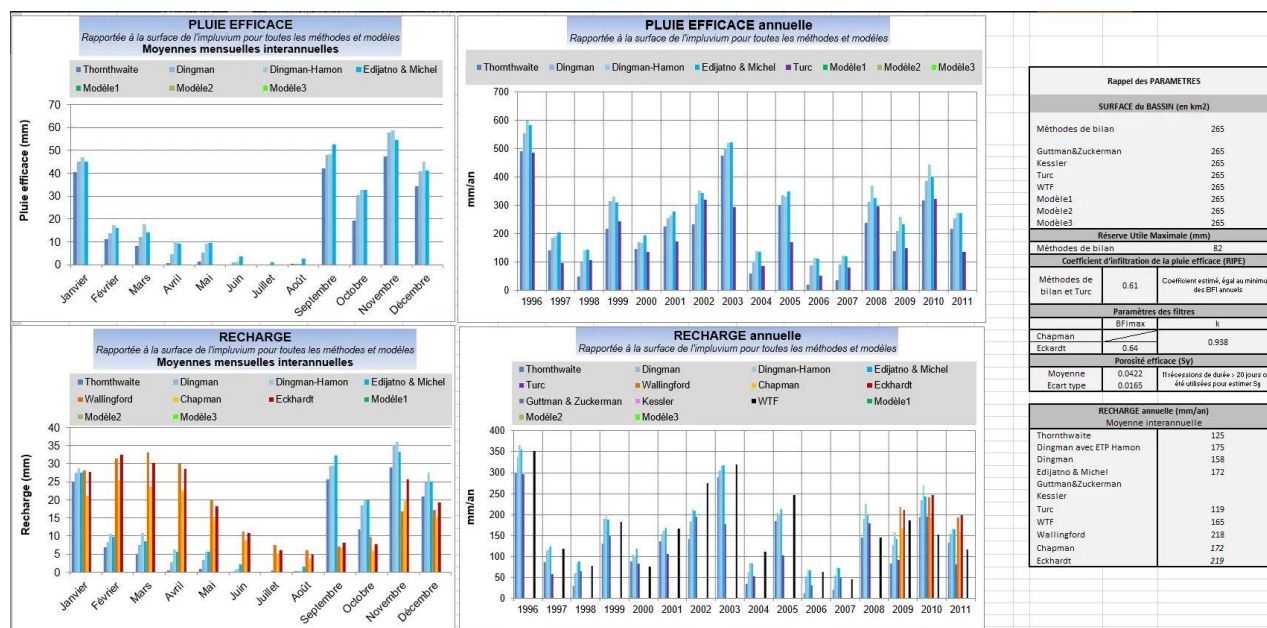
La méthode de calcul de la recharge à partir de la détermination des écoulements de base des cours d'eau est réalisée par utilisation de la feuille de calcul ESPERE, développée par le BRGM, qui permet, parmi ses nombreuses fonctionnalités, d'établir non seulement les valeurs de pluie efficace, mais également les valeurs de recharge de nappe, et ce selon plusieurs méthodes de calcul.

Pour la détermination du débit de base (BFI : Base Flow Index) à partir des chroniques piézométriques, la méthode de calcul de recharge choisie est celle développée par l'Institut d'Hydrologie de Wallingford qui s'appuie sur les **chroniques de débits journaliers des stations hydrométriques**, identifiés sur des périodes glissantes de 5 jours interpolées.

Il est considéré que le débit de base calculé correspond à la recharge de la nappe.

