

Etude sur la gestion quantitative des ressources en eau du bassin Sarthe amont et élaboration de programmes d'actions dans le cadre de la révision du SAGE

Phase 1 | Synthèse



CONSULTING

SAFEGE
Parc de L'Île
15-27, Rue du Port
92022 NANTERRE cedex

SAFEGE SAS - SIÈGE SOCIAL
Parc de l'Île - 15/27 rue du Port
92022 NANTERRE CEDEX
www.safege.com

Maître d'ouvrage : Syndicat du bassin de la Sarthe

Numéro du projet : 20NHF015

Intitulé du projet : Etude sur la gestion quantitative des ressources en eau du bassin Sarthe amont et élaboration de programmes d'actions dans le cadre de la révision du SAGE

Intitulé du rapport : Phase 1 | Synthèse

Version	Rédacteur	Vérificateur	Date d'envoi	Commentaires
V 1.0	Raphaël ZYLBERMAN	Max MENTHA	23/09/2022	Version initiale
V2	Raphaël ZYLBERMAN	Max MENTHA	01/12/2022	Version révisée suite au COTECH 4

SOMMAIRE

1. PREAMBULE	7
1.1 Contexte de l'étude	7
1.2 Périmètre du territoire d'étude	8
1.3 Objectifs de l'étude	9
1.4 Déroulement de la mission	10
1.5 Clé de lecture	11
2. RAPPEL DE LA SECTORISATION DU PERIMETRE	12
3. VOLET « USAGES »	15
3.1 Objectifs visés	15
3.2 Eléments de méthode	15
3.2.1 Données valorisées et hypothèses retenues	16
3.2.2 Scénario coconstruit	16
3.3 Résultats obtenus	17
3.3.1 Population	17
3.3.2 Usages à l'échelle du territoire SAGE Sarthe amont	18
3.3.3 Répartition des usages à l'échelle des unités de gestion	21
4. VOLET « HYDROLOGIE »	23
4.1 Objectifs visés	23
4.2 Résultats obtenus	24
4.2.1 Analyse hydro-climatique	24
4.2.2 Analyse du fonctionnement hydrologique	25
4.2.3 Analyse du fonctionnement hydrogéologique et des interactions nappe- rivière	30
4.2.4 Reconstitution de l'hydrologie désinfluencée	35
5. VOLET « MILIEUX »	38
5.1 Objectifs visés	38

5.2	Eléments de méthode	38
5.3	Résultats obtenus	39
5.3.1	Analyse du contexte environnemental.....	39
5.3.2	Détermination des débits biologiques.....	40
6.....	VOLET « CLIMAT »	41
6.1	Objectifs visés.....	41
6.2	Eléments de méthode	41
6.3	Résultats obtenus	41
6.3.1	Conclusion des études existantes sur le changement climatique et son impact sur la ressource en eau.....	41
6.3.2	Analyse de l'évolution des paramètres climatiques d'après les données DRIAS	42
6.3.3	Modélisation de l'évolution de la ressource en eau à l'horizon 2050	44
7.....	CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES POUR LA SUITE DE L'ETUDE.....	49
8.....	GLOSSAIRE ET ACRONYMES	50
8.1	Glossaire.....	50
8.2	Acronymes	54
9.....	ANNEXES.....	55
9.1	Annexe 1 : Données valorisées et hypothèses formulées pour le bilan des usages	55
9.1.1	Population	55
9.1.2	Alimentation en eau potable (AEP).....	55
9.1.3	Irrigation	56
9.1.4	Abreuvement du bétail.....	56
9.1.5	Prélèvements industriels	57
9.1.6	Cas particulier des plans d'eau.....	58
9.1.7	Pertes dans les réseaux de distribution d'eau potable	58
9.1.8	Rejets d'assainissement collectif (AC).....	59
9.1.9	Rejets d'assainissement non collectif (ANC)	60
9.1.10	Rejets industriels	60

9.2 Annexe 2 : Définitions relatives à la compréhension de concepts hydrologiques	61
9.3 Annexe 3 : Identification et caractérisation des incertitudes	65
9.3.1 Incertitudes et biais sur les données utilisées	65
9.3.2 Incertitudes sur la modélisation	65
9.3.3 Incertitudes sur les indicateurs statistiques liées à l'échantillonnage	66
9.3.4 Prise en compte et quantification des incertitudes.....	66
9.4 Annexe 4 : Choix des stations de référence pour l'application du protocole ESTIMHAB	67
9.4.1 Principes de localisation des sites	67
9.4.2 Localisation des sites	68
9.4.3 Campagne de terrain et contrôle de validité du modèle	68
9.5 Annexe 5 : Références bibliographiques pour l'analyse du changement climatique	69

Liste des figures

Figure 1 : Localisation du bassin versant de la Sarthe amont (Source : SbS, IGN, SUEZ Consulting 2019)	9
Figure 2 : Sectorisation utilisée lors de l'étude de détermination de débit de référence (Suez Consulting, 2015)	12
Figure 3 : Sectorisation en unités de gestion et sous-unités de gestion du bassin versant de la Sarthe amont (Source : SbS, Suez consulting 2022)	14
Figure 4 : Usages de l'eau considérés dans l'étude (Source : Suez Consulting, 2022)	15
Figure 5 : Périmètre SAGE Sarthe amont - Evolution de la population de 2000 à 2019 et à l'horizon 2050 (source : INSEE, SUEZ Consulting 2020)	17
Figure 6 : Périmètre SAGE Sarthe amont – Densité de population en 2019 (Source : INSEE, SbS, SUEZ Consulting 2021)	18
Figure 7 : Prélèvements nets moyens calculé par UG sur la période 2000-2019	20
Figure 8 : Prélèvements en m ³ représentés par SUG et par usages pour l'année 2019	21
Figure 9 : Rejets en m ³ représentés par SUG et par usages pour l'année 2019	22
Figure 10 : Localisation des stations météorologiques retenues pour l'étude (Source : MétéoFrance, SbS, SUEZ Consulting 2021)	24
Figure 11 : Localisation des stations hydrométriques de la DREAL Pays de Loire et de la DREAL Normandie sur le bassin de la Sarthe amont (Sources : Banque Hydro, SbS, SUEZ Consulting 2021)	26
Figure 12 : BV Sarthe amont - Localisation des stations ONDE et bilan 2014-2020 des observations (Sources : SbS, OFB, SUEZ Consulting 2021)	29
Figure 13 : Principaux gisements d'eaux souterraines du bassin versant de la Sarthe Amont (source : BRGM)	31
Figure 14 : Masses d'eau du bassin versant de la Sarthe amont (Source : https://www.data.gouv.fr/fr/datasets/masses-deau-souterraines-france-entiere-version-rapportage-2016/)	33
Figure 15 : Schéma conceptuel du filtre de Chapman	34
Figure 16 : Comparaison du QMNA5 influencé au QMNA5 désinfluencé sur les unités de gestion du bassin versant de la Sarthe amont (Source : Suez Consulting, 2022)	37
Figure 49 : Evolution du QMNA5 désinfluencé (en haut) influencé (en bas) sur le territoire SAGE Sarthe amont selon le scénario tendanciel bas	45
Figure 50 : Evolution du QMNA5 désinfluencé (en haut) influencé (en bas) sur le territoire SAGE Sarthe amont selon le scénario tendanciel haut	47
Figure 51 : Ecart du QMNA5 désinfluencé (en haut) influencé (en bas) sur le territoire SAGE Sarthe amont entre les scénarios tendanciels à l'horizon 2050	48
Figure 17 : Exemple de représentation graphique du débit moyen journalier, du débit moyens mensuel et du module d'un cours d'eau sur une année donnée	62
Figure 18 : Exemple de représentation graphique du VCN30 et du QMNA d'un cours d'eau donné sur une année donnée	64
Figure 19 : Représentation schématique du niveau piézométrique dans un contexte de nappe libre (gauche) et de nappe captive (droite)	64
Figure 20 : Localisation des stations ESTIMHAB	68

Liste des tableaux

Tableau 1 : Présentation du périmètre SAGE de la Sarthe amont.	8
Tableau 2 : Scénarios d'évolution d'usages à l'horizon 2050 employés dans le cadre du volet « Usages »	16
Tableau 3 : Comparaison de l'effet des usages sur l'hydrologie pour chaque unité de gestion (Source : Suez Consulting, 2022).....	36
Tableau 4 : Synthèse du contexte environnemental	39
Tableau 5 : Gammes de débits proposées pour les débits estivaux.....	40
Tableau 6 : Synthèse sur l'évolution du climat (Sources : DRIAS, SUEZ Consulting)	43
Tableau 25 : Synthèse des évolutions de débit liées au changement climatique et aux usages à l'horizon 2050 selon le scénario tendanciel bas	44
Tableau 26 : Synthèse des évolutions de débit liées au changement climatique et aux usages à l'horizon 2050 selon le scénario tendanciel haut	46
Tableau 9 : Consommation journalières par type de cheptel (Sources : CD 53, Massabie et Al, Lithologic).....	57
Tableau 10 : Contrôle de vérification pour les stations étudiées.....	68

1. PREAMBULE

1.1 Contexte de l'étude

Le principal cadre réglementaire de la gestion quantitative est donné par le chapitre 7 du SDAGE Loire-Bretagne 2016-2021, qui pose la maîtrise des prélèvements en eau comme un élément essentiel à la reconquête du bon état des cours d'eau et à la préservation des écosystèmes qui leur sont liés, dans un contexte de changement climatique. Les décrets n°2021-795 et n°2022-1078 encadrent également la réalisation d'études d'évaluation de volumes prélevables dans les milieux naturels en période basses eaux et hors période de basses eaux.

Ainsi, la gestion de la ressource en période d'étiage repose en grande partie sur la fixation d'objectifs aux points nodaux (disposition 7A-1), que ce soit pour les rivières ou les nappes souterraines, portant d'une part sur l'équilibre entre la ressource et les besoins et d'autre part sur la gestion de crise.

D'autre part, un rôle particulier est donné dans ce chapitre aux SAGE, qui peuvent, sur la base d'une analyse des conditions hydrologiques, des milieux, des usages et du changement climatique (dite analyse « H.M.U.C ») propre à leur territoire, effectuée et validée au sein de la Commission Locale de l'Eau, proposer des ajustements à certaines dispositions du SDAGE, en particulier :

- ❖ Ajuster les débits et/ou les niveaux d'objectifs d'étiage et définir les conditions de prélèvements mieux adaptées à leur territoire (disposition 7A-2),
- ❖ En fonction des caractéristiques hydrologiques de leur territoire, proposer au préfet de retenir une période de référence différente pour l'étiage, période qui sera prise en compte pour la délivrance des autorisations de prélèvements à l'étiage et la mise en place des mesures de gestion de crise (disposition 7B-1).

Le SAGE Sarthe amont est soumis à la disposition 7B-2 qui permet une augmentation limitée des prélèvements à l'étiage sans excéder la lame d'eau du SDAGE fixée à 0.15 mm au point nodal Sr2 (Neuville-Souillé). Le SAGE peut ajuster ce plafond au moyen d'une HMUC.

Dans le cadre de la révision du SAGE Sarthe amont, la Commission Locale de l'Eau a estimé nécessaire d'élargir les connaissances acquises lors d'une première étude de détermination des débits de référence datant de 2015. Aussi cette nouvelle étude a pour objectifs principaux :

- ▷ D'étendre les connaissances de l'état quantitatif des eaux superficielles et des eaux souterraines sur la période 2000-2020 ;
- ▷ Estimer le débit écologique au point nodal de la Sarthe amont à Souillé et proposer un débit objectif qui tiendrait compte du débit écologique et des besoins en aval identifiés dans l'étude volume prélevable du SAGE Sarthe aval ;
- ▷ De disposer de données factuelles comme des volumes prélevables pour prendre en compte l'enjeu quantitatif ;
- ▷ De proposer de nouvelles règles ou dispositions dans le SAGE.

L'étude de détermination des débits de référence de 2015 a identifié des secteurs en tension sur le bassin de la Sarthe amont, notamment la partie ornaise et le sous-bassin de la Bienne. Les tensions identifiées sur la partie ornaise sont générées par les prélèvements en eau potable sur le cours d'eau de la Sarthe. Le sous-bassin versant de la Bienne connaît des périodes difficiles d'un point de vue quantitatif, notamment au mois d'août, où l'irrigation agricole et la sur évaporation des plans d'eau sont importants.

Enfin, l'étude actuelle intègre de nouveaux sous bassins du périmètre SAGE Sarthe amont sur lesquels une analyse de la disponibilité des ressources est réalisée en plus de celle sur les 5 unités de gestion définies en 2015.

Aussi, cette nouvelle étude se doit de répondre aux nouveaux objectifs suivants :

- ❖ Estimer le débit écologique sur le bassin de la Bienne dans le but d'affiner les débits seuils réglementaires et les volumes prélevables proposés dans la précédente étude ;
- ❖ Réaliser un bilan de l'état quantitatif sur 4 nouveaux sous-bassins versant de la Sarthe amont : l'Hoëne, l'Orthe, le Merdereau et l'Ornette.

1.2 Périmètre du territoire d'étude

Le périmètre de l'étude est celui du SAGE de la Sarthe Amont, défini par arrêté préfectoral le 28 février 2002. Un descriptif du territoire est présenté dans le Tableau 1.

Tableau 1: Présentation du périmètre SAGE de la Sarthe amont.

Carte d'identité du bassin de la Sarthe Amont	
Organisation administrative	Deux régions concernées : Pays de la Loire et Normandie Trois départements concernés : Sarthe, Orne et Mayenne 238 communes
Superficie	2 882 km ² - de sa source à la confluence avec l'Huisne au Mans
Réseau hydrographique	2 675 km de linéaire cumulé de cours d'eau <u>Principaux affluents de la Sarthe :</u> La Tanche, la Vézère, la Briante, le Sarthon, l'Ornette, le Merdereau, la Vaudelle, l'Orthe, la Longuève, l'Autonnière, l'Hoëne, l'Erine, le Rosay-Nord, la Bienne et l'Orne Saosnoise.

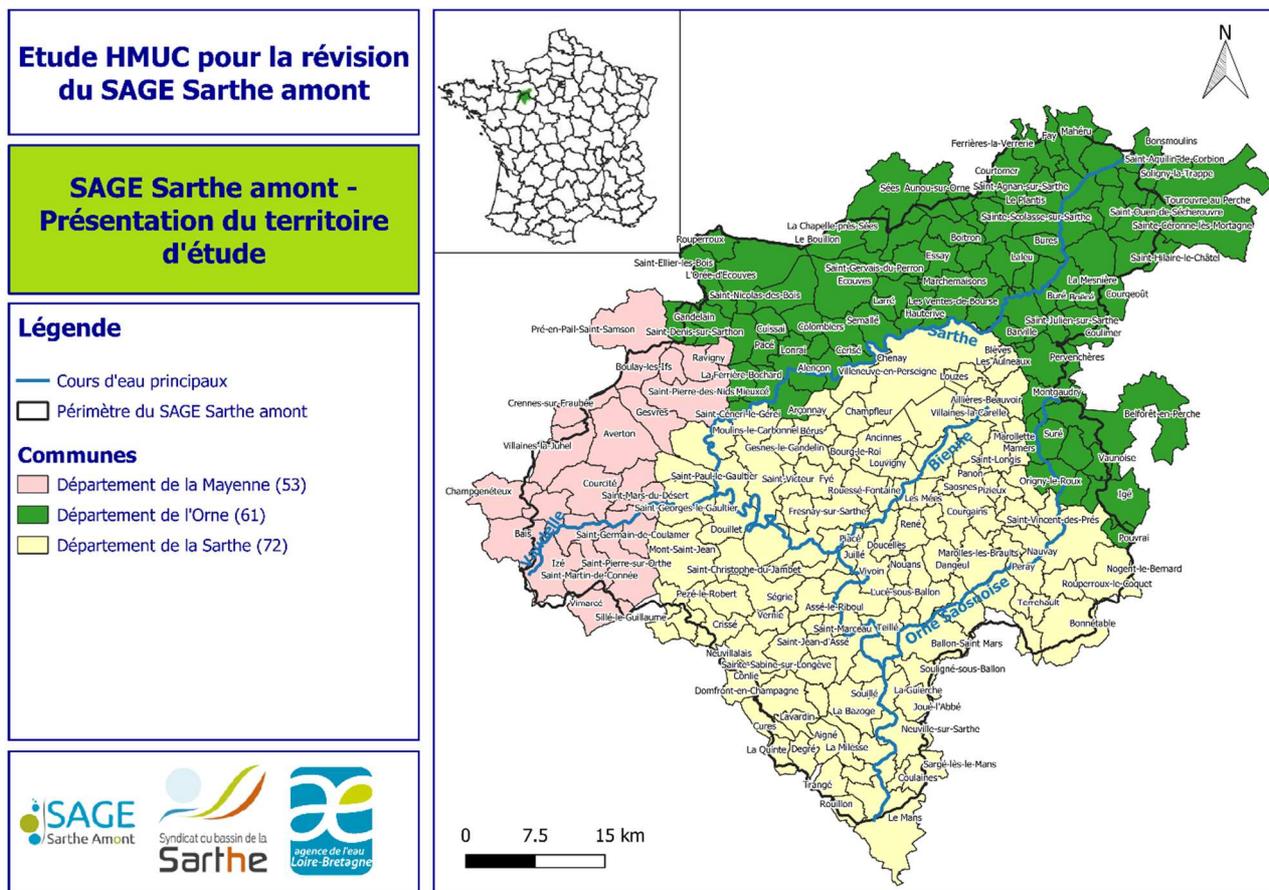


Figure 1: Localisation du bassin versant de la Sarthe amont (Source : SbS, IGN, SUEZ Consulting 2019)

1.3 Objectifs de l'étude

L'objectif principal de cette étude, et validé par la Commission Locale de l'Eau le 8 octobre 2020, est le suivant : « l'acquisition des données quantitatives validées pour alimenter les enjeux du SAGE, d'en définir des objectifs et de proposer, le cas échéant, des règles et des dispositions pour y répondre » (Cahier des Charges, SbS).

Pour y répondre et maîtriser la complexité d'une telle étude, le SbS a décliné 9 sous-objectifs qui composent la méthode HMUC (« Hydrologie, Milieux, Usages, Climat ») mise en œuvre :

- ▶ **Objectif 1** : Appréhender le fonctionnement des différents cours d'eau et nappes souterraines du périmètre du SAGE ;
- ▶ **Objectif 2** : Disposer de mesures in situ pour identifier le débit écologique de cours d'eau ;
- ▶ **Objectif 3** : Connaître les prélèvements et rejets réalisés sur le périmètre du SAGE, en leur appliquant individuellement un degré d'incertitude ;
- ▶ **Objectif 4** : Connaître l'état des ressources sans les prélèvements, et le cas échéant les rejets, afin d'identifier par unités de gestion (superficielles et souterraines) leur fonctionnement sans activités anthropiques, tout en apportant des degrés d'incertitudes ;
- ▶ **Objectif 5** : Estimer dans les grandes lignes l'évolution possible des ressources et des usages du fait du changement climatique ;

- ▷ **Objectif 6** : Connaître l'état des ressources (souterraines ou superficielles) et caractériser les secteurs sous tension ;
- ▷ **Objectif 7** : Affiner les débits seuils superficiels réglementaires proposés dans le cadre de la précédente étude ;
- ▷ **Objectif 8** : Définir des volumes d'eaux superficielles (ou souterraines en lien avec ces dernières) prélevables par usage et par période ;
- ▷ **Objectif 9** : Disposer de recommandations pour réaliser des économies d'eau ;

Ainsi, l'étude de détermination des débits de référence détaille le fonctionnement hydrologique et hydrogéologique du bassin de la Sarthe amont et analyse les impacts générés par les usages (prélèvements et rejets) sur les milieux aquatiques en période actuelle, ainsi que les impacts sur les milieux générés par les tendances d'évolution des usages et le changement climatique à l'horizon 2050. Les résultats de ce travail se traduiront par la proposition de débits d'objectifs et de volumes prélevables actualisés et affinés, ainsi que des débits seuil d'alerte et de crise aux stations de référence définies.

Les résultats de cette étude pourront être intégrés dans le futur SAGE si la CLE le souhaite.

1.4 Déroulement de la mission

L'étude se décompose en **3 phases** :

❖ Phase 1 : Etat des lieux / Synthèse et actualisation des données

- **Objectif 1** : Appréhender le fonctionnement des différents cours d'eau et nappes souterraines du périmètre du SAGE ;
- **Objectif 2** : Disposer de mesures in situ pour identifier le débit écologique de cours d'eau ;
- **Objectif 3** : Connaître les prélèvements et rejets réalisés sur le périmètre du SAGE, en leur appliquant individuellement un degré d'incertitude ;
- **Objectif 4** : Connaître l'état des ressources sans les prélèvements, et le cas échéant les rejets, afin d'identifier par unités de gestion (superficielles et souterraines) leur fonctionnement sans activités anthropiques, tout en apportant des degrés d'incertitudes ;
- **Objectif 5** : Estimer dans les grandes lignes l'évolution possible des ressources et des usages du fait du changement climatique ;

❖ Phase 2 : Diagnostic

- **Objectif 6** : Connaître l'état des ressources (souterraines ou superficielles) et caractériser les secteurs sous tension ;
- **Objectif 7** : Affiner les débits seuils superficiels réglementaires proposés dans le cadre de la précédente étude ;
- **Objectif 8** : Définir des volumes d'eaux superficielles (ou souterraines en lien avec ces dernières) prélevables par usage et par période ;

❖ Phase 3 : Proposition d'actions

- **Objectif 9** : Disposer de recommandations pour réaliser des économies d'eau

Le présent document constitue une synthèse des objectifs visés, des méthodes d'analyse appliquées et des résultats obtenus dans le cadre de chacun des quatre volets de phase 1.

L'objectif de cette synthèse est de fournir un premier axe de lecture de ces éléments, la lecture pouvant être ensuite complétée à l'aide des rapports associés à chaque volet.

1.5 Clé de lecture

Le présent document se veut aussi pédagogique que possible. Pour en faciliter la lecture, les précisions suivantes sont apportées :

- ❖ Un glossaire et une liste des acronymes sont donnés en fin de document. Ils permettent de comprendre les différents termes techniques employés ;
- ❖ Des références à d'autres documents de l'étude sont parfois présentées en **bleues**, afin d'assurer la compréhension de certains concepts-clé.

Pour approfondir sa connaissance sur les différentes méthodes employées et résultats obtenus, le lecteur est invité à consulter les rapports spécifiquement rédigés pour chaque volet de l'étude.

2. RAPPEL DE LA SECTORISATION DU PERIMETRE

La présente étude H.M.U.C intervient dans la continuité d'une étude menée entre 2013 et 2015 par SUEZ Consulting sur le bassin de la Sarthe Amont, qui visait à déterminer des débits de référence au niveau de **cinq stations hydrométriques** utilisées dans le cadre de la gestion de crise :

- ▶ Dans l'Orne : **la Sarthe à Saint-Céneri-le-Gérei**
- ▶ Dans la Sarthe :
 - **La Sarthe à Neuville-Sur-Sarthe (Point nodal du SDAGE)**
 - **L'Orne Saosnoise à Montbizot**
 - **La Bienne à Thoiré-sous-Contensor**
 - **La Vaudelle à Saint-Georges-le-Gaultier**

La sectorisation définie à cette occasion, rappelée sur la carte ci-dessous, correspondait aux zones d'influence de ces stations.