Estimation de la Pluie Efficace et de la REcharge selon différentes méthodes																																										
Mode d'emploi 1) Si vous souhaitez utiliser des nouvelles données, cliquer sur le bouton "Initialiser" ci-contre puis collez les nouvelles données dans l'onglet "Données" 2) Cochez les méthodes qui doivent être appliquées, et renseignez les paramètres du tableaux ci-dessous 3) Cochez la case ci-contre si vous souhaitez que les résultats soient exprimés par années hydrologiques plutôt que par années civiles 4) Lancez les calculs en cliquant sur le bouton "Lancer les calculs" 5) Lorsque les calculs sont terminés, vous pouvez enregistrer la simulation réalisée en cliquant sur le bouton "Sauvegarder".			Initialiser ☐ Année hydrologique																																							
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Propriétés</th> <th>Unité</th> <th>Valeur</th> <th>Remarques</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Surface de l'impluvium</td> <td>km²</td> <td>265</td> <td>Pour transformer la pluie efficace en volume infiltré (méthodes de bilan et Turc) et le débit de base en recharge</td> </tr> <tr> <td>Ratio Infiltration / Pluie efficace (RIPE)</td> <td>s.d.</td> <td>0.61</td> <td>Pour transformer la pluie efficace en recharge (méthodes de bilan et Turc). Vaut 0 si toute la pluie efficace ruisselle, vaut 1 si toute la pluie efficace s'infiltré.</td> </tr> <tr> <td>Stock maximal d'eau dans le sol (RU max)</td> <td>mm</td> <td>82</td> <td>Paramètre nécessaire pour les méthodes de Thornthwaite, Dingman et Edijatno&Michel</td> </tr> <tr> <td>Latitude</td> <td>°</td> <td>43.7</td> <td>Paramètre nécessaire pour le calcul de l'ETP par la formule de Hamon</td> </tr> <tr> <td>Porosité efficace aquifère libre (Sy)</td> <td>s.d.</td> <td>0.0422</td> <td>Paramètre nécessaire pour la méthode Water Table Fluctuation</td> </tr> <tr> <td>Surface du bassin hydrogéologique</td> <td>km²</td> <td>265</td> <td>Surface à considérer pour convertir la recharge calculée par WTF en volume infiltré</td> </tr> </tbody> </table>	Propriétés	Unité	Valeur	Remarques	Surface de l'impluvium	km ²	265	Pour transformer la pluie efficace en volume infiltré (méthodes de bilan et Turc) et le débit de base en recharge	Ratio Infiltration / Pluie efficace (RIPE)	s.d.	0.61	Pour transformer la pluie efficace en recharge (méthodes de bilan et Turc). Vaut 0 si toute la pluie efficace ruisselle, vaut 1 si toute la pluie efficace s'infiltré.	Stock maximal d'eau dans le sol (RU max)	mm	82	Paramètre nécessaire pour les méthodes de Thornthwaite, Dingman et Edijatno&Michel	Latitude	°	43.7	Paramètre nécessaire pour le calcul de l'ETP par la formule de Hamon	Porosité efficace aquifère libre (Sy)	s.d.	0.0422	Paramètre nécessaire pour la méthode Water Table Fluctuation	Surface du bassin hydrogéologique	km ²	265	Surface à considérer pour convertir la recharge calculée par WTF en volume infiltré	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Méthodes à appliquer</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Estimation de la pluie efficace</td> </tr> <tr> <td>☒ Turc</td> </tr> <tr> <td>☒ Thornthwaite</td> </tr> <tr> <td>☒ Dingman</td> </tr> <tr> <td>☒ Dingman avec ETP Hamon</td> </tr> <tr> <td>☒ Edijatno & Michel</td> </tr> <tr> <td>Estimation directe de la recharge</td> </tr> <tr> <td>☐ Relation Empirique</td> </tr> <tr> <td>☐ Kessler</td> </tr> <tr> <td>☒ Water Table</td> </tr> <tr> <td>☒ Filtrés et BFI</td> </tr> </tbody> </table>		Méthodes à appliquer	Estimation de la pluie efficace	☒ Turc	☒ Thornthwaite	☒ Dingman	☒ Dingman avec ETP Hamon	☒ Edijatno & Michel	Estimation directe de la recharge	☐ Relation Empirique	☐ Kessler	☒ Water Table	☒ Filtrés et BFI
Propriétés	Unité	Valeur	Remarques																																							
Surface de l'impluvium	km ²	265	Pour transformer la pluie efficace en volume infiltré (méthodes de bilan et Turc) et le débit de base en recharge																																							
Ratio Infiltration / Pluie efficace (RIPE)	s.d.	0.61	Pour transformer la pluie efficace en recharge (méthodes de bilan et Turc). Vaut 0 si toute la pluie efficace ruisselle, vaut 1 si toute la pluie efficace s'infiltré.																																							
Stock maximal d'eau dans le sol (RU max)	mm	82	Paramètre nécessaire pour les méthodes de Thornthwaite, Dingman et Edijatno&Michel																																							
Latitude	°	43.7	Paramètre nécessaire pour le calcul de l'ETP par la formule de Hamon																																							
Porosité efficace aquifère libre (Sy)	s.d.	0.0422	Paramètre nécessaire pour la méthode Water Table Fluctuation																																							
Surface du bassin hydrogéologique	km ²	265	Surface à considérer pour convertir la recharge calculée par WTF en volume infiltré																																							
Méthodes à appliquer																																										
Estimation de la pluie efficace																																										
☒ Turc																																										
☒ Thornthwaite																																										
☒ Dingman																																										
☒ Dingman avec ETP Hamon																																										
☒ Edijatno & Michel																																										
Estimation directe de la recharge																																										
☐ Relation Empirique																																										
☐ Kessler																																										
☒ Water Table																																										
☒ Filtrés et BFI																																										
Paramètres spécifiques Végétation Prise en compte du couvert végétal pour le calcul de l'ETR. Pour activer cette option et définir les paramètres, cliquer ici																																										
BFI - Filtre Chapman&Maxwell ou Eckardt BFImax (entre 0 et 1) 0.64 k (entre 0 et 1) 0.94		ESPERE v2 propose une estimation automatique des paramètres RIPE, Sy, BFImax et k. Si vous fournissez une valeur à ces paramètres, l'estimation automatique sera désactivée et la valeur que vous avez fournie sera utilisée dans les calculs.																																								
Lancer les calculs		Prêt pour un nouveau calcul																																								
Sauvegarder la simulation																																										
©BRGM - 2020 - ESPERE version 2.44 Contact : espere@brgm.fr																																										
Paramètres Données Modèles Guttman Turc Kessler Thornthwaite Dingman Dingman-Hamon Edijatno-Michel WTF Filtrés CumulData Resultats																																										