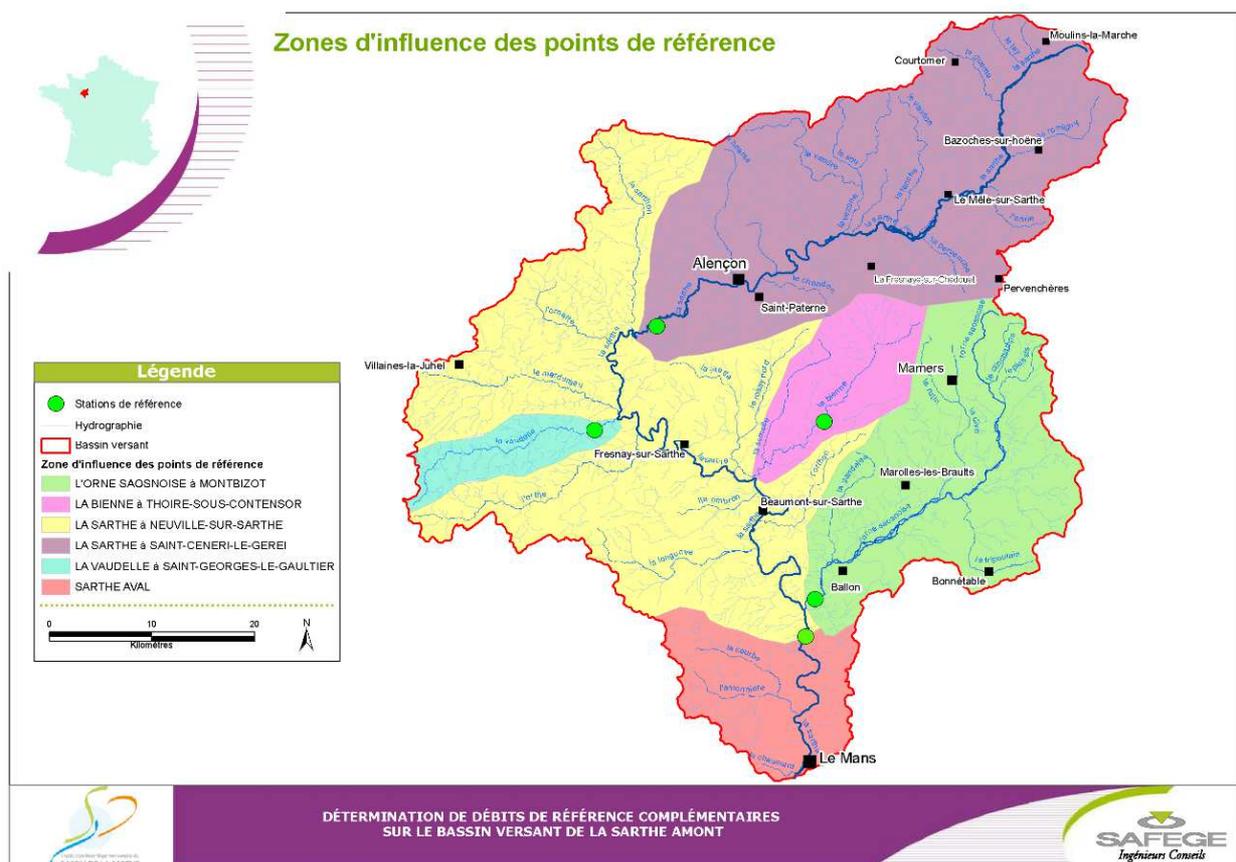


Figure 2 : Sectorisation utilisée lors de l'étude de détermination de débit de référence (Suez Consulting, 2015)

Néanmoins, il a été souligné lors du COTECH restreint du 21 septembre 2021 l'intérêt de considérer les unités des arrêtés cadre sécheresse (ACS) pour l'établissement des volumes prélevables. En effet, la sectorisation précédemment utilisée apparaît décorrélée des unités de mise en œuvre des arrêtés cadre :

Les arrêtés cadre de la Mayenne et de la Sarthe définissent un secteur comprenant la Vaudelle, le Merdereau, l'Orthe et l'Ornette, tandis que l'étude de 2015 définit un secteur associé à la Vaudelle seule. Par ailleurs, les stations de références diffèrent selon les départements :

- Dans l'ACS Mayenne (53) : la **Vaudelle à Saint-Georges-le-Gaultier**
- Dans l'ACS Sarthe (72) : le **Merdereau à Saint-Paul-le-Gaultier**

Il a ainsi été proposé de regrouper la Vaudelle, l'Ornette, le Merdereau et l'Orthe dans une unité de gestion « Affluents mayennais », respectant la délimitation des arrêtés cadre sécheresse de la Sarthe et de la Mayenne.

Les communes de bassin versant du Sarthon, affluent situé en aval de la station de Saint-Cénéri-le-Gerei – hors de la zone d'influence de cette dernière donc – sont rattachées à l'unité « Sarthe Amont » de l'ACS du département de l'Orne (61).

Enfin, la partie du territoire située en aval du point nodal de Neuville-Souillé, dont les prélèvements et restitutions n'avaient pas été comptabilisés lors de l'étude de 2015, est incluse dans l'unité dénommée « Sarthe Amont » dans l'ACS du département de la Sarthe. Afin que l'ensemble des prélèvements et rejets réalisés sur le périmètre du SAGE soient comptabilisés, il a ainsi été proposé de rattacher ce territoire à l'unité « Sarthe intermédiaire ».

Il convient de noter également que le point nodal du SDAGE correspond désormais à la Sarthe à Neuville-Souillé : les débits mesurés sur la période juin-octobre n'étant plus considérés comme fiables à la station de Neuville-sur-Sarthe (chasses du barrage de Neuville), la chronique de débit du point nodal provient de mesures à la station de Neuville-sur-Sarthe (novembre-mai) et de mesures à la station de Souillé (juin-octobre).

Par ailleurs, les objectifs 7 et 8 de l'étude visent une actualisation des débits seuils superficiels et un ajustement des volumes d'eau prélevables en eau superficielle, au droit des **points de référence réglementaires du bassin versant**, présentés précédemment, mais également, en cas d'affermissement de certaines tranches optionnelles, au droit **de points de référence complémentaires** :

Dans l'Orne : L'Hoëne à la Mesnière [La Foulerie]

En Mayenne : L'Ornette à Saint-Pierre-Des-Nids

Dans la Sarthe : L'Orthe à Douillet [Le Joly]

La sectorisation finale comprend ainsi **cinq unités de gestion (UG)** comprenant pour certaines des sous-unités de gestion :

La **Sarthe amont**, jusqu'à sa confluence avec le Sarthon (inclus), comprenant une SUG correspondant au bassin versant de l'Hoëne ;

Les **Affluents Mayennais**, regroupant les SUG de l'Ornette, du Merdereau, de la Vaudelle et de l'Orthe ;

La **Bienne** jusqu'à sa confluence avec la Sarthe ;

L'**Orne Saosnoise** jusqu'à sa confluence avec la Sarthe ;

La **Sarthe intermédiaire**, de sa confluence avec le Sarthon jusqu'à la limite du SAGE (confluence avec l'Huisne).

Cette délimitation est présentée sur la carte suivante.

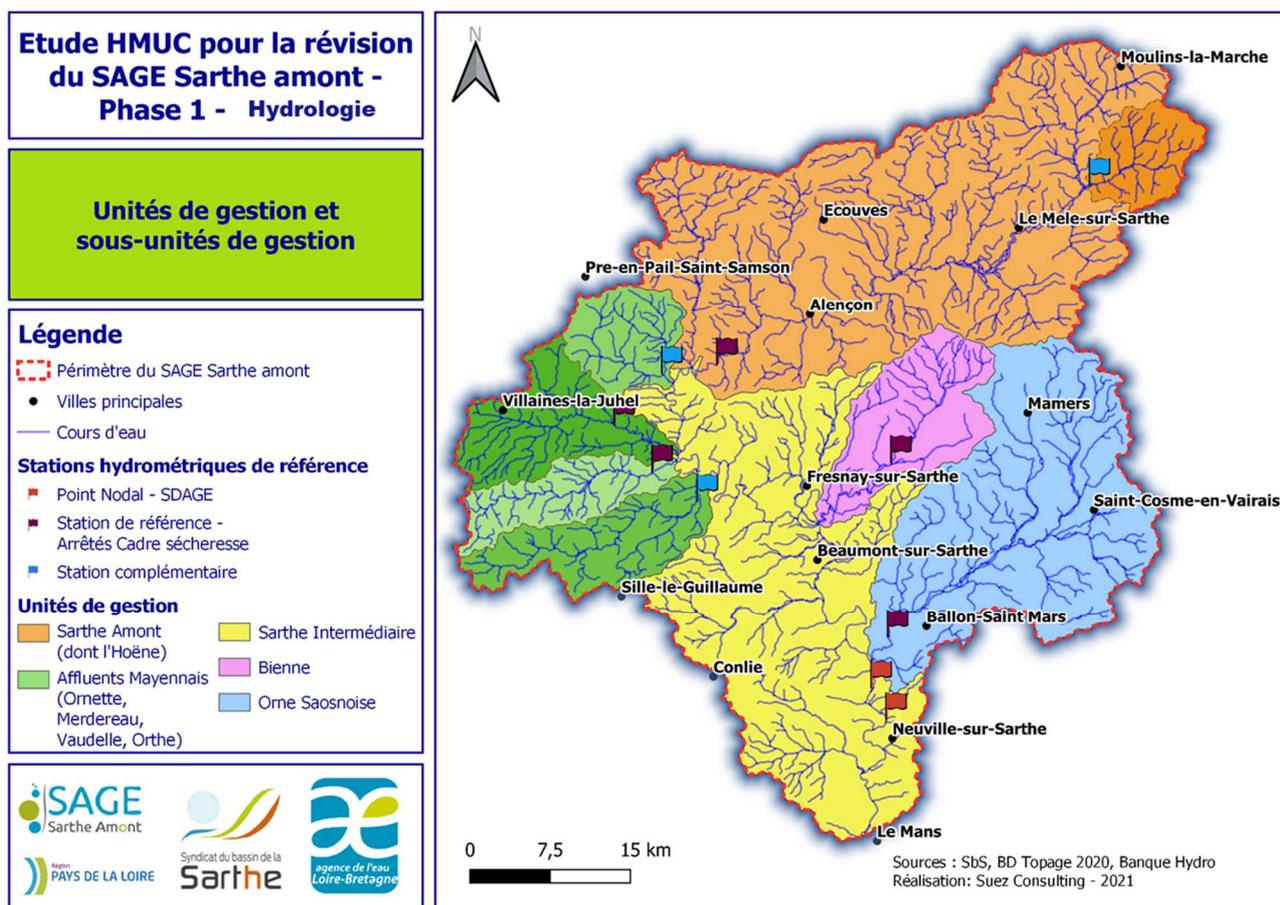


Figure 3 : Sectorisation en unités de gestion et sous-unités de gestion du bassin versant de la Sarthe amont (Source : SbS, Suez consulting 2022)

3. VOLET « USAGES »

3.1 Objectifs visés

Etablir, à l'échelle de chaque unité de gestion, le bilan des volumes d'eau prélevés du milieu naturel et rejetés vers ce dernier par les activités anthropiques :

- ❖ Sur la période 2000-2019 ;
- ❖ Au pas de temps annuel et mensuel ;
- ❖ Tout en caractérisant la ressource concernée (superficielle ou souterraine) ;
- ❖ En estimant les incertitudes liées à l'estimation des volumes concernés par chaque type d'usage.

Présenter l'évolution future de ces usages jusqu'à l'horizon 2050 d'après des scénarios d'évolutions des usages coconstruits avec les acteurs du territoire.

3.2 Eléments de méthode

- ❖ Collecte de données auprès des bases de données nationales et des acteurs du territoire ;
- ❖ Analyse des données et de leurs lacunes ;
- ❖ Elaboration concertée d'hypothèses de calcul visant à combler les lacunes observées, dans l'optique d'aboutir à un bilan exhaustif des usages de l'eau ;
- ❖ Qualification des incertitudes liées à la connaissance de chaque usage, sur la période actuelle et aux horizons futurs, en concertation avec les acteurs du territoire ;
- ❖ Réalisation de bilans, à l'aide des données récoltées et des hypothèses formulées :
 - Par type d'usage, à l'échelle du territoire d'étude ;
 - Par unité de gestion, tous usages inclus.

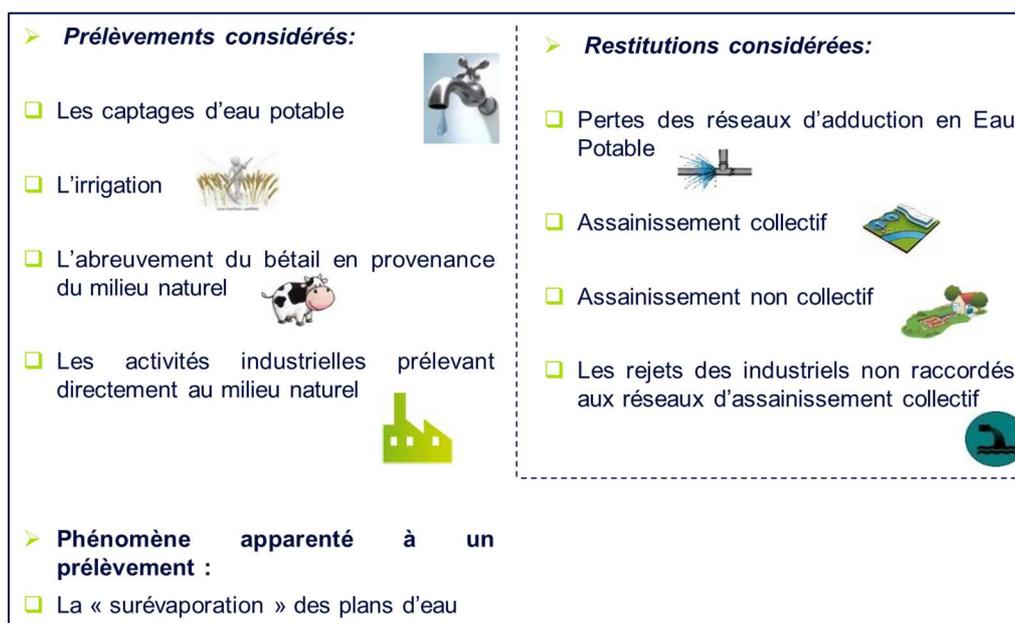


Figure 4 : Usages de l'eau considérés dans l'étude (Source : Suez Consulting, 2022)

L'usage « surévaporation des plans d'eau » mérite quelques explications complémentaires :

- ❖ Il s'agit de l'estimation pour l'ensemble des plans d'eau dont l'existence a une origine anthropique (qu'ils soient considérés connectés ou déconnectés du réseau hydrographique, voir hypothèses associées dans le rapport du volet « Usages »), du surplus d'évaporation occasionné par ces derniers, en comparaison à ce qu'évapotranspirerait une prairie de surface équivalente ;
- ❖ En effet, une surface d'eau libre présente un potentiel évaporatoire supérieur à celui d'une surface végétalisée. Ceci entraîne donc une soustraction d'un certain volume d'eau de l'hydrosystème.

3.2.1 Données valorisées et hypothèses retenues

Un large spectre de données ont été recueillies afin d'établir un bilan aussi précis que possible. Les données qui ont effectivement pu être valorisées sont présentées à l'annexe 1. Pour une vision plus exhaustive sur les données recueillies, se référer au **rapport du volet « usages »**.

3.2.2 Scénario coconstruit

Les évolutions des usages aux horizons futurs considérés sont présentées dans le tableau suivant. Ces changements de gestion permettront par la suite d'inférer les effets sur la ressource en eau à l'horizon 2050.

Tableau 2 : Scénarios d'évolution d'usages à l'horizon 2050 employés dans le cadre du volet « Usages »

	Prélèvements				
	AEP	Irrigation	Abreuvement	Industrie	Plans d'eau
Scénario tendanciel bas	130 L/jour/hab.	Substitution : 30% maïs fourrage pour du Sorgho et 30% blé tendre pour le Seigle ; Maintien de la SAU 2019	Consommations journalières identique à celle sur la période 2000-2019 ; Diminution continue de l'effectif de bovins sur le territoire d'après la baisse entre 2000 et 2010 ; Maintien des effectifs de caprins et ovins	Diminution (-15%) des volumes prélevés en 2019 sauf la CFR et l'entreprise Roxane	Maintien du nombre et surface des plans d'eau. Calcul de surévaporation basé sur les données du modèle climatique CNRM-CM5-LR / ALADIN63 suivant le scénario d'émission RCP 8.5
Scénario tendanciel médian	145 L/jour/hab.	Maintien des paramètres agricole de 2019	Consommations journalières augmentent de 10% due à la hausse des températures ; Mêmes effectifs que pour le scénario tendanciel bas	= Sc. tendanciel bas	= Sc. tendanciel bas
Scénario tendanciel haut	160 L/jour/hab.	Augmentation de 16,5% des volumes prélevés en 2019 et augmentation de 10% de la surface irriguée en 2019	Maintien des effectifs de 2019 ; Augmentation des besoins en eau journaliers (+10%)	Maintien des volumes prélevés en 2019 sauf la CFR et l'entreprise Roxane	Maintien du nombre et surface des plans d'eau. Calcul de surévaporation basé sur les données du modèle climatique CNRM-CM5-LR / ALADIN63 suivant le scénario d'émission RCP 4.5

	Restitutions			
	Pertes AEP	AC	ANC	Industries
Scénario tendanciel bas	Dotation hydrique suivant les évolutions envisagées pour les prélèvements AEP ; Rendements objectifs à atteindre en 2050 par les syndicats et gestionnaires (voir rapport volet "usages")	Ratio volumes AC / volumes AEP calculé sur la période 2009-2019 appliqué aux volumes AEP projetés		Diminution de 15% des volumes rejetés en 2019 sauf CFR
Scénario tendanciel médian				= Sc. tendanciel bas
Scénario tendanciel haut				Maintien des volumes rejetés en 2019 sauf CFR

3.3 Résultats obtenus

3.3.1 Population

En 2019, la population du périmètre du SAGE Sarthe amont est estimée à environ 228 000 habitants pour une superficie de 2 882 km². La densité de population moyenne sur l'ensemble du territoire est de 79 habitants /km² pour une moyenne nationale de près de 106 habitants / km² en 2019. La répartition de cette population sur le territoire montre deux zones marquées par une densité importante de population : Alençon et le Mans, ainsi que leurs agglomérations.

La population à l'horizon 2050 du périmètre est estimée à environ **233 250 habitants** (soit une densité de population d'environ 81 habitants / km²). Cela correspond à une **croissance de +2,3% de la population** entre 2019 et 2050.

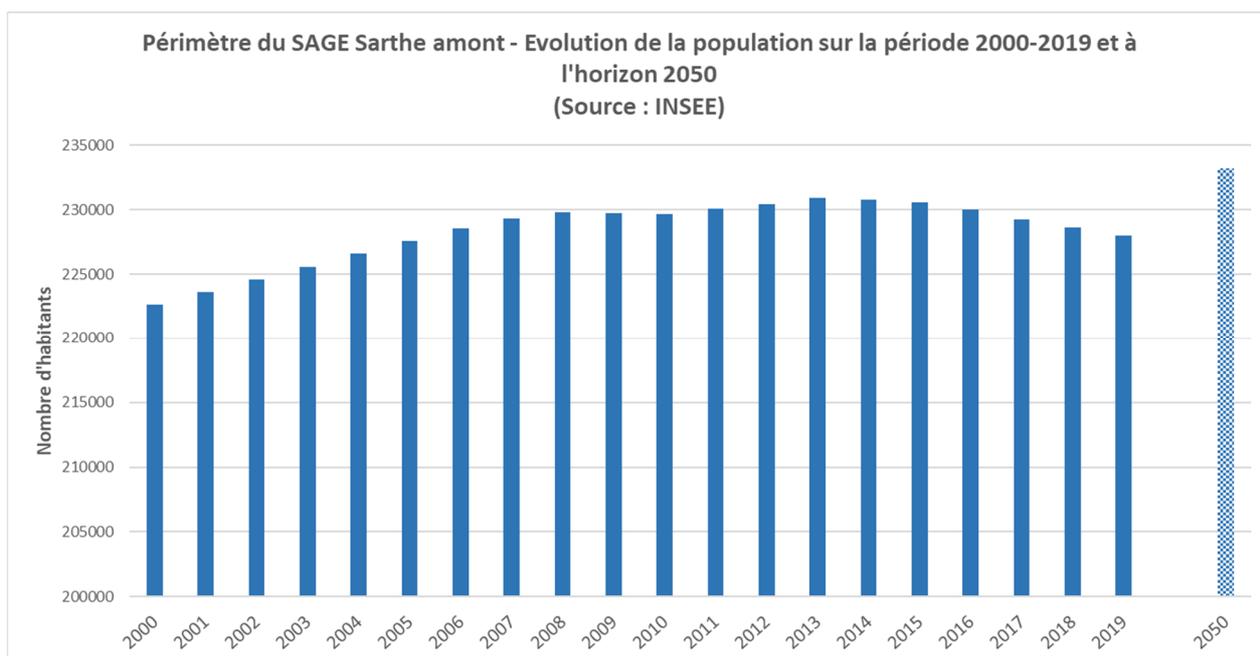


Figure 5: Périmètre SAGE Sarthe amont - Evolution de la population de 2000 à 2019 et à l'horizon 2050 (source : INSEE, SUEZ Consulting 2020)

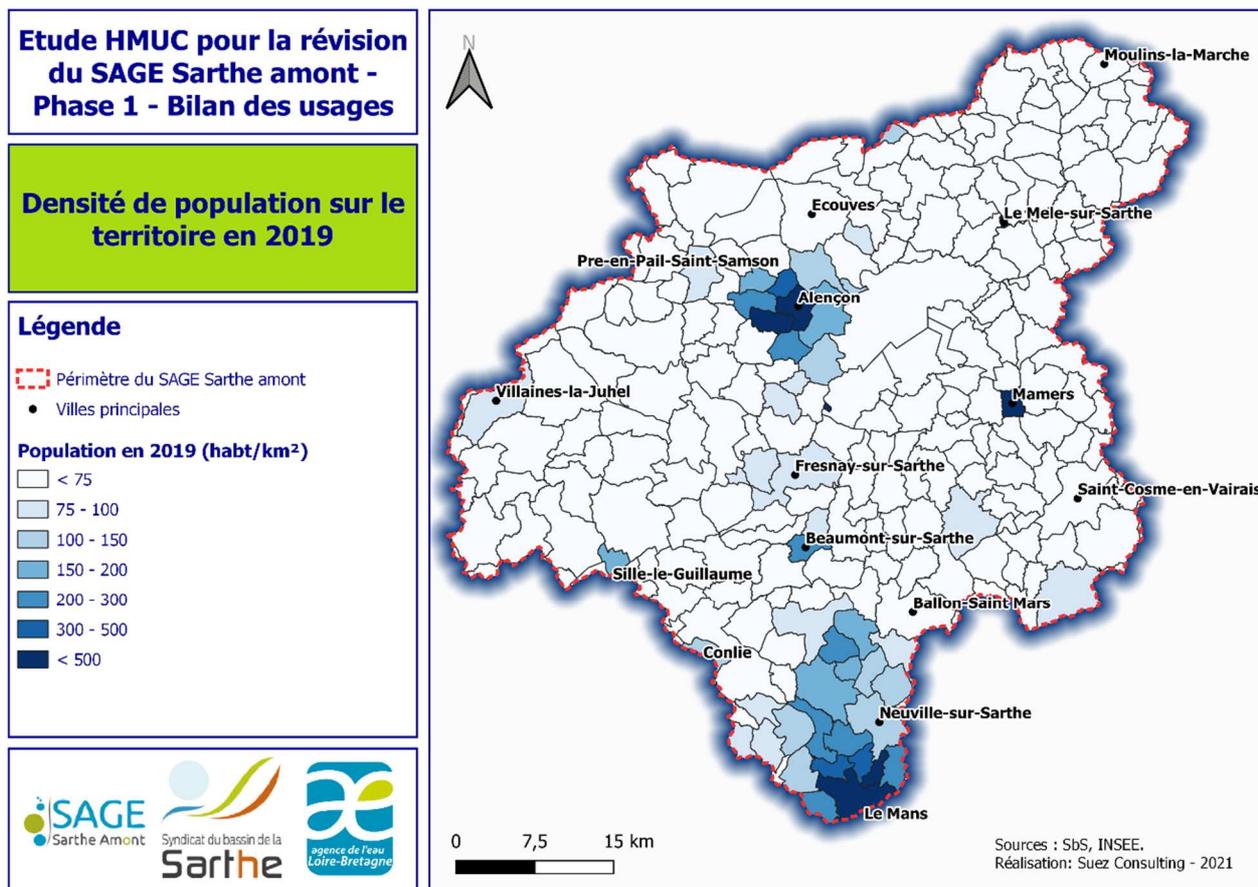


Figure 6 : Périmètre SAGE Sarthe amont – Densité de population en 2019 (Source : INSEE, SbS, SUEZ Consulting 2021)

3.3.2 Usages à l'échelle du territoire SAGE Sarthe amont

3.3.2.1 Prélèvements

Le tableau et les graphiques suivants dressent le bilan des prélèvements effectivement réalisés sur le bassin pour :

- ❖ Les besoins en eau potable ;
- ❖ Les besoins agricoles : irrigation et abreuvement du bétail ;
- ❖ Les besoins industriels ;
- ❖ La sur-évaporation due à la présence des plans d'eau artificiels.

Ainsi, **environ 21 Mm³ d'eau ont été prélevés au milieu naturel en moyenne sur la période 2000-2019.**

- ❖ L'usage majoritaire est l'**AEP avec 65% du volume moyen prélevé entre 2000 et 2019**, suivi par la **surévaporation des plans d'eau et l'irrigation** (respectivement 15% et 10% du volume moyen prélevé entre 2000 et 2019) ;

- ❖ L'évolution interannuelle des prélèvements pour l'AEP est relativement constante sur la période d'étude. Les usages agricoles et les pertes par surévaporation des plans d'eau fluctuent beaucoup et dépendent du climat de l'année considérée ;
- ❖ La répartition mensuelle des prélèvements est uniforme, sauf pour les prélèvements agricoles et la surévaporation des plans d'eau. En effet, ces usages dépendent du climat et varient ainsi substantiellement au cours d'une année ; ils sont généralement plus faibles en période hivernale et plus marqués en période estivale.
 - La sous-unité de gestion de l'Orthe est celle subissant la plus forte pression anthropique
 - Les prélèvements se font en grande majorité, toutes UG confondues, dans le cours ainsi que les nappes d'accompagnement.
 - Les prélèvements pour l'industries restent à la marge sur le territoire d'étude bien que ceux-ci soient plus marqué sur l'UG Sarthe amont.
 - Les prélèvements liés à l'irrigation et à la surévaporation des plans sont équivalents et restent concentrés en période estival
- ❖ La part prélevée dans le milieu souterrain est faible sur l'ensemble du territoire mais particulièrement marquée sur l'UG Sarthe intermédiaire
- ❖ La concomitance de prélèvements plus marqués et de rejets plus faibles en période estivale fait de cette saison la plus impactante, en termes de prélèvements nets ;
- ❖ Les **tendances d'évolution future des prélèvements** sont régies par l'évolution à la hausse de la population, des besoins en eau domestiques (dotation hydrique), des besoins agricoles et industriels. La surévaporation des plans d'eau dépend principalement des données des scénarios climatiques futures provenant du portail DRIAS qui dépendent de nombreux paramètres dont les prévisions sont complexes (températures, précipitations, répartition annuelle, scénario de forçage anthropique, etc...) et qui montre **une tendance à l'augmentation de l'ETP (évapotranspiration). Ce contexte de changement climatique nous amène à devoir anticiper des situations de sécheresse estivale plus marquées.**

3.3.2.2 Restitutions

Les tableaux et graphiques suivants dressent le bilan des restitutions au milieu naturel réalisées sur le bassin pour :

- ❖ Les pertes de réseau d'alimentation en eau potable AEP
- ❖ Les rejets d'assainissement collectif (AC)
- ❖ Les rejets des installations d'assainissement non collectif (ANC)
- ❖ Les rejets industriels.

Ainsi, près de **10 millions de m³ d'eau ont été restitués au milieu naturel en moyenne entre 2000 et 2019.**

- ❖ Le type de restitution majoritaire est l'**assainissement collectif**. Ce type de restitution représente environ **76% de l'ensemble des rejets** du territoire, en moyenne sur la période 2000-2019. **Les pertes AEP** représentent **1%** des rejets moyens, l'ANC quant à lui **7%** de l'ensemble ;
- ❖ **Les rejets industriels** constituent les **plus faibles types de restitutions** avec **4%** du volume moyen restitué ;
- ❖ Les restitutions au milieu naturel sont **en totalité superficielles** ;

- ❖ La **variabilité interannuelle** des restitutions reste **modérée**. Le type de prélèvement faisant le plus varier les volumes annuels est, en tout état de cause, **l'assainissement collectif**. A noter que les rejets liés aux pertes AEP sont considérés comme étant nul entre juillet et octobre (évaporation totale)
- ❖ La répartition mensuelle des restitutions est homogène entre toutes les unités de gestion du territoire d'étude. Les rejets sont constants du mois d'octobre à avril pour ensuite diminuer entre les mois de mai et septembre ;
- ❖ **Les tendances d'évolution future des restitutions sont assez à la baisse pour le scénario tendanciel bas et à la hausse suivant les deux autres scénarios** en comparaison avec la fin de la période d'analyse (2000-2019)

1.1.1.1 Prélèvements nets

Sur un bassin versant donné, le prélèvement net correspond à la somme des prélèvements, soustraite de la somme des rejets y ayant lieu.

Les **volumes restitués** au milieu naturel représentent en moyenne **47% des volumes prélevés** sur la période 2000-2019. Le bilan quantitatif réalisé ici montre un **prélèvement net** de plus de **11,1 millions de m³** chaque année pour les usages anthropiques

Il n'y a que sur la SUG du Merdereau que les restitutions sont plus importantes que les prélèvements avec une restitution nette moyenne de 50 m³/km² entre 2000 et 2019. Ceci s'explique notamment par les importations de volume AEP en provenance des sous-bassins voisins. Toutes les autres SUG montrent un prélèvement net positif.

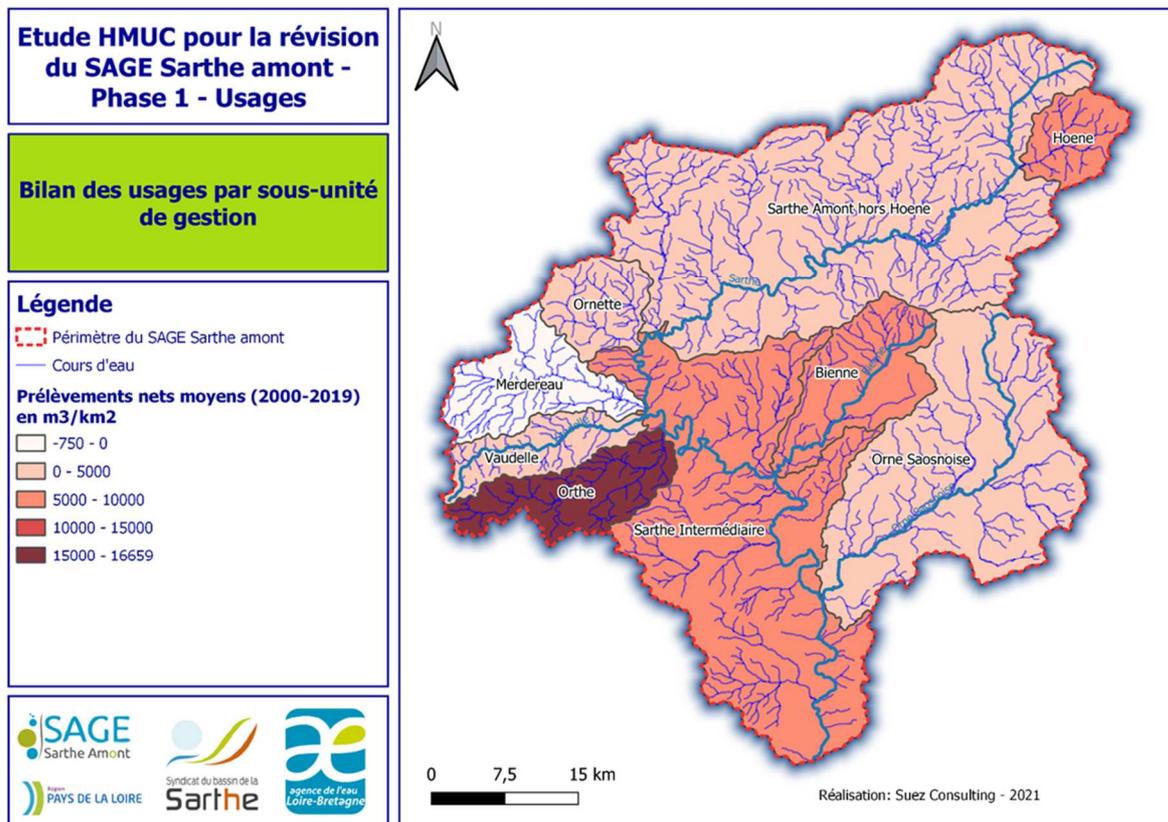


Figure 7 : Prélèvements nets moyens calculé par UG sur la période 2000-2019

3.3.3 Répartition des usages à l'échelle des unités de gestion

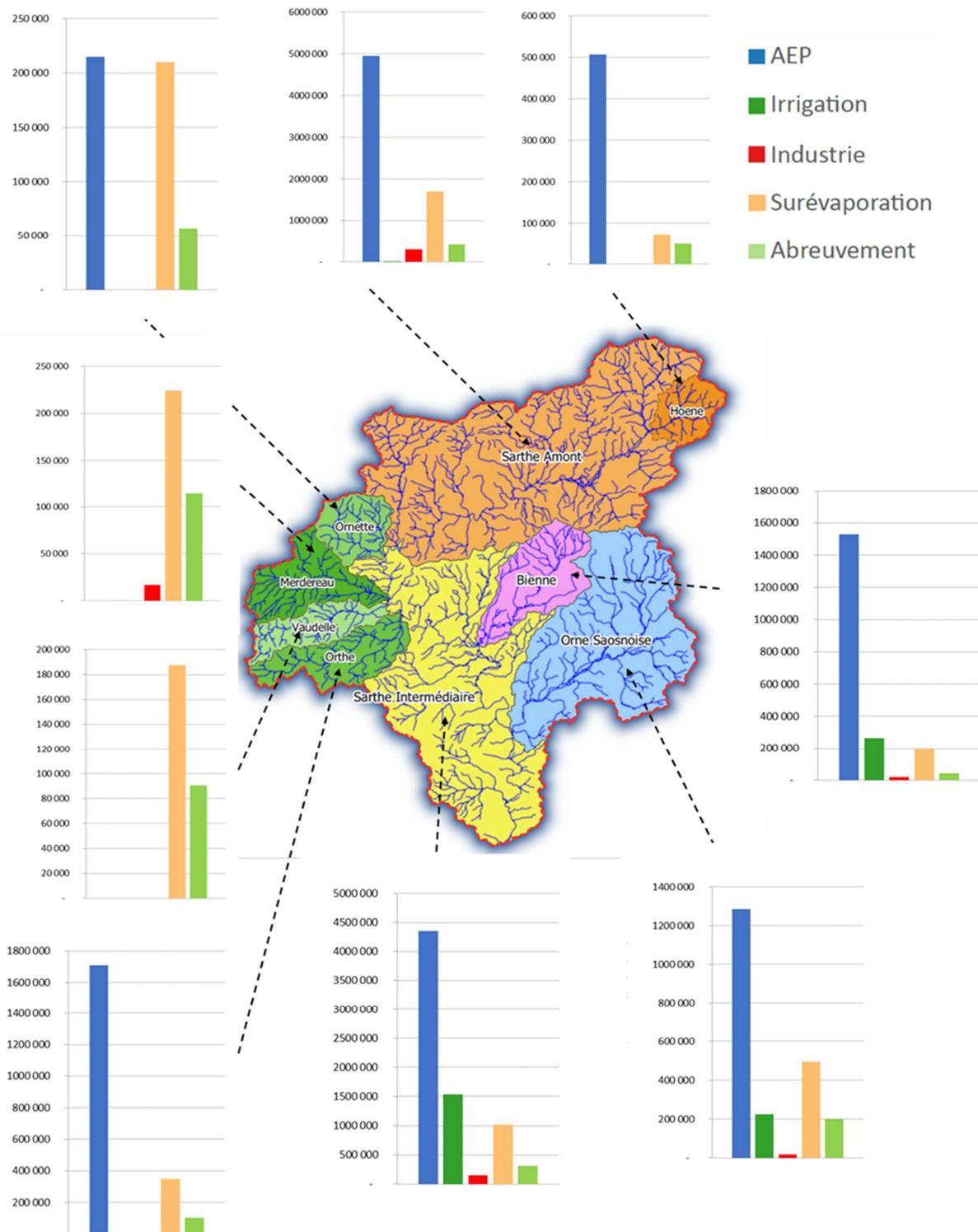


Figure 8 : Prélèvements en m³ représentés par SUG et par usages pour l'année 2019

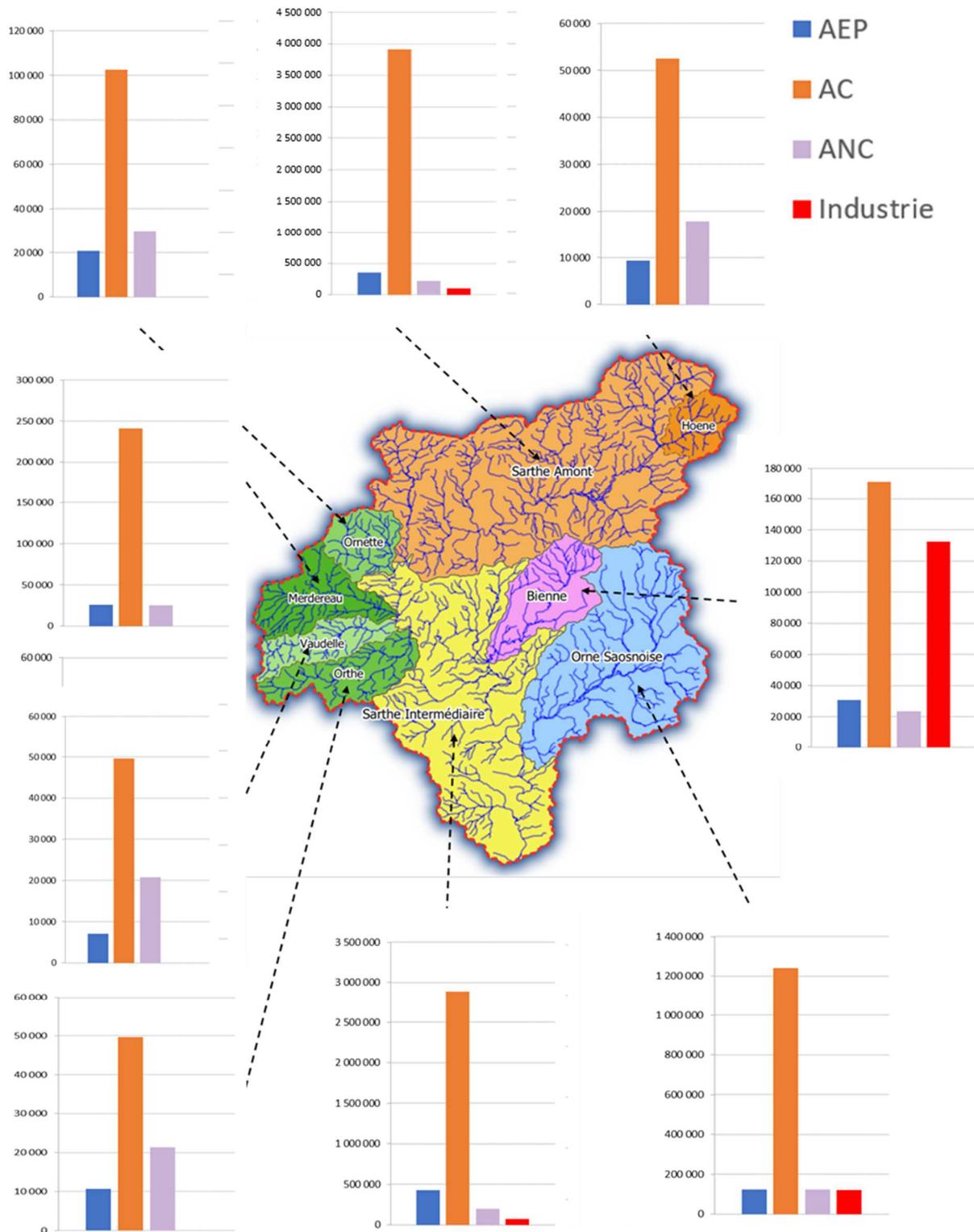


Figure 9 : Rejets en m³ représentés par SUG et par usages pour l'année 2019

4. VOLET « HYDROLOGIE »

Note préalable : le volet « Hydrologie » faisant intervenir des notions complexes non définissables par un simple glossaire, le lecteur est invité à consulter l'annexe 2 qui définit ces notions, avant d'en commencer la lecture.

4.1 Objectifs visés

- ❖ Apporter une compréhension approfondie du fonctionnement hydrologique et hydrogéologique du territoire du SAGE Sarthe amont, ainsi que des interactions nappe-rivière, à l'échelle de chaque unité de gestion, depuis la moitié du XXème siècle jusqu'à aujourd'hui, et plus en particulier sur la période 2000-2019 ;
- ❖ Evaluer l'effet des usages anthropiques de l'eau sur l'hydrosystème à l'aide d'une reconstitution de l'hydrologie désinfluencée de ces derniers, réalisée par modélisation hydrologique.
- ❖ Dans un premier temps, une analyse du climat (analyse hydro-climatique) sur la période d'étude (2000-2019) est réalisée à l'aide de données MétéoFrance, afin de connaître et comprendre, au niveau de chaque unité de gestion, les évolutions des principaux précurseurs de la ressource en eau disponible ; **la pluviométrie et l'évapotranspiration** ;
- ❖ Par la suite, une analyse du fonctionnement hydrogéologique est réalisée à partir des études disponibles et d'une campagne piézométrique menée dans le cadre de l'étude afin de :
 - Caractériser les nappes en présence ;
 - Comprendre et caractériser l'évolution de leur niveau ;
 - Comprendre et caractériser les interactions nappe-rivière.
- ❖ Ensuite, une analyse des indicateurs disponibles concernant l'hydrologie des cours d'eau est réalisée à l'aide des données du réseau hydrométrique français, de l'Observatoire National Des Etiages et des outils en place pour la gestion de crise. Ceci permet de :
 - Caractériser le fonctionnement actuel des cours d'eau, en lien avec l'analyse climatique et hydrogéologique déjà menées ;
 - Pré-identifier les points sensibles du territoire d'étude.
- ❖ Finalement, les données météorologiques, hydrométriques, piézométriques et le bilan des usages réalisé dans le cadre de l'étude sont valorisés dans le cadre d'une modélisation permettant de reconstituer les débits et niveau de nappe qui auraient lieu en l'absence d'usages anthropiques de l'eau (on parle d'hydrologie désinfluencée). Cette modélisation (dont les modalités sont décrites à l'annexe 3) permet de caractériser, au niveau de chaque unité de gestion, la pression exercée par les usages sur la ressource en eau (débits et niveaux de nappes), en particulier en période d'étiage.

4.2 Résultats obtenus

4.2.1 Analyse hydro-climatique

La zone d'étude se situe dans une région caractérisée par un **climat océanique tempéré**¹. Ce dernier présente des **hivers plutôt doux** et des **étés plutôt chauds**. Le territoire est soumis à deux influences prédominantes :

- ❖ L'influence atlantique qui se traduit par un climat océanique humide ;
- ❖ L'influence méridionale qui se traduit par des étés secs et chauds, notamment dans la partie est du bassin versant.

La pluviométrie ainsi que l'évapotranspiration potentielle (ETP) ont pu être analysées à l'aide des données recueillies aux stations présentées sur la figure ci-dessous.

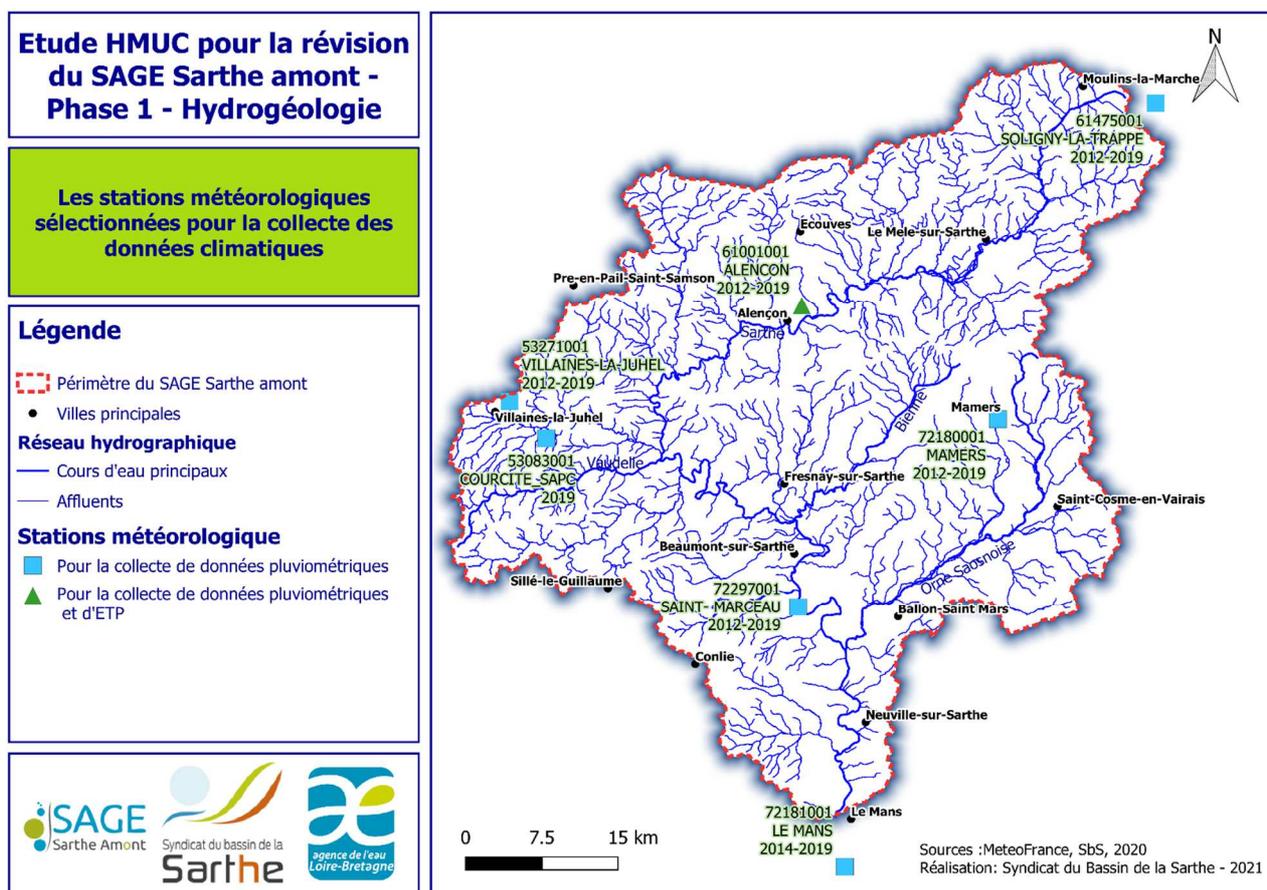


Figure 10 : Localisation des stations météorologiques retenues pour l'étude (Source : MétéoFrance, SbS, SUEZ Consulting 2021)

¹ D'après la carte Météo France des climats de Métropole : <http://www.meteofrance.fr/climat-passe-et-futur/climat-en-france/le-climat-en-metropole>

L'alternance entre les années sèches et pluvieuses sur les 20 dernières années ne permet pas d'évaluer de manière pertinente une évolution des pluies moyennes annuelles. Cependant, l'analyse de l'évolution des pluies moyennes mensuelles entre 2000-2011 et 2012-2019 a permis de dégager certaines tendances : en période estivale, les pluies ont légèrement augmenté sur la dernière décennie (à l'exception du mois de juillet) tandis que sur le reste de l'année, les pluies ont tendance à diminuer.