Page d'accueil du logiciel ESPERE (Source : BRGM)



Exemple de résultats graphiques de pluie efficace et de recharge de nappe permis par le logiciel ESPERE (Source : BRGM)

Calcul de la recharge SIM 2

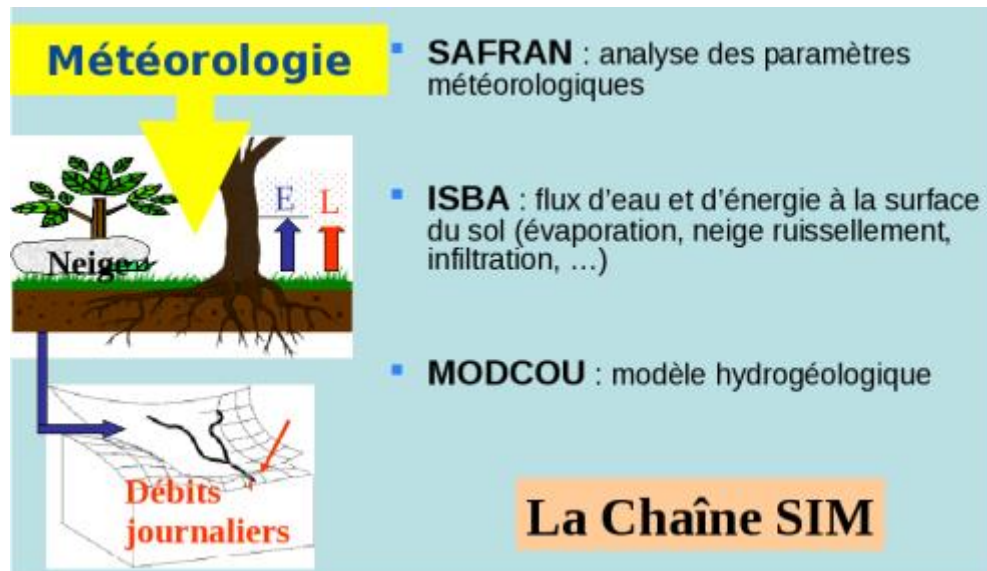
Parmi les méthodes de calcul de recharge souhaitée, à mettre en œuvre, figure la chaîne de modélisation hydrométéorologique SAFRAN-ISBA-MODCOU développée dans le cadre d'une coopération entre le CNRM-GAME et le [Centre de géosciences de Mines ParisTech](#).

Cette méthode a permis de simuler sur l'ensemble du territoire Français, les flux d'eau et d'énergie à la surface du sol (évaporation, neige, infiltration, ruissellement), ainsi que l'évolution du débit des rivières et des principales nappes.

La chaîne est composée de 3 modèles :

- **SAFRAN/France** qui est un système d'analyse à méso-échelle de variables atmosphériques près de la surface. Il utilise des observations de surface, combinées à des données d'analyse de modèles météorologiques pour produire les paramètres horaires nécessaires au fonctionnement d'ISBA au pas de temps horaire. Ces paramètres (température, humidité, vent, précipitations solides et liquides, rayonnement solaire et infrarouge incident), sont analysés par pas de 300m d'altitude qui sont ensuite interpolés sur une grille de calcul régulière (8 km x 8 km).
- **ISBA** (Interaction sol-biosphère-atmosphère) qui simule les échanges d'eau et d'énergie entre le sol et l'atmosphère. La version utilisée dans la chaîne SIM utilise 3 couches de sol (surface, zone racinaire, zone profonde) et deux températures (température de surface globale du continuum sol-végétation et température profonde). ISBA permet ainsi de simuler l'ensemble des flux d'eau avec l'atmosphère (interception, évaporation, transpiration) et avec le sol (ruissellement des précipitations et drainage dans le sol). Le pas de temps pris en compte est de 5 minutes.

- MODCOU, qui est un modèle hydrologique distribué. Ce modèle utilise en entrée le ruissellement et le drainage d'ISBA pour calculer l'évolution des nappes et le débit des rivières. La maille de calcul varie de 64 à 1 km en fonction de la limite des bassins versants et du réseau hydrographique. Le pas de temps pris en compte est de trois heures.



Principe de calcul de la chaîne SAFRAN-ISBA-MODCOU (Source : Centre National de Recherches Météorologiques)

Dans le cadre de cette étude, les **valeurs de lames d'eau infiltrées journalières** issues de la chaîne de modélisation SAFRAN-ISBA-MODCOU calculées sur la base du maillage 8 km x 8 km, sont récupérées et agrégées aux échelles correspondant aux superficies des différents sous-bassins hydrologiques.