L'ETP, quant-à-elle, augmente significativement de +4% entre 2008 et 2015 et de +6% entre 2015 et 2019. L'analyse des évolutions mensuelles de l'ETP entre 2000-2011 et 2012-2019 fait ressortir les constats suivants : l'ETP augmente entre les deux périodes sur la majorité de l'année à l'exception des mois de printemps au cours desquelles elle diminue faiblement.

Le croisement des évolutions des pluies et de l'ETP moyennes mensuelles entre les deux périodes explique la baisse de l'excédent pluviométrique sur les mois hivernaux et automnaux, la baisse du déficit sur les mois d'avril à juin et son aggravation au mois de juillet, août et septembre.

4.2.2 Analyse du fonctionnement hydrologique

4.2.2.1 Analyse des débits mesurés

Le périmètre SAGE Sarthe amont compte **16 stations hydrométriques** dont **11 sont actuellement efficientes** :

- ❖ 10 stations hydrométriques efficientes sont gérées par la DREAL Pays de la Loire ;
- ❖ Une station hydrométrique efficiente est gérée par la DREAL Normandie (M0014110 - L'Hoëne à la Mesnière [La Foulerie]) ;

La caractérisation hydrologique du périmètre d'étude sur 2000-2020 se base sur l'analyse des chroniques de débits mesurés à 10 stations de référence. Ces 10 stations de référence sont localisées en aval des unités et sous unités de gestion et sont classées en deux groupes :

- ❖ 6 stations de référence permettent de caractériser le régime hydrologique de 5 unités de gestion réglementaire ;
- ❖ 4 stations de référence permettent de caractériser le régime hydrologique de 4 sous unités de gestion

La carte ci-après localise les 10 stations de référence.

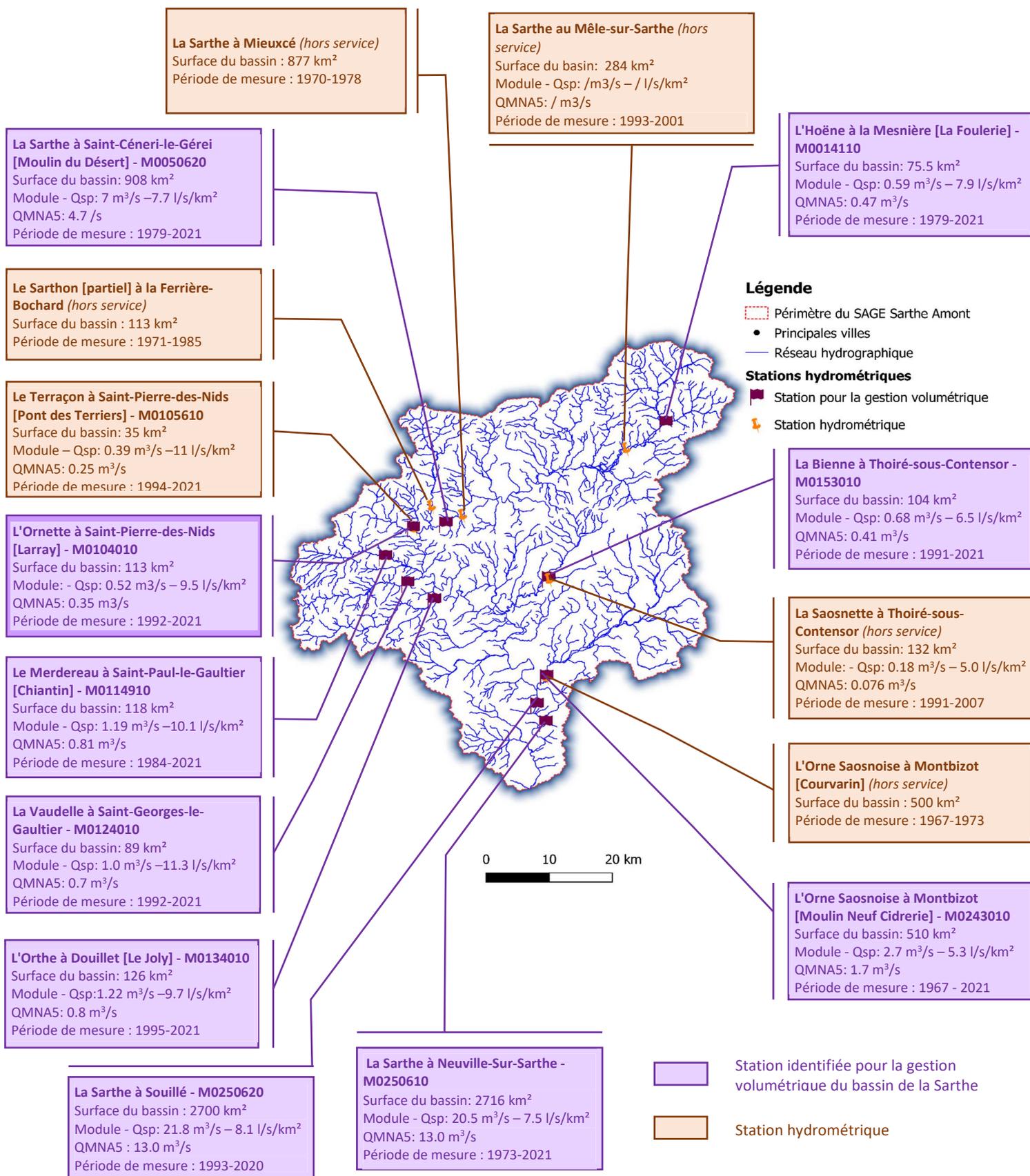


Figure 11: Localisation des stations hydrométriques de la DREAL Pays de Loire et de la DREAL Normandie sur le bassin de la Sarthe amont (Sources : Banque Hydro, SbS, SUEZ Consulting 2021)

L'analyse des chroniques de débits aux stations présentées ci-dessus ont permis le constat suivant :

- ❖ Le régime hydrologique du bassin versant est fortement contrasté et présente les variations saisonnières importantes. Les cours d'eau sont réactifs aux épisodes pluvieux : en période hivernale et automnale, mois sur lesquels le cumul de pluviométrie sont les plus importants, les débits mensuels sont supérieurs au module. A l'inverse, sur les mois où les cumuls de pluie sont plus faibles, les débits sont inférieurs au module. Ainsi, le cycle hydrologique du bassin versant de la Sarthe Amont correspond à un régime pluvial simple.
- ❖ Les débits spécifiques les plus bas pour l'ensemble des stations s'observent sur les mois d'août et de septembre (la période d'étiage). Ils sont compris entre 1 et 4.2 L/s/ km². Les débits spécifiques mesurés les plus bas sont mesurés aux stations de l'Ornette à Saint-Pierre-Des-Nids, l'Orne Saosnoise à Montbizot et à la Sarthe à Souillé. Par conséquent, les étiages sont plus marqués sur les bassins versants associés à ces stations que sur le reste du périmètre SAGE.
- ❖ Sur l'Ornette, les étiages sont marqués car les débits spécifiques sont de l'ordre de 1 L/s/ km². Pour les autres cours d'eau suivis les débits indiqués ne laissent pas présager, à ce stade, d'étiage particulièrement sévère.
- ❖ Les étiages semblent relativement peu marqués sur le territoire du SAGE de la Sarthe Amont. Toutefois, les débits d'étiage peuvent être faibles sur certaines unités de gestion principales, notamment la Bienne et la Vaudelle. Ces cours d'eau peuvent être impactés par le déficit pluviométrique lors des périodes sèches notamment au mois de juillet.
- ❖ Les valeurs de QMNA5 enregistrées représentent entre 9 et 15% du module des cours d'eau au droit des stations hydrométriques des unités de gestion réglementaire. Le bassin versant de la Sarthe amont n'apparaît donc pas comme particulièrement critique en période d'étiage comparé à certains territoires du bassin Loire-Bretagne. En effet, sur certains secteurs considérés comme sensibles en étiage (Oudon, Lay, Layon, Clain...), le QMNA5 représente en moyenne moins de 5% du module.
- ❖ Concernant les sous-unités de gestion, on constate que les cours d'eau de l'Hoëne et l'Orthe ne sont pas sensibles en période d'étiage puisque les rapports du QMNA5 sur le module sont respectivement de 40 et 20%. Le Merdereau peut être qualifié de légèrement sensible à l'étiage : le QMNA5 représentant 8% du module. Enfin, le sous-secteur de l'Ornette est critique en période d'étiage puisque que le rapport est de 1%.

4.2.2.2 Analyse du réseau ONDE

Sur les 23 stations ONDE, 11 stations présentent des observations d'écoulements visibles faibles et d'écoulements non visibles sur la période 2014-2020.

Aucun n'assec a été observé sur les 23 stations entre 2014 et 2020 sur le périmètre SAGE Sarthe amont.

Les résultats ci-dessus et leurs analyses dans les paragraphes suivants sont à prendre avec précaution pour plusieurs raisons : nous traitons d'observations visuelles (donc incluant un degré de subjectivité des observateurs), des années n'ont pas fait l'objet d'observations sur certaines stations (maximum 4 ans), et ces observations sont effectuées au niveau de stations sur les cours d'eau (ces observations peuvent ne pas être représentatives de l'intégralité du cours d'eau).

En comparant les fréquences d'observations des écoulements de 2004 à 2012 (cf. Etude de détermination des débits de référence de 2015) à celles de 2014-2020 (cf. paragraphe précédent), on observe les évolutions suivantes :

- La tête du bassin versant (sous-bassin de la Sarthe à Saint-Céneri-le-Gérei) apparaît vulnérable en période d'étiage sur la dernière décennie. Par ailleurs, cette sensibilité concerne la plupart des cours d'eau sur lesquels des observations sont faites.
Des anomalies d'écoulement (non visibles et visibles faibles) sont observées sur la période 2014-2020 sur l'ensemble des cours d'eau de la tête du bassin versant alors que sur la période 2004-2012, seuls le Cuissai et la Vandré étaient concernés par des absences d'écoulement et des assecs.
Les nouveaux cours d'eau affectés sont : la Tanche avec des écoulements visibles faibles constatés un peu plus d'une année sur 3, la Fresbée avec des écoulements visibles faibles constatés une année sur 3. Il est difficile de conclure sur une réelle vulnérabilité du ruisseau de Neauphe puisqu'une seule année sur 7 a fait l'objet d'une observation d'un écoulement non visible.
- Globalement, la majorité des cours d'eau constituant le bassin de la Sarthe à Neuville-sur-Sarthe demeurent peu sensibles en période d'étiage, cependant quelques cours d'eau font figures d'exception : on note peu de changement dans les fréquences d'observation des écoulements perturbés sur les cours d'eau du Rosay Nord, du Rocher Reine et du Deffays. Aussi, ces cours d'eau restent peu sensibles en période d'étiage sur la période 2014-2020. En revanche, il semble que le cours d'eau de l'Ornette soit nettement plus sensible sur la période 2014-2020 que sur la période 2004-2012 puisque les fréquences d'observation des écoulements non visibles et visibles faibles augmentent (respectivement 1 année sur 3 et 1 année sur 2).
Le Terrançon fait figure d'exception, alors qu'il était qualifié de sensible en période d'étiage sur la période 2004-2012, aucune observation d'anomalie sur les écoulements est constatée sur 2014-2020.
- Le sous bassin la Vaudelle ne semble pas concerné par les perturbations d'écoulements : aucune perturbation enregistrée à la station d'Izé.
- Le sous bassin de l'Orne Saosnoise demeure peu sensible au période d'étiage. Ainsi, aucune observation de perturbation des écoulements n'est observée aux stations de Rutin et de l'Orne. Concernant le cours de la Gandelée, il semble que sur la période 2014-2020, le cours d'eau montre moins de sensibilité en période d'étiage que lors de la période 2004-2012.
- Le cours d'eau de l'Antonnière n'apparaît pas sensible à l'étiage d'après les observations faites sur la période 2014-2020 contrairement aux observations effectuées sur la période 2004-2012.

Les observations des écoulements non visibles et insuffisants pour un bon fonctionnement biologique du cours d'eau sont présentes sur une période étendue : de juin à septembre.

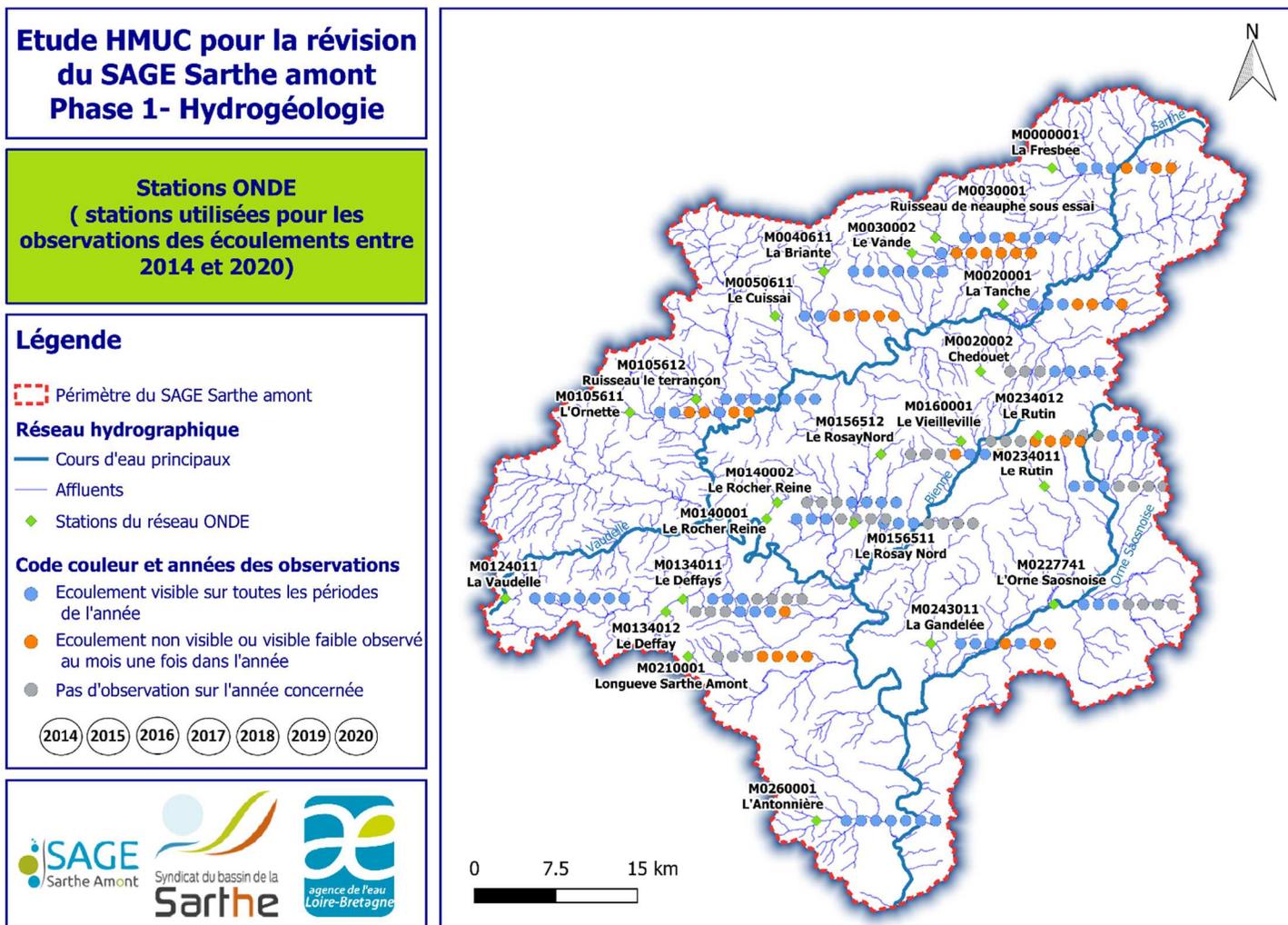


Figure 12 : BV Sarthe amont - Localisation des stations ONDE et bilan 2014-2020 des observations (Sources : SbS, OFB, SUEZ Consulting 2021)

4.2.2.3 Analyse des arrêtés de restriction

L'historique des arrêtés sécheresse pris sur le bassin versant donne un aperçu de l'état quantitatif des cours d'eau.

Sur le bassin versant, la période de restriction des usages varie selon les années mais peut s'étendre sur plusieurs mois consécutifs. **Les périodes les plus critiques** couvrent en général **les mois de juillet à septembre**.

Sur le bassin de la Sarthe amont, **les niveaux d'alerte renforcée ou d'interdictions des usages de l'eau** (sauf usages prioritaires) sont déclenchés **environ une année sur deux**. Les périodes d'étiages apparaissent donc problématiques vis-à-vis des usages sur le territoire.

Il apparaît que **certains sous-secteurs** sont plus vite **impactés lors des périodes d'étiage** que d'autres : la Vaudelle, l'Ornette, le Merdereau, l'Orthe et la Bienne.

4.2.3 Analyse du fonctionnement hydrogéologique et des interactions nappe-rivière

4.2.3.1 Les formations aquifères

La nature des roches formant le socle Armoricaïn (roches métamorphiques peu perméables) favorise une réponse rapide à la pluviométrie (débits importants en période hivernale – faibles débits d'étiage). Le contexte hydrogéologique de ces formations ne permet pas l'existence de grands aquifères.

Parmi les formations géologiques sédimentaires du bassin parisien, plusieurs constituent des aquifères d'importance. Ainsi, les niveaux sablo-graveleux de la base du Cénomaniën (Crétacé supérieur) constituent l'aquifère le plus intéressant du département pour la ressource en eaux souterraines.

Les dépôts alluvionnaires récents de la vallée de la Sarthe renferment une nappe alluvionnaire, très productive mais sensible aux pollutions.

Les éléments présentés ci-dessous sont, pour une large part, repris de l'étude du BRGM de 2007 : « *Étude des risques d'inondation par remontées de nappes sur le bassin de la Maine* ».

Le bassin versant de la Sarthe Amont contient trois grands types de gisements d'eau souterraine :

- ▷ Des nappes de socles, en général de petite extension,
- ▷ Des nappes sédimentaires libres, d'extension variable,
- ▷ Des nappes sédimentaires captives.

Des circulations karstiques peuvent être localement envisagées sur le bassin versant.

Les nappes alluviales constituent un type particulier de nappes, formées par les grands épandages de sables et graviers des rivières. Elles sont par nature le lieu privilégié des échanges entre les cours d'eau et les autres grandes nappes libre plus profondes.

Les principaux gisements d'eaux souterraines du bassin versant de la Sarthe Amont sont présentés dans la Figure 13 suivante.

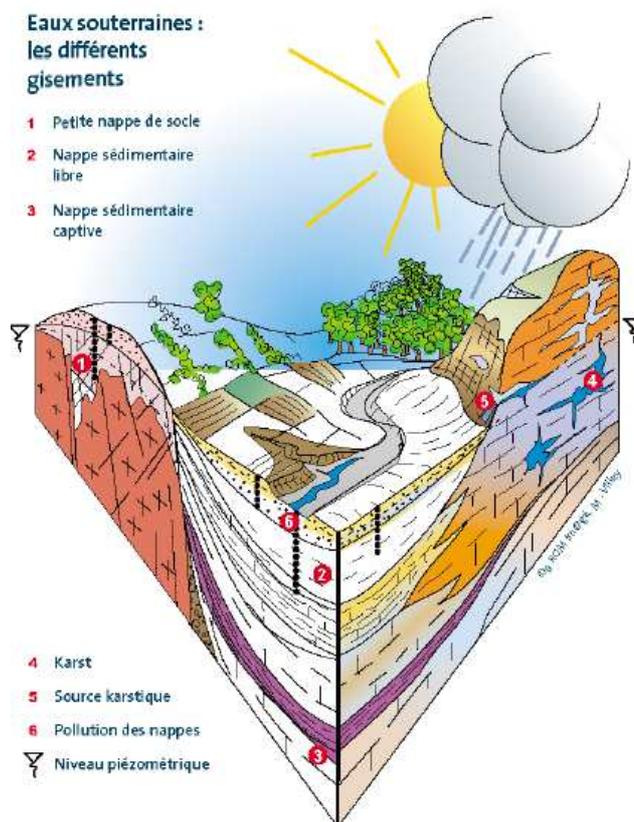


Figure 13 : Principaux gisements d'eaux souterraines du bassin versant de la Sarthe Amont (source : BRGM)

4.2.3.1.1 Eaux souterraines en contexte de socle

Dans les terrains de socle, la productivité des aquifères est étroitement liée à la présence d'altérites et au degré de fracturation des niveaux sous-jacents. Les altérites qui se caractérisent par une forte porosité et une faible perméabilité constituent un réservoir qui alimente l'horizon fissuré par drainance. Ce dernier est généralement beaucoup plus perméable en raison de l'interconnexion des fissures qui favorise la circulation des eaux souterraines. C'est dans cet horizon que les venues d'eau sont les plus importantes.

Un système aquifère en domaine de socle est à la fois **un réservoir** capable d'emmagasiner des volumes plus ou moins importants d'eau **provenant des pluies infiltrées**, et **un conducteur** permettant les **écoulements souterrains et la vidange progressive du réservoir vers des exutoires naturels** que sont les rivières. En domaine de socle ces deux fonctions sont le plus souvent séparées :

- ▷ Le rôle de réservoir est assuré principalement grâce à l'altération de la roche en place. ;
- ▷ L'eau souterraine circule surtout par le réseau de fissures et de fractures existant plus bas, dans la roche « saine » ou moins atteinte par l'altération.

Les eaux souterraines sont donc situées au sein de deux aquifères superposés et en contact permanent : celui des altérites et celui du milieu fissuré.

4.2.3.1.2 Eaux souterraines en contexte sédimentaire

A. Nappe de la Craie

Le Crétacé supérieur, du Sénonien au Cénomanién, est constitué de Craie franche dans sa partie supérieure, de plus en plus marneuse à partir du Turonien, vers le bas.

La nappe de la Craie est drainée par les cours d'eau et est en continuité avec les nappes alluviales. Les fluctuations saisonnières et interannuelles sont importantes. Des phénomènes karstiques peuvent se développer localement.

B. Nappe des Sables du Perche

Les Sables du Cénomanién supérieur, dits du Perche, forment les meilleurs aquifères du bassin versant en termes de productivité.

Les variations piézométriques de l'aquifère sont d'amplitude faible (2 à 3 mètres), avec parfois une tendance pluriannuelle peu marquée.

Cette nappe affleure dans la partie Est du bassin versant.

C. Nappe des Calcaires du Jurassique

Le calcaire étant intrinsèquement compact, les forages ne sont productifs que lorsque celui-ci est fracturé, comme le long des accidents armoricains NW-SE.

L'amplitude de battements de ces nappes est faible, pluri-métrique sans variations interannuelles notables compte-tenu d'un important drainage par les cours d'eau qui les traversent.

Deux nappes circulent dans les formations calcaires jurassiques :

- ▷ La nappe du Dogger (Bajocien-Bathonien.) ;
- ▷ La nappe du Malm (Oxfordien).

Elles sont individualisées par les niveaux marneux imperméables calloviens. L'écoulement de ces deux nappes s'effectue du Nord-Est vers le Sud-Ouest. **Lorsqu'elles se trouvent en position captive celles-ci présentent une très forte productivité.**

Peu de données sont disponibles concernant les paramètres hydrodynamiques dans leur partie captive.

Il sera cependant retenu pour :

- ▷ L'aquifère du Malm (Pascaud et al., 1973)
 - Transmissivité de l'ordre de 1.10^{-2} m²/s ;
 - Coefficient d'emmagasinement de l'ordre de 1.10^{-4} ;
- ▷ L'aquifère du Dogger (Roux et al., 2006) : transmissivité moyenne estimée à 1.10^{-2} m²/s.

Les masses d'eau souterraines du bassin de la Sarthe amont et en bordure de celui-ci sont représentées sur la Figure 14.

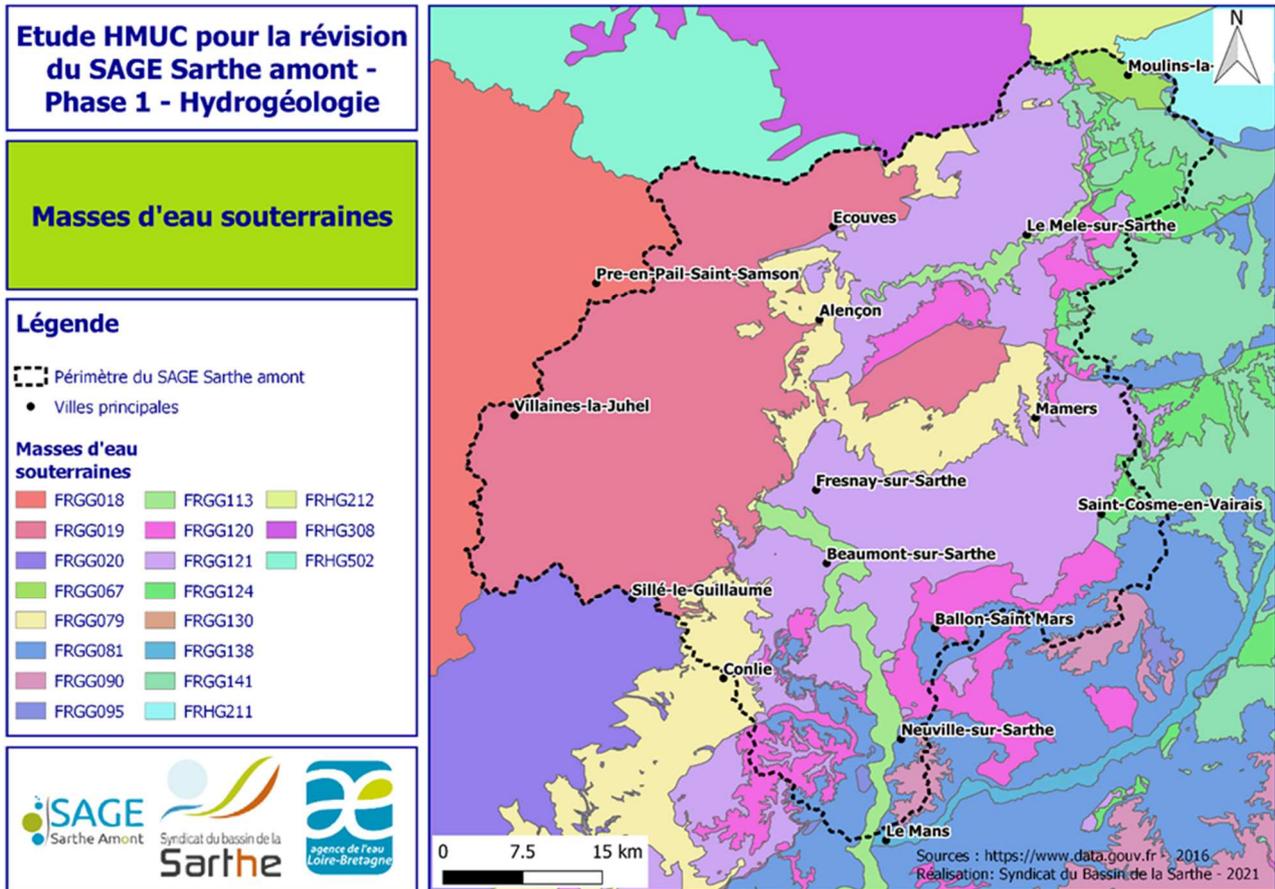


Figure 14: Masses d'eau du bassin versant de la Sarthe amont (Source : <https://www.data.gouv.fr/fr/datasets/masses-deau-souterraines-france-entiere-version-rapportage-2016/>)

4.2.3.2 Relation nappes/rivières

Les 9 stations hydrométriques disponibles sur le secteur d'étude pour quantifier la contribution des nappes sont présentées sur la Figure 11.

Le débit d'une rivière est constitué de **deux composantes principales** : une part provenant des **ruissellements** issus des précipitations, une autre **d'origine souterraine** correspondant à l'alimentation par les eaux souterraines :

- ▶ La première composante est caractérisée d'écoulement rapide : la répercussion d'une forte pluie se fera rapidement ressentir sur le débit du cours d'eau.
- ▶ La deuxième correspond quant à elle à un écoulement lent correspondant à la contribution de l'écoulement souterrain. **Cette alimentation d'origine souterraine est qualifiée de débit de base.** La Figure 15 illustre cette partition et la détermination du **BaseFlow (débit de base)**.

Les chroniques de débits des stations hydrométriques du territoire d'étude ont été traitées à l'aide du **filtre numérique développé par Chapman**, qui permet la séparation de l'hydrogramme en ces deux composantes :

1. la composante associée aux basses fréquences correspondant à l'**écoulement lent** (flux d'infiltration). ;
2. la composante associée aux hautes fréquences correspondant à l'**écoulement rapide** (flux provenant du ruissellement).

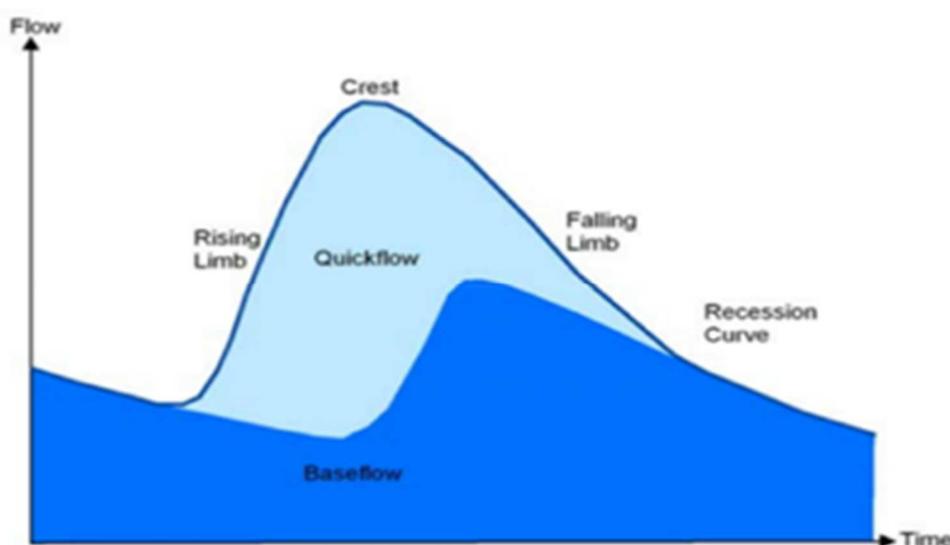


Figure 15 : Schéma conceptuel du filtre de Chapman

Les résultats sur les stations présentées ci-dessus conduisent aux constats suivants :

- D'une manière générale, on constate que les percentiles 50 montre un BFI moyen proche de 0,53 ce qui tend à indiquer que **la contribution des nappes est importante pour toutes les principales stations** du secteur d'étude ;
- Globalement, les stations semblent présenter des amplitudes de BFI intermédiaires avec des valeurs allant entre 0,42 à 0,85 des percentiles 20 et 80.

4.2.4 Reconstitution de l'hydrologie désinfluencée

L'impact des usages est visible sur les unités de gestion du bassin de la Sarthe amont à l'exception des unités de gestion du Merdereau et de la Vaudelle où les résultats de modélisations montrent un effet négligeable des prélèvements et rejets sur ces deux unités de gestion. L'effet des usages est visible sur toutes les autres unités de gestion par un écart entre le régime influencé (avec les débits les plus bas) et le régime désinfluencé (plus haut) notamment sur les indicateurs d'étiage QMNA5, VCN30(5) et VCN30(2).

La Figure 16 et le Tableau 3 permettent de résumer l'impact des usages au niveau de chaque unité de gestion.

Il est intéressant, dans un premier temps, de comparer la magnitude générale des prélèvements nets avec la quantité d'eau moyenne écoulée de chaque unité de gestion (le module). On observe d'après la dernière colonne du tableau ci-dessous, que la pression globale des usages est particulièrement marquée sur les unités de gestion de l'Orthe et de la Bienne, tandis qu'elle est quasiment nulle au niveau du Merdereau (en raison des rejets importants sur l'unité de gestion).

Cette comparaison permet d'appréhender en ordre de grandeur l'intensité de l'activité humaine sur chaque unité de gestion, mais elle ne permet pas d'en déduire directement l'effet sur les débits. En effet, cela dépend par exemple de la répartition infra-annuelle des prélèvements et des débits, des relations nappes rivières... Afin de prendre en compte ces facteurs, il convient de comparer les indicateurs issus des modélisations.

On observe ainsi que l'Ornette est effectivement soumise à une pression anthropique très importante en période d'étiage, puisque ses indicateurs statistiques de fréquence quinquennale sont diminués de 84%, entre la situation désinfluencée et influencée. Pour ce cours d'eau caractérisé par une sensibilité critique naturelle en période d'étiage, il ressort des analyses réalisées que l'activité anthropique constitue une cause prépondérante de ces observations.

L'Orthe et la Bienne subissent également une pression marquée, particulièrement visible en période d'étiage, avec un écart respectif de 30% et 40% entre les situations influencée et désinfluencée sur les indicateurs quinquennaux.

Sur la Sarthe intermédiaire, le bilan à l'étiage est plus modéré (écart de 20% entre les indicateurs quinquennaux influencés et désinfluencés).

L'Hoëne, la Sarthe amont et l'Orne Saosnoise présentent un impact faible avec un écart entre les situations influencée et désinfluencée de l'ordre de 10% sur les indicateurs quinquennaux.

Les faibles usages anthropiques hivernaux actuels expliquent la proximité entre régime influencé et désinfluencé en dehors de la période d'étiage pour toutes les unités de gestion.

Tableau 3 : Comparaison de l'effet des usages sur l'hydrologie pour chaque unité de gestion² (Source : Suez Consulting, 2022)

	Module (m3/s)			QMNA5 (m3/s)			VCN30(5) (m3/s)			VCN30(2) (m3/s)			Analyse des prélèvements nets	
	Infl.	Désinfl.	infl. en % de désinfl.)	Infl.	Désinfl.	infl. en % de désinfl.)	Infl.	Désinfl.	infl. en % de désinfl.)	Infl.	Désinfl.	infl. en % de désinfl.)	Prélèvement net moyen (m3/an)	Rapport prélèvement net / module
Hoëne	0.594 [0.592;0.596] (7.8)	0.606 [0.604;0.608] (8)	-2.0%	0.169 [0.168;0.171] (2.2)	0.182 [0.18;0.183] (2.4)	-6.8%	0.165 [0.163;0.167] (2.2)	0.177 [0.175;0.179] (2.3)	-6.8%	0.253 [0.251;0.255] (3.3)	0.265 [0.263;0.267] (3.5)	-4.6%	382855 (5043)	2.0%
Sarthe amont	8.365 [8.323;8.406] (8.8)	8.44 [8.398;8.481] (8.8)	-0.9%	0.904 [0.868;0.939] (0.9)	1.028 [0.993;1.063] (1.1)	-12.1%	0.842 [0.805;0.878] (0.9)	0.95 [0.914;0.986] (1)	-11.4%	1.306 [1.265;1.346] (1.4)	1.418 [1.379;1.457] (1.5)	-7.9%	1965897 (2060)	0.7%
Ornette	0.821 [0.818;0.823] (9.2)	0.829 [0.827;0.832] (9.3)	-1.1%	0.004 [0.003;0.005] (0)	0.022 [0.021;0.024] (0.3)	-84.3%	0.003 [0.002;0.004] (0)	0.018 [0.016;0.019] (0.2)	-84.4%	0.015 [0.013;0.018] (0.2)	0.036 [0.033;0.038] (0.4)	-59.1%	277221 (3097)	1.1%
Merdereau	1.404 [1.4;1.408] (9.7)	1.404 [1.4;1.408] (9.7)	0.0%	0.111 [0.107;0.114] (0.8)	0.112 [0.109;0.115] (0.8)	-1.2%	0.101 [0.098;0.104] (0.7)	0.101 [0.097;0.104] (0.7)	0.4%	0.177 [0.173;0.18] (1.2)	0.177 [0.173;0.181] (1.2)	-0.1%	7563 (52)	0.0%
Vaudelle	0.907 [0.905;0.909] (9.7)	0.91 [0.908;0.912] (9.7)	-0.4%	0.113 [0.111;0.114] (1.2)	0.115 [0.114;0.117] (1.2)	-2.4%	0.105 [0.103;0.106] (1.1)	0.107 [0.105;0.108] (1.1)	-1.7%	0.167 [0.165;0.169] (1.8)	0.17 [0.168;0.172] (1.8)	-1.4%	105417 (1126)	0.4%
Orthe	1.186 [1.181;1.192] (8.8)	1.257 [1.251;1.263] (9.4)	-5.6%	0.199 [0.192;0.205] (1.5)	0.278 [0.273;0.284] (2.1)	-28.7%	0.189 [0.183;0.195] (1.4)	0.265 [0.26;0.271] (2)	-28.8%	0.288 [0.281;0.294] (2.1)	0.367 [0.361;0.373] (2.7)	-21.7%	2232277 (16617)	6.0%
Bienne	0.982 [0.976;0.989] (6)	1.033 [1.027;1.039] (6.3)	-4.9%	0.124 [0.113;0.135] (0.8)	0.212 [0.207;0.218] (1.3)	-41.4%	0.123 [0.112;0.134] (0.7)	0.206 [0.201;0.211] (1.3)	-40.2%	0.189 [0.178;0.199] (1.1)	0.268 [0.262;0.273] (1.6)	-29.5%	1587675 (9678)	5.1%
Orne Saosnoise	3.06 [3.046;3.074] (5.9)	3.086 [3.072;3.1] (5.9)	-0.8%	0.329 [0.314;0.344] (0.6)	0.367 [0.355;0.38] (0.7)	-10.4%	0.328 [0.313;0.342] (0.6)	0.357 [0.345;0.37] (0.7)	-8.3%	0.492 [0.476;0.507] (0.9)	0.52 [0.507;0.534] (1)	-5.4%	812263 (1557)	0.8%
Sarthe intermédiaire	22.759 [22.654;22.865] (7.9)	23.113 [23.008;23.218] (8)	-1.5%	1.968 [1.875;2.061] (0.7)	2.493 [2.405;2.581] (0.9)	-21.1%	1.884 [1.79;1.978] (0.7)	2.325 [2.237;2.413] (0.8)	-19.0%	2.884 [2.78;2.988] (1)	3.377 [3.279;3.474] (1.2)	-14.6%	3760142 (5296)	0.5%

² Les valeurs entre parenthèses sont les débits spécifiques. L'échelle de couleur utilisée permet d'identifier les unités de gestion les plus impactées, selon l'indicateur présenté. Les prélèvements nets présentés impliquent non seulement les usages superficiels, mais également souterrains.

Impact des prélèvements et rejets sur les unités de gestion

Légende

 Périmètre du SAGE Sarthe amont

Hydrographie

 Cours d'eau principaux

 Affluents

Ecart QMNA5 influencé vs désinfluencé (en %)

-  <-50%
-  -50% à -30%
-  -30% à -20%
-  -20% à -10%
-  -10% à -5%
-  -5% à 0

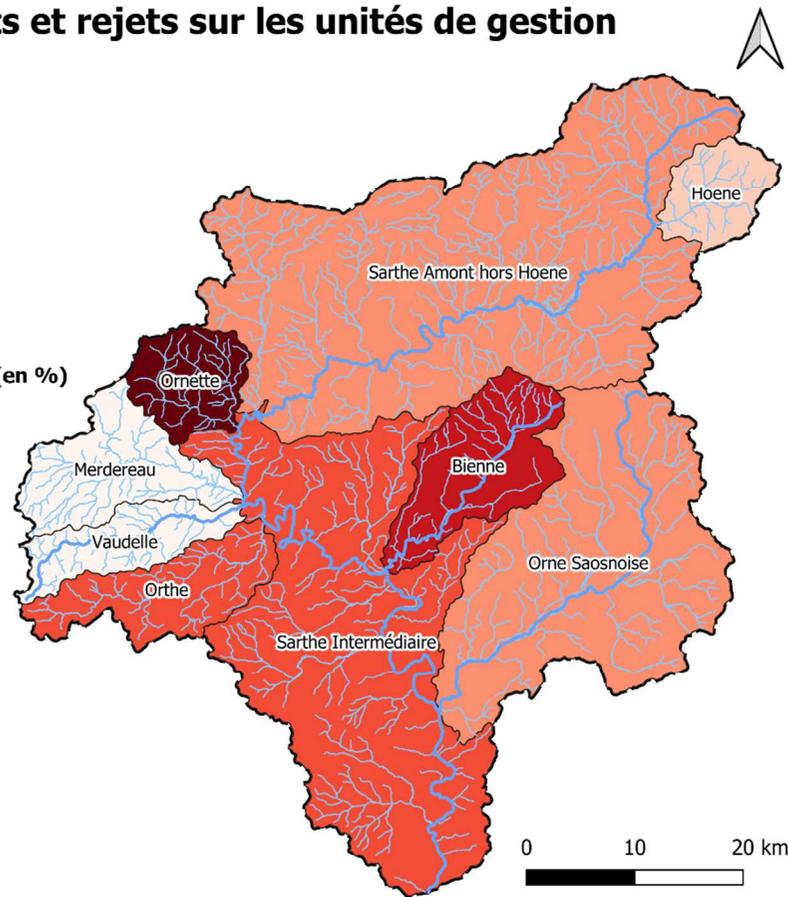


Figure 16 : Comparaison du QMNA5 influencé au QMNA5 désinfluencé sur les unités de gestion du bassin versant de la Sarthe amont (Source : Suez Consulting, 2022)

5. VOLET « MILIEUX »

5.1 Objectifs visés

- ❖ Comprendre le contexte environnemental des cours d'eau du bassin versant ;
- ❖ Evaluer l'effet des débits sur le bon fonctionnement des cours d'eau (hydromorphologique, biologique) ;
- ❖ Identifier les espèces-cibles (ou représentatives) des unités de gestion du bassin versant ;
- ❖ Définir les débits biologiques permettant la réalisation du cycle de vie des espèces-cibles identifiées.

5.2 Eléments de méthode

- ❖ Dans un premier temps, un état des lieux écologique du territoire d'étude est dressé. Les éléments sont abordés par thématique et permettent d'avoir une vue d'ensemble du bassin versant étudié : ses dysfonctionnements, ses atouts et ses enjeux.

Sont abordés : le contexte piscicole, la thermie, les patrimoines naturels remarquables, l'état écologique et l'état chimique, l'hydromorphologie, les plans d'eau et les notions de cours d'eau listés.

Chaque élément est, quand cela est possible, recoupé au regard du contexte environnemental dans lesquels évoluent les cours d'eau du territoire. Une synthèse de cette analyse est réalisée à l'échelle de chaque unité de gestion étudiée, ce qui permet de mettre en évidence dans quelle mesure une unité de gestion présente un contexte favorable ou défavorable d'un point de vue quantitatif et qualitatif de la ressource ;

- ❖ Dans un second temps, la problématique des débits biologiques est abordée :

La méthodologie de détermination des débits biologiques en période de basses eaux s'appuie sur le protocole ESTIMHAB³, sur l'hydrologie désinfluencée des cours d'eau et sur le contexte environnemental dressé en première partie.

ESTIMHAB s'appliquant sur un tronçon de cours d'eau de longueur équivalent à environ 15 fois la largeur de ce dernier, la première étape consiste en l'identification de tronçons éligibles à l'approche et représentatifs du fonctionnement du cours d'eau. La méthodologie ayant permis l'identification des stations au niveau desquelles a été mis en œuvre le protocole est précisée en annexe 4 (§ 9.4). **Une présentation plus détaillée de la démarche d'identification de ces stations est donnée dans la note technique de proposition de points de définition des débits biologiques.**

Ce protocole permet d'analyser l'habitabilité des cours d'eau par un cortège d'espèces piscicoles représentatives des différents types de cours d'eau de France. Il est donc nécessaire d'identifier, pour chaque unité de gestion, les espèces cibles à retenir pour l'analyse. La méthodologie de détermination de ces espèces cibles s'appuie sur les données de pêche, le contexte environnemental et l'expertise territoriale.

³ Le protocole ESTIMHAB permet d'évaluer l'habitabilité (au sens hydraulique du terme) en fonction du débit d'un tronçon de cours d'eau par une espèce ou un groupe d'espèces piscicole(s). **Le protocole est décrit dans de plus amples détails dans le rapport du volet « Milieux ».**

5.3 Résultats obtenus

5.3.1 Analyse du contexte environnemental

Tableau 4 : Synthèse du contexte environnemental

UG	Cours d'eau	Domaine piscicole (espèce repère)	Etat fonctionnel	Classement cours d'eau	Axe migrateur	Thermie aux espèces repères	Etat écologique	Altération recensées	Milieux remarquables
Sarthe amont	La Sarthe	Intermédiaire (BRO et TRF)	Dégradé	Liste 1 et 2	ANG	-	Mauvais, moyen sure les affluents	Homogénéisation des écoulements, Altérations morphologiques (cours d'eau fortement recalibré). Dégradation de la continuité écologique	Réservoir de biodiversité, Natura 2000, ZNIEFF type 1 & 2
Orne Saosnoise	L'Orne Saosnoise	Cyprinicole (BRO)	Perturbé	Liste 1	NC	-	Médiocre	Obstacles difficilement franchissables, altération marquée de la morphologie. Présence de nombreux ouvrages transversaux	Réservoir de biodiversité
Bienne	La Bienne Amont	Salmonicole (TRF)	Dégradé	Liste 1 et 2	NC	Bonne	Moyen	Affluents en assecs, Travaux hydraulique, activités agricoles (érosion des sols, pollution diffuse), Ouvrage difficilement franchissable (voire infranchissable), étang, colmatage substrat, Altération de l'habitat (cours d'eau rectifié, recalibré et incisé) - Espèce repère moins présente	Réservoir de biodiversité, ZNIEFF type 1 & 2
Bienne	La Bienne Aval	Intermédiaire (BRO et TRF)	Dégradé	Liste 1 et 2	NC	Bonne	Moyen, mauvais sur la Saosnette et la Semelle	Activités agricoles (pollution diffuse, érosion des sols, eutrophisation), curage à recalibrage, débits d'étiage sévères, obstacles infranchissables	Réservoir de biodiversité
Affluents mayennais	Le Merdereau	Salmonicole (TRF)	Dégradé	Liste 2	NC	Bonne	Bon (autres cours d'eau mayennais aussi)	Altération marquée de la morphologie, pratiques agricoles générant des perturbations, ouvrages transversaux, altération substrat - colmatage	Réservoir de biodiversité, ZNIEFF type 2
Sarthe Intermédiaire	La Sarthe	Cyprinicole (BRO)	Perturbé	Liste 1	ANG	Bonne	Médiocre	Nombreux ouvrages hydrauliques altérant la continuité écologique et la diversité d'habitat	ZNIEFF type 2

5.3.2 Détermination des débits biologiques

Pour chaque unité de gestion, les débits biologiques ont été définis sous forme de gamme, conformément à la méthodologie établie. Cette gamme marque la transition entre une configuration favorable au développement des milieux (lorsque les débits lui sont supérieurs), et critique pour leur survie (lorsque les débits lui sont inférieurs).

Le tableau suivant récapitule, pour l'ensemble des unités de gestion (Merdereau étant la référence pour les affluents mayennais), les gammes de débits biologiques déterminées dans le cadre de cette étude (Bienne, Merdereau et Sarthe intermédiaire) et de l'étude de 2015 (Sarthe amont et Orne Saosnoise)

Tableau 5 : Gammes de débits proposées pour les débits estivaux

UG	Gamme de débits
Sarthe amont	600 – 770 L/s
Orne Saosnoise	200 – 290 L/s
La Bienne	110 – 250 L/s
Le Merdereau	95 – 250 L/s
La Sarthe intermédiaire	2500 – 4500 L/s

6. VOLET « CLIMAT »

6.1 Objectifs visés

- Appréhender les évolutions prévisibles du climat et de la ressource en eau à horizon proche (2050) ;
- Caractériser l'impact cumulé du changement climatique et du scénario tendanciel d'évolution de l'usage de la ressource en eau, à ce même horizon.

6.2 Eléments de méthode

- ❖ Restituer les perspectives d'évolution du climat et de la ressource en eau à partir des études les plus récentes à ces sujets (voir références associées en annexe 5), à l'échelle du périmètre d'étude ;
- ❖ Analyser l'évolution des paramètres climatiques directement à l'aide des données MétéoFrance (plus précisément, issues du jeu de données de projection DRIAS-2020) à l'horizon 2050 ;
- ❖ Analyser l'évolution de la ressource en eau et des effets sur cette dernière du changement climatique et de l'évolution des usages à l'horizon 2050, à l'aide du modèle construit et exploité dans le cadre du volet Hydrologie ;
- ❖ Réunir ces pôles d'analyses afin de conclure sur le risque de déficit hydrologique et l'évolution à venir des tensions quantitatives sur le territoire d'étude.

6.3 Résultats obtenus

6.3.1 Conclusion des études existantes sur le changement climatique et son impact sur la ressource en eau

La diversité des méthodologies et modèles employés dans le cadre des différentes études et projets analysés implique une variabilité dans les résultats obtenus concernant les projections aux horizons futurs des paramètres climatiques et hydrologiques. On constate toutefois que pour les scénarios climatiques s'apparentant au scénario RCP 4.5 et que les résultats convergent vers des **tendances d'évolution similaire à l'horizon 2050**.

- **Augmentation des températures de l'air**
 - +2,2°C en moyenne annuelle avec les mois de juillet et août plus marqués (+3°C) entre 1961-1990 et 2045-2065 selon Explore 2070
 - +2°C à l'année, +2.5°C en août entre 1971-2000 et l'horizon 2050 selon l'étude ICC Hydroqual
- **Augmentation de l'évapotranspiration total annuel mais vraiment notable en période estivale et automnale**
 - +24% d'ETP à l'année avec une augmentation particulièrement marquée en automne (+50%) entre 1961-1990 et 2045-2065 selon Explore 2070
- **Augmentation de la variabilité pluviométrique avec une diminution des précipitations estivales, une légère augmentation hivernale et une faible diminution généralisée à l'année**
 - Diminution importante de mai à septembre (-20%) entre 1961-1990 et 2045-2065 selon Explore 2070 ;
 - Diminution de l'ordre de -25% de mai à octobre entre 1971-2000 et 2050 selon l'étude ICC Hydroqual ;

- **Diminution généralisée des débits avec une intensification des étiages : plus fréquents, plus sévères et plus longs (prolongation sur la période automnale)**
 - Diminution de l'ordre de -20% des débits moyens à l'année, diminution de -6 à -56% du QMNA5 selon Explore 2070
 - Diminution jusqu'à -20% des débits moyens printaniers, et jusqu'à -35% pour les débits moyens estivaux et automnaux, diminution de l'ordre de -30% pour les QMNA5 selon la thèse Gildas Dayon
- **Diminution des niveaux et de la recharge des nappes**
 - De -20 à -30% entre 1961-1990 et 2045-2065 selon Explore 2070
- **Augmentation de la température de l'eau**
 - En moyenne, +1,6°C à l'échelle de la France selon l'étude Explore 2070
 - Plus localement jusqu'à +2°C sur le bassin de la Sarthe Amont selon l'étude de l'université de tour, et ce pour l'ensemble des cours d'eau du territoire.

Ces observations sont valables pour le bassin de la Sarthe Amont et plus largement à l'échelle du bassin versant de la Loire. Toutefois, des modélisations spécifiques au bassin sont nécessaires afin d'obtenir des analyses chiffrées de l'évolution des ressources en eau à cet horizon.

6.3.2 Analyse de l'évolution des paramètres climatiques d'après les données DRIAS

Le tableau suivant synthétise les analyses réalisées à l'aide des données DRIAS, à l'horizon 2050. Les évolutions à l'horizon 2030 ne sont pas mentionnées ici car elles sont majoritairement dépendantes de la variabilité interne du climat, et ne reflètent pas les effets du changement climatique.

Les résultats ci-dessous sont à mettre en perspective avec les résultats obtenus avec l'analyse bibliographique. L'ETP analysée avec les données DRIAS-2020, évolue dans une moindre mesure comparée aux résultats de l'analyse bibliographique et ce pour les deux scénarios d'émissions.

Les résultats, pour le scénario RCP 4.5, de l'évolution des cumuls pluviométriques rejoignent les résultats de l'analyse bibliographique avec une légère diminution non significative généralisée à l'année mais avec une période estivale marquée. Pour le scénario RCP 8.5, la hausse des cumuls pluviométriques contredit l'évolution annoncée dans les résultats de l'analyse bibliographique.

Tableau 6 : Synthèse sur l'évolution du climat (Sources : DRIAS, SUEZ Consulting)

		Horizon 2050 – RCP4.5	Horizon 2050 – RCP8.5
ETP	Cumul annuel	+8% par rapport à la moyenne 2000-2019	+6% par rapport à la moyenne 2000-2019
	Cumul mensuel	Augmentation globale ; mois de mai, septembre et novembre marqué (+15%)	Augmentation globale ; mois de septembre marqué (+20%)
Pluviométrie	Cumul annuel	Tendance faiblement marquée à la baisse (-3%)	Tendance à la hausse (+8%)
	Nombre de jours de pluie	Tendance légèrement à la baisse (-3%)	Tendance peu marquée et non significative – maintien du nombre de jours
	Saisonnalité des précipitations	Intensification en hiver (10 à 20%) – pluies plus rares toutes l'année excepté en janvier, mois de septembre particulièrement sec (-30%)	Intensification en hiver et début d'été – pluies plus rares et moins intense aux mois d'avril et septembre (-10%)
Sécheresses	Tendance d'évolution	Augmentation de l'intensité très marquée sur toute l'année	Augmentation de l'intensité très marquée sur toute l'année

6.3.3 Modélisation de l'évolution de la ressource en eau à l'horizon 2050

6.3.3.1 Scénario tendanciel bas

D'après le scénario tendanciel bas (Tableau 7), le QMNA5 de chaque sous-bassin augmentera à l'exception de l'Ornette en situation désinfluencée. En régime influencé, cette augmentation varie entre 2% pour le Merdereau et 156% pour la Bienne. L'augmentation s'accroît lorsqu'on tient compte de l'effet des usages cumulé à celui du changement climatique. On observe que l'écart entre l'hydrologie naturelle et influencée devrait légèrement se résorber à l'horizon 2050, sauf pour la Sarthe intermédiaire.

Les cartes présentées permettent une meilleure visualisation des résultats.

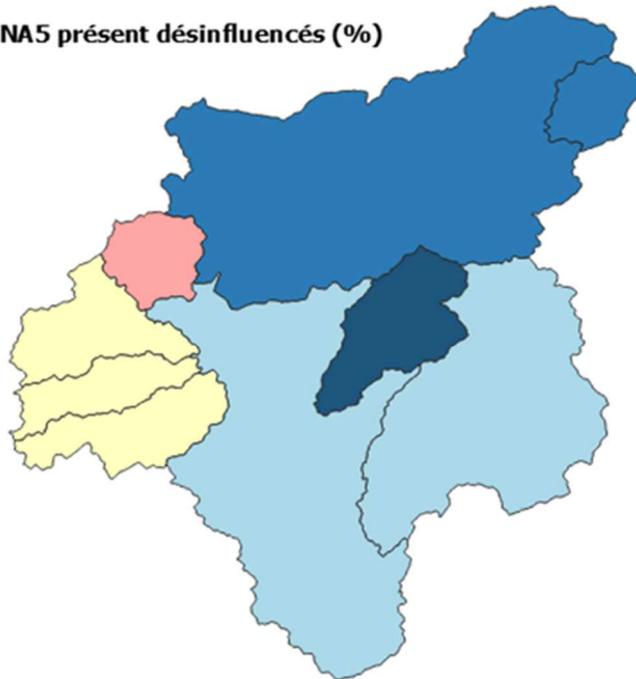
Tableau 7 : Synthèse des évolutions de débit liées au changement climatique et aux usages à l'horizon 2050 selon le scénario tendanciel bas⁴

	Période actuelle 2000-2019			Horizon 2050 (2040 - 2059)		
	Désinfluencé	Influencé	Différence de infl. par rapport au désinfl. en %	Désinfluencé futur (différence en % par rapport au désinfl. actuel)	Influencé futur (différence en % par rapport à infl. actuel)	Différence en % par rapport au désinfl. futur
	QMNA5 (m3/s)					
Hoëne	0.124 [1.63]	0.124 [1.63]	0%	0.156 (25.9%) [1.98]	0.156 (26.3%) [1.98]	1%
Sarthe amont	1.226 [1.28]	1.172 [1.23]	-4%	1.493 (21.8%) [1.56]	1.384 (18.1%) [1.45]	-7%
Ornette	0.034 [0.38]	0.008 [0.09]	-76%	0.031 (-7.5%) [0.34]	0.013 (62.4%) [0.11]	-58%
Merdereau	0.152 [1.05]	0.151 [1.04]	-1%	0.153 (0.4%) [1.04]	0.154 (1.7%) [1.04]	1%
Vaudelle	0.14 [1.5]	0.135 [1.44]	-4%	0.147 (4.4%) [1.5]	0.143 (6%) [1.5]	-2%
Orthe	0.31 [2.31]	0.229 [1.71]	-26%	0.338 (8.9%) [2.46]	0.268 (16.9%) [1.94]	-21%
Bienne	0.172 [1.05]	0.071 [0.43]	-59%	0.237 (37.4%) [1.4]	0.181 (156.1%) [1.1]	-24%
Orne Saosnoise	0.228 [0.44]	0.111 [0.21]	-51%	0.27 (18.3%) [0.52]	0.186 (68.1%) [0.34]	-31%
Sarthe intermédiaire	2.63 [0.91]	2.251 [0.78]	-14%	3.14 (19.4%) [1.09]	2.606 (15.8%) [0.9]	-17%

⁴ Les valeurs entre crochets représentent les débits spécifiques, ce sont les débits divisés par la surface de chaque bassin. Cela permet de comparer les bassins entre eux.

QMNA5 futur - QMNA5 présent désinfluencés (%)

- 10 - 0
- 0 - 10
- 10 - 20
- 20 - 30
- 30 - 40



QMNA5 futur - QMNA5 présent (%)

- 0 - 10
- 10 - 20
- 20 - 30
- 30 - 50
- >50

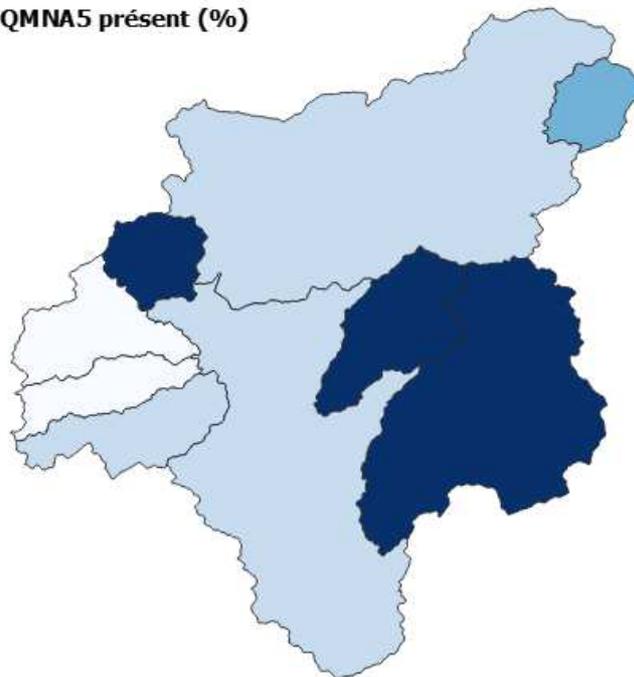


Figure 17 : Evolution du QMNA5 désinfluencé (en haut) influencé (en bas) sur le territoire SAGE Sarthe amont selon le scénario tendanciel bas

6.3.3.2 Scénario tendanciel haut

D'après le scénario tendanciel haut, l'ensemble des cours d'eau sont concernés par une baisse des débits statistiques d'été estivaux (QMNA5) en régime désinfluencé avec une diminution allant de 17% (Ornette et Orthe) à 44% (Orne Saosnoise). En régime influencé, l'écart se creuse particulièrement pour l'Ornette (diminution du QMNA5 influencé d'environ 70%) par rapport à la situation actuelle. L'écart entre régime influencé et désinfluencé est similaire sauf pour l'Ornette et l'Orne Saosnoise qui voit cet écart doubler.

Les cartes présentées permettent une meilleure visualisation des résultats.

Tableau 8 : Synthèse des évolutions de débit liées au changement climatique et aux usages à l'horizon 2050 selon le scénario tendanciel haut

	Période actuelle 2000-2019			Horizon 2050 (2040 - 2059)		
	Désinfluencé	Influencé	Différence de Infl. par rapport au désinfl. en %	Désinfluencé futur (différence en % par rapport au désinfl. actuel)	Influencé futur (différence en % par rapport à infl. actuel)	Différence en % par rapport au désinfl. futur
	QMNA5 (m3/s)					
Hoëne	0.157 [2.07]	0.159 [2.09]	1%	0.114 (-27.2%) [1.45]	0.115 (-27.2%) [1.45]	1%
Sarthe amont	1.56 [1.63]	1.485 [1.56]	-5%	1.204 (-22.8%) [1.26]	1.119 (-24.7%) [1.16]	-7%
Ornette	0.04 [0.45]	0.025 [0.28]	-38%	0.033 (-17.2%) [0.34]	0.008 (-68%) [0]	-76%
Merdereau	0.178 [1.23]	0.177 [1.22]	-1%	0.113 (-36.8%) [0.76]	0.118 (-33.2%) [0.76]	5%
Vaudelle	0.165 [1.76]	0.16 [1.71]	-3%	0.111 (-32.6%) [1.18]	0.109 (-31.9%) [1.07]	-2%
Orthe	0.361 [2.69]	0.28 [2.09]	-22%	0.3 (-17%) [2.23]	0.228 (-18.8%) [1.64]	-24%
Bienne	0.213 [1.3]	0.104 [0.64]	-51%	0.169 (-20.7%) [0.98]	0.094 (-10.3%) [0.55]	-45%
Orne Saosnoise	0.284 [0.54]	0.25 [0.48]	-12%	0.16 (-43.8%) [0.31]	0.12 (-51.9%) [0.23]	-25%
Sarthe intermédiaire	3.16 [1.09]	2.749 [0.95]	-13%	2.45 (-22.5%) [0.85]	2.086 (-24.1%) [0.72]	-15%

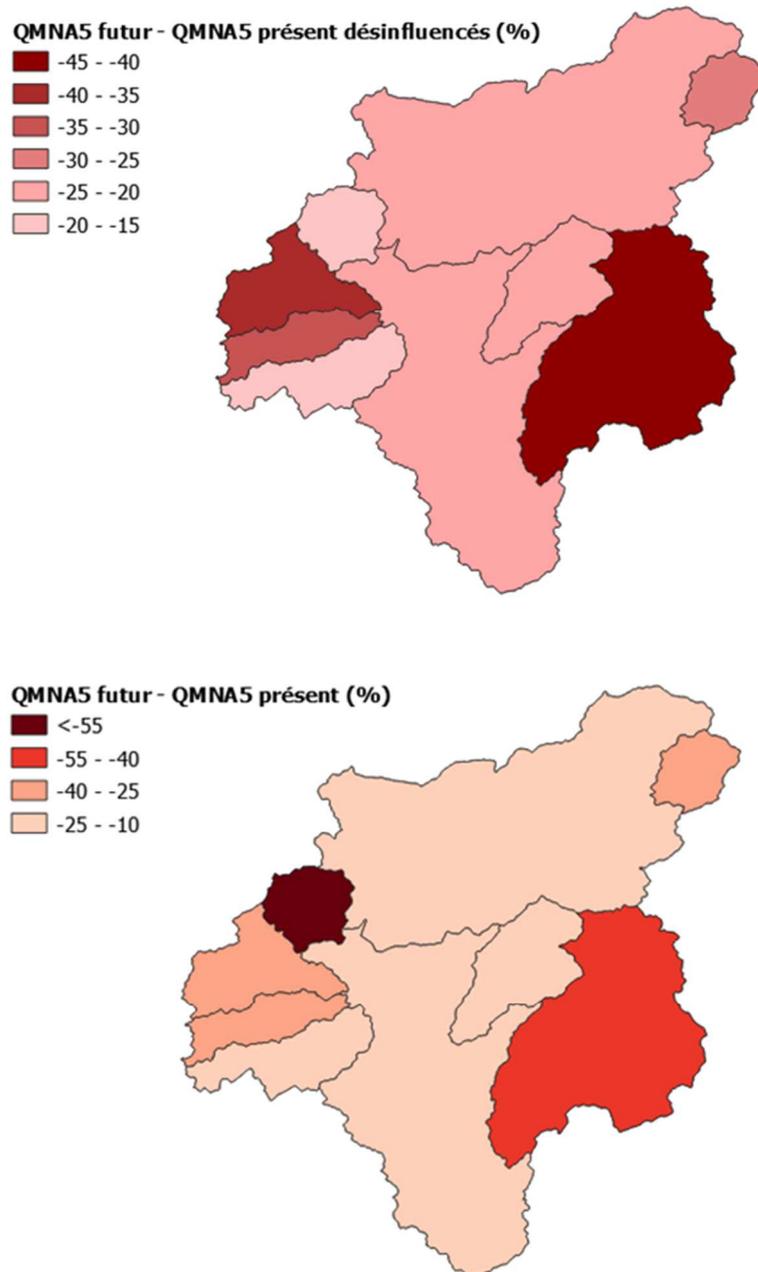
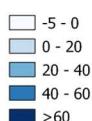


Figure 18 : Evolution du QMNA5 désinfluencé (en haut) influencé (en bas) sur le territoire SAGE Sarthe amont selon le scénario tendanciel haut

6.3.3.3 Comparaison entre scénarios à l'horizon 2050

Les cartes suivantes permettent de rendre compte des différences dans les débits modélisés selon les deux scénarios tendanciels considérés. Les écarts représentés prennent comme référence le scénario tendanciel haut, autrement dit les écarts (en pourcentage) représentent ainsi la différence des débits simulés entre le scénario tendanciel bas par rapport au scénario tendanciel haut. On remarque les fortes différences de débits entre les deux scénarios. En situation désinfluencée, celles-ci sont marquées sur l'Orne Saosnoise, en situation influencée c'est sur la Bienne que l'on retrouve la plus grande différence. Ces résultats mettent en avant les fortes incertitudes affectant l'évolution des variables hydrologiques.

Ecart entre les simulations
à l'horizon 2050 pour le
QMNA5 désinfluencé (%)



Ecart entre les simulations
à l'horizon 2050 pour le
QMNA5 influencé (%)

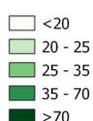


Figure 19 : Ecart du QMNA5 désinfluencé (en haut) influencé (en bas) sur le territoire SAGE Sarthe amont entre les scénarios tendanciels à l'horizon 2050

7. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES POUR LA SUITE DE L'ETUDE

La phase 1 d'état des lieux des volets Hydrologie, Milieux, Usages et Climat de la présente étude a permis :

- ❖ De sectoriser le territoire d'étude en unités de gestion cohérentes, à l'échelle desquelles l'ensemble des analyses réalisées sont menées ;
- ❖ De réunir, compiler et compléter les données existantes du territoire au regard de chacun des 4 volets étudiés (Hydrologie, Milieux, Usages, Climat) ;
- ❖ D'appréhender les lacunes de ces dernières ;
- ❖ De formuler et mettre en œuvre des hypothèses et méthodes permettant de les combler ;
- ❖ D'établir, sur ces bases, l'état des lieux et l'actualisation des connaissances sur l'ensemble des volets concernés (Hydrologie, Milieux, Usages, Climat).

La suite de l'étude HMUC permettra de croiser les résultats des quatre volets analysés, ce qui permettra la définition de volumes prélevables et débits objectifs d'étiage, en phase 2 de la présente étude, et à terme de proposer des préconisations d'amélioration de la connaissance et de la gestion de la ressource en eau sur l'ensemble du territoire d'étude (phase 3).

8. GLOSSAIRE ET ACRONYMES

8.1 Glossaire

- ❖ **Alluvions** : Les alluvions sont un dépôt de sédiments d'un cours d'eau constitué, selon les régions et la force des courants, de galets, de graviers, de boues et de limons. Dans certaines vallées ces alluvions constituent une couche géologique qui peut contenir de l'eau sous forme de nappe phréatique ou d'aquifère ;
- ❖ **Aquifère** : Formation géologique, continue ou discontinue, contenant de façon temporaire ou permanente de l'eau mobilisable, constituée de roches perméables (formation poreuses, karstiques ou fissurées) et capable de la restituer naturellement ou par exploitation (drainage, pompage, ...) ;
- ❖ **Aquitard** : sont les formations géologiques qui sont considérés tellement peu perméables qu'elles ne peuvent constituer un intérêt hydrogéologique ;
- ❖ **Assec** : Assèchement temporaire d'un cours d'eau ou d'un tronçon de cours d'eau ou d'un plan d'eau ;
- ❖ **Bassin versant** : Surface d'alimentation d'un cours d'eau ou d'un plan d'eau. Le bassin versant se définit comme l'aire de collecte des eaux, considérée à partir d'un exutoire : elle est limitée par le contour à l'intérieur duquel toutes les eaux s'écoulent en surface et en souterrain vers cet exutoire. Ses limites sont les lignes de partage des eaux. ;
- ❖ **Contexte piscicole** : renvoie au découpage effectué dans le PDPG (Plan Départemental de Protection du milieu aquatique et de Gestion des ressources piscicoles). Ce découpage du réseau hydrographique en portions cohérentes d'un point de vue biologique fait notamment écho à la typologie piscicole des cours d'eau. Elles sont définies comme des unités au sein desquelles les espèces repères peuvent effectuer la totalité de leur cycle biologique.
- ❖ **Cyprinicole** : Se dit des cours d'eau calmes et tempérés où vivent entre autres la famille des cyprinidés comme le gardon ou la brème ou encore la famille des Esocidés comme le brochet ;
- ❖ **Débit** : Volume d'eau qui traverse une section transversale d'un cours d'eau dans un laps de temps déterminé. Les débits des cours d'eau sont exprimés en m³/s ou, pour les petits cours d'eau, en l/s ;
- ❖ **Débit biologique** : débit minimum à conserver dans le lit d'un cours d'eau afin de garantir en permanence la vie, la reproduction et la circulation des espèces aquatiques ;
- ❖ **Débit d'alerte renforcée** : Débit intermédiaire entre le débit seuil d'alerte et le débit d'étiage de crise, permettant d'introduire des mesures de restriction progressives des usages. Ce débit d'alerte renforcée est défini de manière à laisser un délai suffisant avant le passage du seuil de crise, pour la mise en place de mesures effectives ;
- ❖ **Débit objectif d'étiage** : Les DOE (débits d'objectif d'étiage) sont les débits « permettant de satisfaire l'ensemble des usages en moyenne huit années sur dix et d'atteindre le bon état des eaux ». Le Glossaire sur l'eau apporte les précisions suivantes : Valeur de débit moyen mensuel au point nodal (point clé de gestion) au-dessus de laquelle, il est considéré qu'à l'aval du point nodal, l'ensemble des usages (activités, prélèvements, rejet...) est en équilibre avec le bon fonctionnement du milieu aquatique. C'est un objectif structurel, arrêté dans les SDAGE, SAGE et documents équivalents, qui prend en compte le développement des usages à un certain horizon. Il peut être affecté d'une marge de tolérance et modulé dans l'année en fonction du régime (saisonnalité). L'objectif DOE est atteint par la maîtrise des autorisations de prélèvements en amont, par la mobilisation de ressources nouvelles et des programmes d'économies d'eau portant sur l'amont et aussi par un meilleur fonctionnement de l'hydrosystème ;
- ❖ **Débit seuil d'alerte (DSA)** : Valeur "seuil" de débit d'étiage qui déclenche les premières mesures de restriction pour certaines activités. Ces mesures sont prises à l'initiative de l'autorité préfectorale, en liaison avec une cellule de crise et conformément à un plan de crise. En dessous de ce seuil, l'une

des fonctions (ou activités) est compromise. Pour rétablir partiellement cette fonction, il faut donc en limiter temporairement une autre : prélèvement ou rejet (premières mesures de restrictions). En cas d'aggravation de la situation, des mesures de restrictions supplémentaires sont progressivement mises en œuvre pour éviter de descendre en dessous du débit de crise (DCR) ;

- ❖ **Débit de crise** (DCR) : Le DCR (débit de crise) est le débit moyen journalier en dessous duquel seules les exigences de la santé, de la salubrité publique, de la sécurité publique et de l'alimentation en eau de la population et les besoins des milieux naturels peuvent être satisfaits. À ce niveau, toutes les mesures de restriction des prélèvements et des rejets doivent donc avoir été mises en œuvre ;
- ❖ **Débit spécifique** : Débit par unité de superficie de bassin versant exprimé généralement en litres/seconde/km². Permet la comparaison entre des cours d'eau sur des bassins versants différents ;
- ❖ **Espèce-cible** : Espèce sur laquelle le choix d'étude est portée. Ce choix est animé par plusieurs raisons qui sont définies en fonction de l'étude (du fait de leur caractère patrimonial, de leur abondance relative, d'une protection particulière ou des usages halieutiques ...).
- ❖ **Espèce repère** : L'espèce repère permet de déterminer l'état du contexte piscicole considéré. Sa biologie et son écologie sont bien connus et son exigence vis-à-vis de son milieu fait d'elle un excellent bioindicateur. Le principe de l'espèce repère repose sur le fait que si elle peut accomplir son cycle de vie normalement dans le contexte piscicole considéré, les autres espèces de ce même contexte (dites accompagnatrices) peuvent le faire également. Les espèces repères sont la Truite fario pour les cours d'eau salmonicoles et le Brochet pour les cours d'eau cyprinicoles. Ce sont en effet des poissons bien connus des pêcheurs, ont de fortes exigences écologiques vis-à-vis de leur milieu et sont très sensibles à la qualité de l'eau.
- ❖ **Étagement** : Le taux d'étagement rend compte de la perte artificielle de la pente d'un cours d'eau (hauteur de chute cumulé sur le tronçon/ dénivelé naturel sur ce même tronçon) ;
- ❖ **Évapotranspiration** : Emission de la vapeur d'eau résultant de deux phénomènes : l'évaporation, qui est un phénomène purement physique, et la transpiration des plantes. La recharge des nappes phréatiques par les précipitations tombant en période d'activité du couvert végétal peut être limitée. En effet, la majorité de l'eau est évapotranspirée par la végétation. Elle englobe la perte en eau due au climat, les pertes provenant de l'évaporation du sol et de la transpiration des plantes ;
- ❖ **Exutoire** : En hydrologie on utilise ce terme pour désigner l'issue (ou l'une des issues) d'un système physique (élémentaire ou complexe) traversé par un fluide en mouvement ;
- ❖ **Frayère** : Lieu de reproduction des poissons, des amphibiens, des mollusques et des crustacés (ils y pondent leurs œufs). Les bancs de graviers, les bras morts, les forêts alluviales, les prairies inondables, les racines d'arbres constituent ces zones de frai ;
- ❖ **Hautes eaux** : La période des hautes eaux correspond (dans le cadre de la présente étude) à la période où le débit du cours d'eau est supérieur à son module ;
- ❖ **Hydrogramme** : Courbe d'évolution du débit en fonction du temps en un point donné d'un réseau ou d'un cours d'eau ;
- ❖ **Hydromorphologie** : Etude de la morphologie et de la dynamique des cours d'eau, notamment l'évolution des profils en long et en travers, et du tracé planimétrique ;
- ❖ **Hydrosystème** : (dans le cadre de ce rapport) Ensemble des compartiments impliqués dans le cycle de l'eau ;
- ❖ **Masse d'eau souterraine** : La Directive Cadre sur l'Eau (DCE-2000/60/CE) introduit la notion de « masses d'eaux souterraines » qu'elle définit comme « un volume distinct d'eau souterraine à l'intérieur d'un ou de plusieurs aquifères ». La délimitation des masses d'eaux souterraines est fondée sur des critères hydrogéologiques, puis éventuellement sur la considération de pressions anthropiques importantes. Ces masses d'eau sont caractérisées par six types de fonctionnement hydraulique, leur état (libre/captif) et d'autres attributs. Une masse d'eau correspond d'une façon

générale sur le district hydrographique à une zone d'extension régionale représentant un aquifère ou regroupant plusieurs aquifères en communication hydraulique, de taille importante ;

- ❖ **Masse d'eau superficielle** : Il s'agit d'un découpage élémentaire des milieux aquatiques destinée à être l'unité d'évaluation de la Directive Cadre sur l'Eau (DCE-2000/60/CE). Une masse d'eau de surface est une partie distincte et significative des eaux de surface, telles qu'un lac, un réservoir, une rivière, un fleuve ou un canal, une partie de rivière, de fleuve ou de canal, une eau de transition ou une portion d'eaux côtières. Pour les cours d'eau, la délimitation des masses d'eau est basée principalement sur la taille du cours d'eau et la notion d'hydro-écorégion ;
- ❖ **Modèle hydrologique (ou pluie/débit)** : Outil numérique de représentation de la relation pluie-débit à l'échelle d'un bassin versant. Il permet de transformer des séries temporelles décrivant le climat d'un bassin versant donné (séries de précipitations et de températures par exemple, séries qui sont les entrées du modèle hydrologique) en une série de débits (sortie du modèle hydrologique) ;
- ❖ **Nappe souterraine** : Ensemble de l'eau contenue dans une fraction perméable de la croûte terrestre totalement imbibée, conséquence de l'infiltration de l'eau dans les moindres interstices du sous-sol et de son accumulation au-dessus d'une couche imperméable ;
- ❖ **Nappe captive** : Volume d'eau souterraine généralement à une pression supérieure à la pression atmosphérique car isolée de la surface du sol par une formation géologique imperméable. Une nappe peut présenter une partie libre et une partie captive. Les nappes captives sont souvent profondes, voire très profondes (1000 m et plus) ;
- ❖ **Nappe libre** : Volume d'eau souterraine dont la surface est libre, c'est-à-dire à la pression atmosphérique. La surface d'une nappe libre fluctue donc sans contrainte. Ces nappes sont souvent peu profondes ;
- ❖ **Nappe d'accompagnement (ou nappe alluviale)** : Nappe d'eau souterraine voisine d'un cours d'eau dont les propriétés hydrauliques sont très liées à celles du cours d'eau. L'exploitation d'une telle nappe induit une diminution du débit d'étiage du cours d'eau, soit parce que la nappe apporte moins d'eau au cours d'eau, soit parce que le cours d'eau se met à alimenter la nappe ;
- ❖ **Piézométrie** : Hauteur du niveau d'eau dans le sol. Elle est exprimée soit par rapport au sol en m, soit par rapport à l'altitude zéro du niveau de la mer en m NGF (Nivellement Général Français). La surface de la nappe correspond au niveau piézométrique ;
- ❖ **QMNA5** : Le QMNA5 correspond au débit moyen mensuel minimum de période de retour 5 ans, c'est-à-dire ayant une chance sur cinq de ne pas être dépassé pour une année donnée.
- ❖ **Radier** : Partie d'un cours d'eau peu profonde à écoulement rapide dont la surface est hétérogène et « cassée » au-dessus des graviers/galets ou des substrats de cailloux.
- ❖ **Rang de Strahler** : Rang d'un cours d'eau déterminé d'après la méthode de Strahler, méthode communément retenue car simple à mettre en œuvre. Dans cette méthode, les cours d'eau issus d'une source sont notés de rang 1, puis chaque fois que deux tronçons de même ordre confluent, ils forment un tronçon d'ordre supérieur, tandis qu'un cours d'eau qui reçoit un affluent d'ordre inférieur conserve le même ordre ;
- ❖ **Recalibrage** : Intervention sur une rivière consistant à reprendre en totalité le lit et les berges du cours d'eau dans l'objectif prioritaire d'augmenter la capacité hydraulique ;
- ❖ **Régime pluvial** : Le régime pluvial est un modèle de régime hydrologique simple (caractérisé par une seule alternance annuelle de hautes et de basses eaux). Il se retrouve dans les bassins versants principalement alimentés par des précipitations sous forme de pluie ;
- ❖ **Reproducteur** : dans le cadre du rapport, désigne les brochets en âge de procréer.
- ❖ **Réservoir biologique** : Les réservoirs biologiques correspondent à des espaces vitaux pour la biodiversité aquatique : ce sont des espaces de vie pour la flore et la faune, habitats, zones de reproduction, nourriceries ou refuges.

- ❖ **Ressuyage** : Dans le contexte de ce rapport, retrait de l'eau de la zone provoquant son assèchement ;
- ❖ **Salmonicole** : Se dit des cours d'eau Frais et oxygénés où vivent les poissons appartenant à la famille des Salmonidés dont l'espèce repère est la truite fario ;
- ❖ **Socle** : Les domaines de « socle » en géologie concernent les régions constituées d'un ensemble rocheux induré, composé de roches cristallines, plutoniques (granite, roches basiques...) et de celles résultant du métamorphisme de roches sédimentaires (gneiss, schistes, micaschistes...) ;
- ❖ **Station hydrologique ou hydrométrique** : Une station hydrologique, également appelée station hydrométrique, sert à l'observation d'un ou de plusieurs éléments déterminés en vue de l'étude de phénomènes hydrologiques. Dans le cadre de la présente étude, l'élément concerné est le débit ;
- ❖ **Surévaporation** : La surévaporation désigne la portion de la quantité d'eau évaporée par un plan d'eau artificiel qui n'aurait pas été évaporée si ce plan d'eau n'existait pas ;
- ❖ **Unité de gestion** : Dans le cadre de cette étude, une unité de gestion désigne une zone géographique dont les délimitations sont hydrologiquement cohérentes, au sein de laquelle des caractéristiques spécifiques ont été identifiées, du point de vue de l'hydrologie, des milieux, des usages et du climat.

8.2 Acronymes

- AELB : Agence de l'Eau Loire-Bretagne
- AEP : Alimentation en Eau Potable
- ANC : Assainissement non collectif
- BD ERU : Base de Données des Eaux RésiduaireS UrbaineS
- BRO : Brochet
- BV : Bassin Versant
- CA : Chambre d'Agriculture
- CLE : Commission Locale de l'Eau
- DCR : Débit de Crise
- DDT : Direction Départementale des Territoires
- DOE : Débit Objectif d'Etiage
- DRAAF : Direction Régionale de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Forêt
- DSA : Débit Seuil d'Alerte
- EDL : Etat Des Lieux
- ENS : Espace Naturel Sensible
- ETP : Evapotranspiration Potentielle
- HMUC : Hydrologie, Milieux, Usages, Climat
- INSEE : Institut national de la statistique et des études économiques
- IPR : Indice Poisson Rivière
- ONDE : Observatoire National Des Etiages
- RCP : Representative Concentration Pathways
- REH : Réseau d'Evaluation des Habitats
- SAGE : Schéma d'Aménagement et de Gestion de l'Eau
- SDAGE : Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion de l'Eau
- SISPEA : Système d'Informations sur les Services Publics d'Eau et d'Assainissement
- STEU : Station de Traitement des Eaux Usées
- TRF : Truite Fario
- UG : Unité de Gestion
- ZNIEFF : Zone naturelle d'intérêt écologique, faunistique et floristique

9. ANNEXES

9.1 Annexe 1 : Données valorisées et hypothèses formulées pour le bilan des usages

9.1.1 Population

La connaissance de la démographie et de son évolution au sein du territoire d'étude est nécessaire pour l'estimation des volumes et de leur répartition temporelle pour certains usages (AEP, assainissement).

9.1.1.1 Données valorisées

- ❖ La population INSEE par commune pour les années 1999 et de 2006 à 2018 (historique des populations communales diffusées selon la géographie en vigueur au 1er janvier 2020) ;
- ❖ L'évolution INSEE de la population de 2013 à 2050 à l'échelle départementale, selon les projections du scénario central (INSEE, Omphale 2017), scénario qui retient les hypothèses centrales sur les trois composantes de l'évolution du nombre d'habitants : fécondité, mortalité et migrations.

9.1.1.2 Hypothèses de calcul

- ❖ Pour la période 2000-2019, la donnée INSEE de chaque commune des années 1999 et de 2006 à 2018 a été utilisée. Pour les années 2000-2005 et 2019 (donnée manquante), la population a été estimée par régression linéaire.
- ❖ A partir de l'année 2019 jusqu'à 2050, les taux de croissance annuels moyens de la population par département définis dans le cadre du Scénario central de l'INSEE ont été utilisés

9.1.2 Alimentation en eau potable (AEP)

9.1.2.1 Données valorisées

- ❖ Les volumes annuels prélevés par point de captage et la description de ces points (ressource prélevée superficielle ou souterraine, masse d'eau concernée), sur la période 2000-2019, acquis auprès de l'Agence de l'eau Loire-Bretagne ;
- ❖ Volumes annuels et mensuels de la CUA, du Mans Métropole, du SIAEP du Perche Sud et du SIAEP de la région de Sillé-le-Guillaume)
- ❖ Clés de répartition construites grâce aux répartitions mensuelles analysées selon leurs localisation (milieu urbain ou rural)

9.1.2.2 Hypothèses de calcul

- ❖ Les prélèvements sur source et en nappe libre sont considérés comme étant des prélèvements superficiels
- ❖ Concernant les points de captage dont la répartition mensuelle des volumes prélevés n'est pas connue, les clés de répartition sont appliquées

9.1.3 Irrigation

9.1.3.1 Données valorisées

- ❖ Les volumes annuels prélevés par point de captage et la description de ces points (ressource prélevée superficielle ou souterraine, masse d'eau concernée), sur la période 2000-2019, acquis auprès de l'AELB ;
- ❖ Les surfaces irriguées par type de culture, reconstituées à l'aide des données du Registre parcellaire Graphique (RPG) et du Recensement Général Agricole (RGA) ;

9.1.3.2 Hypothèses de calcul

- ❖ Les prélèvements sur source, en nappe alluviale et en nappe profonde sont considérés comme étant :
 - Superficiels dès lors que le captage se trouve à moins de 6 mètres de profondeur et à proximité du cours d'eau ;
 - Souterrains dès lors que le captage se trouve à plus de 6 mètres de profondeur et/ou éloigné du cours d'eau ;
- ❖ Pour les points de captages et les années auxquels la répartition mensuelle des volumes prélevés n'est pas connue (à l'exception des retenues déconnectées du réseau hydrographique) :
 - Pour la période estivale (avril-octobre) : ventilation selon le besoin en eau théorique des plantes (voir paragraphe 5.2.5 du rapport du volet « usages » pour plus de détails).
- ❖ Pour les prélèvements en retenues déconnectées du réseau hydrographique, la répartition infra-annuelle des prélèvements se fait selon les mêmes hypothèses que celles énoncées pour la surévaporation des plans d'eau (voir 9.1.6.2)

9.1.4 Abreuvement du bétail

9.1.4.1 Données valorisées

- ❖ Nombre de têtes par type de bétail en 2000 et 2010, à partir du Recensement Général ;
- ❖ Repères sur les consommations des différents types de bétail de la part de la CA PdL
- ❖ SAA à l'échelle départementale de la part des DRAAF PdL et Normandie

9.1.4.2 Hypothèses de calcul

- ❖ Origine de l'eau utilisée :
 - Elevages bovins (viande) : 25% des prélèvements proviennent des réseaux AEP. Les 75 % restants proviennent du milieu naturel ;
 - Elevages bovins (lait) : 60% des prélèvements proviennent des réseaux AEP et 40% du milieu naturel ;
 - Elevages porcins et volailles : 80% des prélèvements proviennent des réseaux AEP et 20% du milieu naturel ;
 - Elevages ovins et caprins : 70% des prélèvements proviennent des réseaux AEP et 30% du milieu naturel. Sur le territoire du SAGE Sarthe amont, les élevages d'ovins et caprins sont minoritaires.
- ❖ Répartition superficiel / souterrain :
 - Pour les élevages bovins (viande), les 75% prélevés dans le milieu naturel sont répartis comme suit :

- 60% eaux souterraines / 15% eaux superficielles ;
 - Pour les élevages bovins (lait), les 40% prélevés dans le milieu naturel proviennent des eaux superficielles ;
 - Pour les élevages porcins et volaille, les 20% prélevés dans le milieu naturel proviennent des eaux superficielles.
- ❖ Consommation journalière par type de bétail donnée au tableau suivant.

Tableau 9 : Consommation journalières par type de cheptel (Sources : CD 53, Massabie et AI, Lithologic)

Type de Cheptel	Consommation moyenne à l'année (L/j)	Consommation moyenne en période estivale (L/j)
Bovins		
Vaches allaitantes	55	66
Vaches laitières	73	80
Bovins de moins de 1 an	16	20
Bovins de 1 an ou plus	28	34
Caprins		
Ovins	5	6
Porcs		
Truies	21	24
Volailles		
	0,16	0,19

9.1.5 Prélèvements industriels

9.1.5.1 Données valorisées

- ❖ Les volumes annuels prélevés par point de captage et la description de ces points (ressource prélevée superficielle ou souterraine, masse d'eau concernée), sur la période 2000-2019, acquis auprès de l'AELB ;
- ❖ Fichier de volumes prélevés par établissement industriel et par masse d'eau (base de données GEREP) transmis par la DRAAF PdL
- ❖ Volumes pour la brumisation et l'arrosage des piste transmis par la carrière de Boitron

9.1.5.2 Hypothèses de calcul

- ❖ Ressource prélevée :
 - Cours d'eau = eau superficielle ;
 - Source = eau superficielle ;
 - Nappe profonde = eau souterraine ;
 - Retenue sur source = eau superficielle.

- ❖ Répartition uniforme sur l'année des prélèvements industriels

9.1.6 Cas particulier des plans d'eau

9.1.6.1 Données valorisées

- ❖ Inventaires des plans d'eau du SbS
- ❖ Données météorologique SAFRAN couvrant l'intégralité du secteur d'étude.

9.1.6.2 Hypothèses de calcul

- ❖ Le calcul du volume d'eau prélevé au milieu naturel en lien avec la présence de plans d'eau s'effectue en établissant la différence (appelée surévaporation) entre le volume évaporé par les plans d'eau et le volume qui serait évapotranspiré par des prairies de surface équivalente. Ce calcul s'appuie sur le principe du bilan hydrique ;
- ❖ Concernant la répartition infra-annuelle de l'effet de cette surévaporation, une distinction est faite entre les plans d'eau considérés connectés au réseau hydrographique et ceux considérés déconnectés de ce dernier :
 - Pour les plans d'eau connectés, la surévaporation se traduit instantanément par un prélèvement au milieu ;
 - Pour les plans d'eau déconnectés, le prélèvement au milieu naturel intervient lors du remplissage de ces derniers, qui peut avoir lieu de manière décalée par rapport à la surévaporation. Le remplissage de ces plans d'eau se faisant par ruissellement, on s'appuie donc sur la part ruisselée des hydrogrammes pour calculer la répartition infra-annuelle du prélèvement associé.
- ❖ Sont considérés connectés au réseau hydrographique :
 - Tous les plans d'eau situés dans les alluvions récentes sur la Sarthe ;
 - Les plans d'eau situés dans une bande de 50 m de part et d'autre du cours d'eau pour les cours d'eau avec largeur plein bord > 3m (Source SYRAH, BD Topage) ;
 - Tous les plans d'eau situés dans une bande de 25 m de part et d'autre du cours d'eau pour les cours d'eau avec largeur plein bord < 3 m (Source SYRAH, BD Topage).

9.1.7 Pertes dans les réseaux de distribution d'eau potable

9.1.7.1 Données valorisées

- ❖ Rendements des réseaux de distribution AEP par gestionnaire sur les années 2008-2019, à partir de la base de données SISPEA et RPQS par syndicat

9.1.7.2 Hypothèses de calcul

- ❖ $\text{Volume pertes AEP} = \text{Population} * \text{Dotation hydrique} * (1/\text{Rendement} - 1)$
- ❖ Les rendements n'ayant pas pu être collectés pour l'ensemble des collectivités ni sur l'ensemble de la période d'étude (BD SISPEA, RPQS), nous compléteront la base de données comme suit :

- Sur les années 2000-2007, sur lesquelles la donnée est manquante, les rendements seront considérés égaux à ceux de l'année 2008 ;
 - Sur les années 2008-2019, les rendements manquants seront considérés égaux à ceux observés sur les années les plus proches pour lesquelles il existe de la donnée ;
 - Pour les communes dont le rendement n'est pas connu, on prendra le rendement moyen annuel calculé d'après l'ensemble des rendements connus.
- ❖ Dotation hydrique = volume consommé / population desservie. Si l'information n'est pas disponible (BD SISPEA, RPQS), on se référera à la moyenne des données disponibles ;
 - ❖ Application des clés de répartition définies pour les volumes prélevés AEP
 - ❖ un taux de retour au milieu naturel de 0% en période estivale (on considérera 3 mois de sécheresse des sols entre juillet et septembre, pertes instantanément évaporées/évapotranspirées) et de 50% le reste de l'année.
 - ❖ Pertes vers le milieu superficiel

9.1.8 Rejets d'assainissement collectif (AC)

9.1.8.1 Données valorisées

- ❖ Fichier des STEU avec type de traitement, coordonnées points de rejets, type du milieu de rejet et débit entrant (m³/j), de 2009 à 2019, à partir de la BD ERU ;

9.1.8.2 Hypothèses de calcul

- ❖ Le débit de sortie d'une STEU, sur la période 2009-2019, est considéré égal à son débit d'entrée, renseigné dans la BD ERU ;
- ❖ Pour les STEU dont les données annuelles sont lacunaires entre 2009 et 2019, on utilisera si la donnée est disponible sur d'autres années, la moyenne de ces valeurs. Si aucune donnée n'est disponible, une extrapolation sera faite par comparaison aux STEU présentant la même filière, le même type de réseau (unitaire / séparatif) ainsi que des capacités EH similaires.
- ❖ Sur la période 2000-2012 nous utilisons les données disponibles en sortie de station de l'étude de détermination de référence de 2015 (Suez Consulting, 2015)
- ❖ Sur la période 2000-2008 pour laquelle la BD ERU et dont l'étude de détermination de débit de référence de 2015 ne fournit pas de données, il sera considéré un débit de sortie égal à la moyenne des débits de sortie 2009-2019.
- ❖ Pour les STEU dont les rejets sont effectués vers le sol (infiltration), ou présentant un système de traitement par lagunage, un taux de retour de 0% en été et de 50% en hiver sera considéré pour tenir compte de l'évaporation.
- ❖ Le compartiment réceptionnant les rejets de STEP est le milieu superficiel

9.1.9 Rejets d'assainissement non collectif (ANC)

9.1.9.1 Données valorisées

- ❖ Nombre d'installations ANC :
 - SbS
 - SPANC
- ❖ Population communale (INSEE) et taux d'occupation des foyers (DDT 72)

9.1.9.2 Hypothèses de calcul

- ❖ Sur 2000-2019, le nombre d'installations d'assainissement non collectif annuel par commune est estimé égal à celui de 2019.
- ❖ Les volumes rejetés via l'ANC sont alors estimés selon la formule suivante :

Volume rejeté (m³/an) = Nombre d'installations * Taux d'occupation des foyers (hbt/installation) * volume rejeté par habitant (m³/hbt/an)

- ❖ Taux d'occupation des foyers : Sur la base du Schéma départemental d'assainissement de la Sarthe (72), on considère un nombre de personnes raccordées par installation ANC de 2,5 hbt/installation sur la période 2000-2019.
- ❖ Volume rejeté par habitant : on considère un volume journalier moyen rejeté par habitant de 80 L /j sur la période 2000-2019 (sources : Syndicat du Bassin de la Sarthe amont et Schéma départemental d'assainissement de la Sarthe).

9.1.10 Rejets industriels

9.1.10.1 Données valorisées

- ❖ Rejets industriels sur le bassin et base de données GEREP (DREAL PdL)

9.1.10.2 Hypothèses de calcul

- ❖ Lorsque le milieu récepteur n'est pas connu pour un industriel, nous considérons que les rejets sont en eau superficielle.
- ❖ Pour les établissements cités dans la base de données GEREP, les volumes annuels disponibles sur la période 2010-2018 sont utilisés. Pour les années manquantes, les volumes seront considérés égaux aux volumes rejetés des années les plus proches (généralement l'année 2011).
- ❖ Pour les industries dont le volume rejeté n'est pas connu mais pour lesquels nous connaissons les volumes prélevés (AELB), nous considérerons qu'ils représentent 80% des volumes prélevés par l'établissement.
- ❖ Les volumes utilisés pour l'arrosage des pistes et la brumisation dans les carrières ne retournent pas au milieu et ne sont alors pas considérés dans les rejets
- ❖ Répartition uniforme

9.2 Annexe 2 : Définitions relatives à la compréhension de concepts hydrologiques

- ❖ **Evapotranspiration potentielle (ETP)** : Quantité maximale d'eau susceptible d'être évaporée par évapotranspiration sous un climat donné par un couvert végétal continu bien alimenté en eau. Elle comprend donc l'évaporation du sol/substrat et la transpiration de la végétation d'une région donnée pendant le temps considéré. Elle s'exprime en hauteur d'eau.
- ❖ **Précipitations nettes théoriques** : Soustraction des précipitations par l'ETP.
- ❖ **Débit** : Volume d'eau qui traverse un point donné d'un cours d'eau dans un laps de temps déterminé.
- ❖ **Débit spécifique** : Débit divisé par la superficie du bassin versant drainé. Ce type de donnée permet de comparer le comportement hydrologique de cours d'eau de différents ampieurs.
- ❖ **Débit de base** : Part du débit total d'un cours d'eau provenant du compartiment souterrain. L'autre composante du débit total est le débit ruisselé.
- ❖ **Module : Débit moyen interannuel**

Le module est la **moyenne des débits moyens annuels** calculés sur une année hydrologique et sur l'ensemble de la période d'observation de la station. Ce débit donne une indication sur le volume annuel moyen écoulé et donc sur la disponibilité globale de la ressource d'un bassin versant. Il doit être calculé sur une période d'observations suffisamment longue pour être représentative des débits mesurés ou reconstitués.

Il a valeur de référence réglementaire, notamment dans le cadre de l'article L214-18 du code de l'environnement et de sa circulaire d'application du 5 juillet 2011 fixant au dixième du module désinfluencé la valeur plancher du débit à laisser en aval d'un ouvrage dans le lit d'un cours d'eau.

- ❖ **Débit moyen mensuel (QMM)** : Moyenne, pour un mois donné, des débits moyens journaliers mesurés

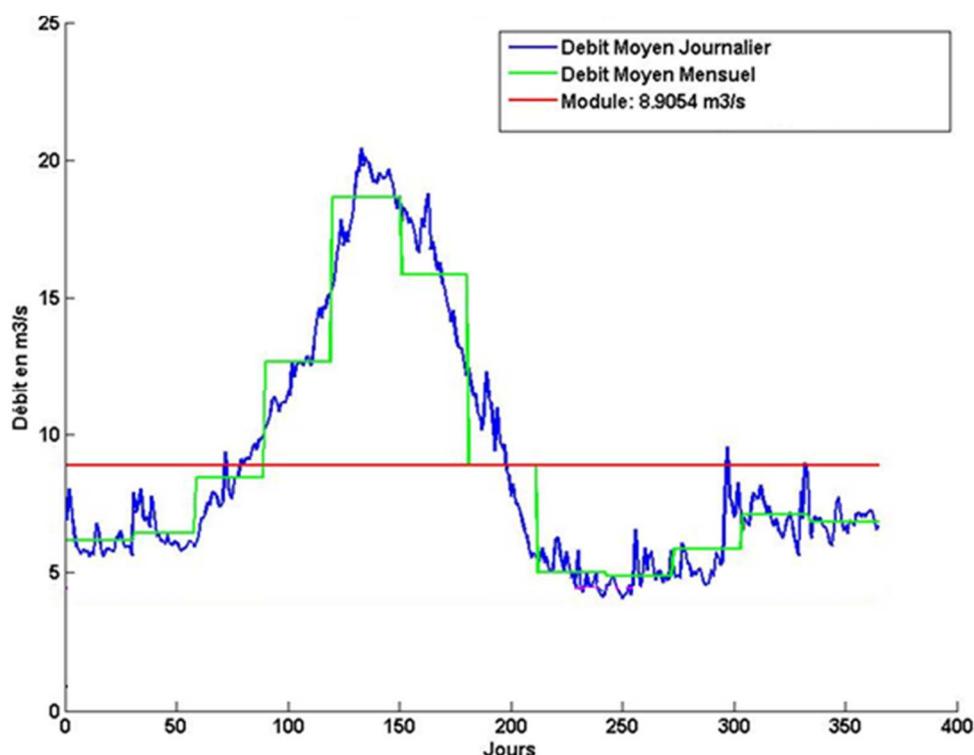


Figure 20 : Exemple de représentation graphique du débit moyen journalier, du débit moyen mensuel et du module d'un cours d'eau sur une année donnée

❖ Basses eaux

Écoulement ou niveau d'eau le plus faible de l'année, mesuré par la hauteur d'eau ou le débit. Durant une période de basses eaux ou d'étiage, le cours d'eau n'occupe que son lit mineur. La période des basses eaux correspond à la période où le débit du cours d'eau est inférieur à son module.

❖ Etiage

Une certaine ambiguïté subsiste quant à la définition du terme « étiage ». Ces dernières convergent toutefois vers les notions suivantes :

- Une période durant laquelle le débit du cours d'eau considéré est non seulement inférieur au module, mais, de plus, particulièrement bas. Cette période peut être identifiée comme étant celle durant laquelle le débit est inférieur à une valeur « seuil » calculée statistiquement selon des modalités choisies en fonction de la situation considérée ;
- Une période durant laquelle le niveau des nappes est également particulièrement bas ;
- Un événement qui n'est pas nécessairement exceptionnel. Ceci dépend de la sévérité de l'étiage, qui doit être caractérisée au moyen d'indicateurs statistiques appropriés ;
- Une période durant laquelle seules les nappes, en voie d'épuisement, contribuent au débit du cours d'eau (absence de pluie) ;
- Un événement qui se décrit non seulement par la valeur de débit non-dépassée, mais également par sa durée.

Quelle que soit la définition considérée, un étiage s'identifie, se caractérise et se délimite à l'aide d'au moins un indicateur nommé « débit caractéristique d'étiage ». Ce dernier peut se définir à partir de débits journaliers, de débits mensuels, ou encore de moyennes mobiles calculées sur plusieurs jours. Il est également possible de caractériser les étiages à partir d'un débit seuil, en comptabilisant le nombre de jours sous ce seuil.

Afin de pouvoir bien appréhender la complexité d'un étiage, il est préférable de s'appuyer sur une série de débits caractéristiques d'étiage différents, et non un seul. La définition des principaux types de débits caractéristiques d'étiage est détaillée ci-après.

❖ **QMNA : Débit moyen mensuel minimum de l'année**

Il s'agit de la variable usuellement employée par les services gestionnaires pour caractériser les étiages d'un cours d'eau. Il s'agit, pour une année donnée, du débit moyen mensuel (= moyenne des débits journaliers sur un mois) le plus bas de l'année.

❖ **QMNA5 : Débit d'étiage quinquennal**

Le QMNA5 correspond au débit moyen mensuel minimum de période de retour 5 ans, c'est-à-dire ayant une chance sur cinq de ne pas être dépassé pour une année donnée.

Le QMNA5 est également mentionné dans la circulaire du 3 août 2010 du ministère en charge de l'écologie (NOR : DEVO1020916C) : « Le débit de l'année quinquennale sèche correspond, en se référant aux débits des périodes de sécheresse constatés les années précédentes, à la valeur la plus faible qui risque d'être atteinte une année sur cinq. La probabilité d'avoir un débit supérieur à cette valeur est donc de quatre années sur cinq ». Le QMNA5, dont on peut considérer qu'il reflète indirectement un potentiel de dilution et un débit d'étiage typiques d'une année sèche, est utilisé dans le traitement des dossiers de rejet et de prélèvement en eau en fonction de la sensibilité des milieux concernés. Le QMNA5 sert en particulier de référence aux débits objectifs d'étiage (DOE - voir ce terme).

Le QMNA5 est une valeur réglementaire qui présente l'inconvénient d'être soumise à l'échelle calendaire. Les débits d'étiage peuvent en effet être observés durant une période chevauchant deux mois, induisant une surestimation du débit d'étiage par le QMNA. Pour cette raison, même si le QMNA5 reste une valeur réglementaire, l'évaluation des niveaux de débit en période d'étiage s'appuie préférentiellement sur des données journalières.

❖ **VCNd : Débit minimum de l'année calculé sur d jours consécutifs**

Les VCNd sont des valeurs extraites annuellement en fonction d'une durée fixée « d ».

- Le **VCN3** permet de caractériser une situation d'étiage sévère sur une courte période (3 jours).
- Les **VCN7** et **VCN10** correspondent à des valeurs réglementaires dans de nombreux pays et sont très utilisés d'une manière générale dans les travaux portant sur les étiages.

Nota : Il est intéressant de comparer le QMNA au VCN30. Le VCN30 correspond à la moyenne mobile la plus faible de l'année calculée sur 30 jours consécutifs, car il se rapproche en termes de durée de l'échelle mensuelle. Ces deux grandeurs devraient être proches, mais dans certains contextes des écarts importants peuvent apparaître, notamment lors d'années pluvieuses et dans le cas de bassins imperméables qui ont une réponse rapide aux impulsions pluviométriques.

❖ **Débit mensuel interannuel quinquennal sec (QMN5)**

Le débit mensuel interannuel quinquennal sec correspond pour un mois considéré, au débit mensuel qui a une probabilité de 4/5 d'être dépassé chaque année. Il permet de caractériser un mois calendaire de faible hydraulicité.

❖ **Débit d'étiage vs débit caractéristique d'étiage**

Un débit d'étiage consiste en une valeur caractérisant l'étiage d'un cours d'eau sur une période délimitée dans le temps. Exemples :

- Le QMNA de l'année 2010 correspond au débit mensuel (calendaire) le plus bas de l'année 2010 ;
- Le VCN10 de l'année 2011 correspond au plus bas débit calculé sur 10 jours consécutifs de l'année 2011.

Un débit caractéristique d'étiage consiste en une valeur issue d'une série de débits d'étiage et associée à une probabilité d'occurrence (ou fréquence). Exemples :

- Le VCN10 de période de retour 5 ans correspond au VCN 10 ayant une probabilité de 1/5 de ne pas être dépassé sur une année donnée ;
- Le QMNA5 correspond au QMNA ayant une probabilité de 1/5 de ne pas être dépassé sur une année donnée.

Dans le cadre de la présente étude, une gamme de débits caractéristiques d'été sera calculée en chaque point de référence :

- QMNA interannuel, QMNA2, QMNA5,
- Débits mensuels interannuels quinquennaux secs,
- VCN10 et VCN3 (annuel, biennal et quinquennal),
- 1/10ème module, 1/20ème module.

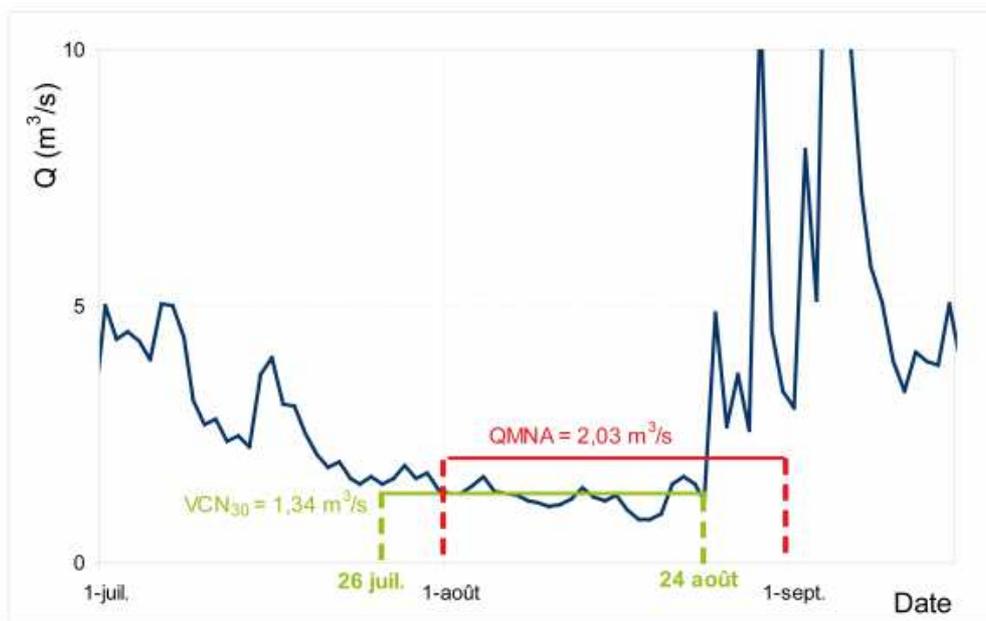


Figure 21 : Exemple de représentation graphique du VCN30 et du QMNA d'un cours d'eau donné sur une année donnée

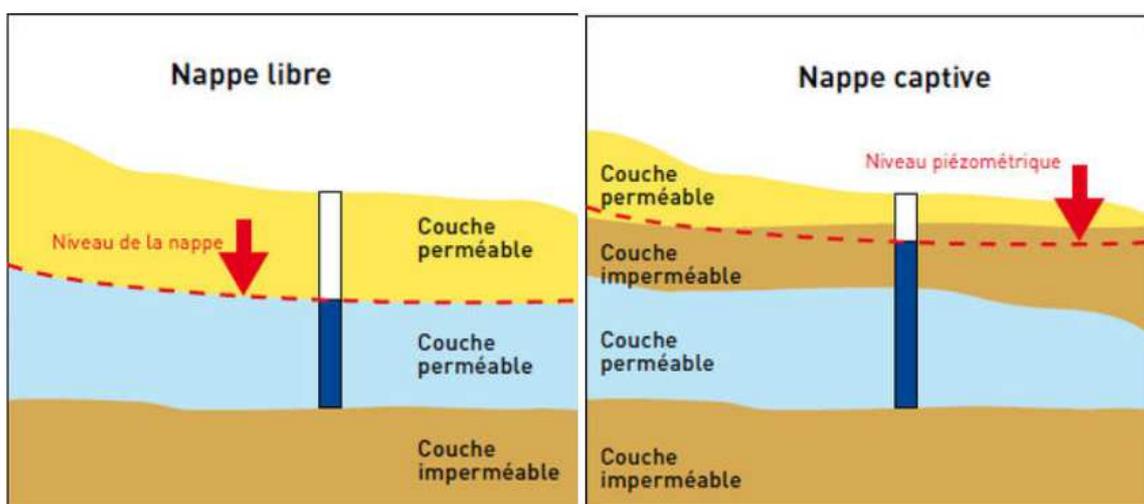


Figure 22 : Représentation schématique du niveau piézométrique dans un contexte de nappe libre (gauche) et de nappe captive (droite)

9.3 Annexe 3 : Identification et caractérisation des incertitudes

Le processus de modélisation hydrologique implique l'utilisation de données et de processus étant chacun **entachés d'une incertitude qui leur est propre**. Ces incertitudes se cumulent de manière complexe lors de la modélisation, ce qui implique que le résultat est lui aussi entaché d'une certaine incertitude.

Les paragraphes suivants ont pour objectif de présenter les différentes sources d'incertitude rencontrées, la manière dont elles s'articulent entre elles et leur effet sur les résultats de modélisation.

9.3.1 Incertitudes et biais sur les données utilisées

9.3.1.1 Incertitudes liées aux mesures réalisées

Les mesures réalisées par les stations hydrométriques, piézométriques et météorologiques sont entachées d'une incertitude liée à la nature imparfaite des instruments de mesure et de leur mode de fonctionnement. Pour les stations hydrométriques par exemple, la courbe de tarage n'a pas toujours la précision adéquate pour représenter correctement les débits d'étiage. On peut également retrouver parfois des lacunes, voire des valeurs aberrantes, dans les chroniques de mesure.

Les mesures hydrométriques et piézométriques peuvent être affectées par des phénomènes perturbateurs ayant lieu à proximité de la station (modification de la forme du lit du cours d'eau, présence d'un prélèvement en nappe à proximité d'un piézomètre). Lorsque ceci a lieu, la mesure est plus ou moins faussée, selon l'ampleur de l'élément perturbateur.

9.3.1.2 Incertitudes sur l'estimation de données non directement mesurées

L'évapotranspiration est calculée à partir de la mesure de différents paramètres météorologiques (température, rayonnement...). Elle est donc affectée d'une incertitude provenant à la fois de la mesure de ces différents paramètres, mais également de la méthode de calcul permettant de les transcrire en ETP.

Les chroniques d'usage employées sont entachées d'une certaine incertitude du fait des lacunes de données les concernant et des hypothèses ayant dû être prises en conséquence de cela.

9.3.2 Incertitudes sur la modélisation

9.3.2.1 Incertitudes liées à la simplification des phénomènes représentés

La modélisation réalisée, qui est globale et conceptuelle, constitue comme toute modélisation une simplification de la réalité, introduisant des incertitudes. En effet, les phénomènes de transfert d'eau représentés sont susceptibles d'avoir lieu de manière sensiblement différente dans la réalité. Ainsi, les résultats obtenus peuvent omettre ou représenter de manière imparfaite certains facteurs influençant les débits, ce qui peut introduire des incertitudes et biais sur ces derniers, qui subsisteraient même en présence d'un calage « parfait ». On peut notamment citer l'absence de prise en compte du temps de transfert du débit.

9.3.2.2 Incertitude liée à la représentativité des chroniques observées utilisées

Les chroniques piézométriques sont issues de piézomètres qui peuvent, selon les cas, témoigner d'un comportement plus ou moins généralisé de la nappe sur l'ensemble du bassin versant modélisé. Ainsi, ils constituent en ce sens des indicateurs approximatifs.

9.3.2.3 Incertitudes liées à l'initialisation de la modélisation

Le modèle est initialisé en répliquant les années 2000 à 2004 deux fois. Ceci permet d'obtenir un état initial cohérent sur la période d'analyse, en ajustant les conditions initiales du modèle sur une situation typique du bassin étudié. Comme le la triple réplification de l'année 2000 n'est pas strictement équivalente aux phénomènes s'étant effectivement déroulés entre 1990 et 2000, des incertitudes et biais sur les phénomènes modélisés peuvent en découler.

9.3.2.4 Incertitudes liées aux courtes chroniques de mesure

Lorsqu'un modèle est calé sur une chronique courte, sa capacité à bien représenter les phénomènes ayant lieu sur le système représenté en dehors de la période de cette chronique est moins fiable que lorsque la chronique de calage est longue.

9.3.2.5 Incertitudes liées à la nature imparfaite du calage

Le calage réalisé sur le modèle hydrologique permet d'obtenir, au niveau de la station hydrométrique, une chronique de débit s'approchant de celle mesurée. Cependant, en pratique, la correspondance n'est jamais parfaite et quelques différences subsistent.

9.3.2.6 Incertitudes liées à la transcription d'un modèle sans ajustement de calage

Lorsque l'on cherche à représenter le débit d'un bassin versant ne disposant pas de données hydrométriques, on peut avoir recours à l'utilisation d'un calage réalisé sur un autre bassin versant, ce qui est susceptible d'entraîner des incertitudes et biais.

9.3.3 Incertitudes sur les indicateurs statistiques liées à l'échantillonnage

La période de modélisation de la présente étude est de 20 ans (2000-2019). C'est donc sur cette période que l'on dispose de données pour calculer les débits caractéristiques qui répondent aux objectifs de la présente étude.

Pour obtenir des valeurs plus robustes, il serait préférable de se baser sur une chronique de débits plus longue (d'au moins 25 ans). Une solution alternative pour fiabiliser les QMNA5 consisterait à appliquer, à partir de chroniques météorologiques longues, un calcul permettant d'en corriger la valeur (Source : ONEMA 2015).

9.3.4 Prise en compte et quantification des incertitudes

A l'exception des données d'usages de l'eau (chroniques de prélèvements et rejets), toutes les incertitudes liées aux données d'entrée (données météorologiques) et à la modélisation ont un impact sur le calage du modèle sur les données de calage (par exemple les chroniques débitmétriques). Elles se retrouvent donc en quelque sorte « intégrées » à l'incertitude de calage des phénomènes représentés sur les valeurs mesurées.

Il subsiste l'incertitude sur les données d'usages et sur les données de calage.

Concernant les données d'usage, leur incertitude a été appréhendée au cours de l'élaboration du rapport de bilan des usages par la définition de marges de confiance. Cette incertitude se répercute sur les valeurs obtenues lors de la reconstitution de l'hydrologie influencée et désinfluencée, à partir des modèles calés.

Concernant les données de calage (chroniques hydrométriques, piézométriques...), les incertitudes associées peuvent être relativement complexes à interpréter et à quantifier. Cependant, un travail de fiabilisation est réalisé par les organismes producteurs, et si des données demeurent trop incertaines pour être raisonnablement utilisées, cela est déclaré (données qualifiées de « validées douteuses »). Dans le cadre de la présente étude, seules les données hydrométriques non invalidées par Hydroportail sont exploitées.

9.4 Annexe 4 : Choix des stations de référence pour l'application du protocole ESTIMHAB

La mise en œuvre du protocole ESTIMHAB passe par plusieurs étapes qui sont décrites ci-après, à savoir :

1. **Identification et caractérisation** du site d'étude ;
2. **Campagnes de terrain** ;
3. **Saisie des données d'entrée** dans le modèle d'habitat.

9.4.1 Principes de localisation des sites

Le choix des tronçons d'étude pour l'application de la méthode ESTIMHAB est particulièrement important et nécessite une bonne connaissance du contexte global du cours d'eau.

Les tronçons de cours d'eau retenus doivent répondre aux **critères suivants** :

- ❖ Le **domaine de validité du protocole** doit être respecté ;
- ❖ La **morphologie du tronçon étudié** doit être naturelle ou peu modifiée. Les secteurs canalisés, rectifiés, aménagés.... sont à éviter ; Ainsi, une alternance de faciès morphologiques représentative du cours d'eau (radiers, plats, mouilles) est préférable, se traduisant généralement par des vitesses d'écoulement variables le long du tronçon ;
- ❖ **L'accès au cours d'eau doit être aisé et sans danger** ;
- ❖ La **proximité relative de stations hydrométriques** permettant un suivi des débits dans le cours d'eau est à privilégier ;
- ❖ **L'absence d'assecs naturels** sur le cours d'eau investigué. En effet, l'application du protocole n'a de sens que si les conditions naturelles du cours d'eau en période de basses eaux sont susceptibles de permettre le développement piscicole, ce qui n'est pas le cas en cas d'assecs.

L'ensemble de ces conditions ont été respectées lors de l'inspection de terrain. En particulier, les tronçons retenus encadrent bien les secteurs à diversité de faciès accrue. Dans notre cas, la majorité des cours d'eau du territoire présente une morphologie relativement dégradée. Les secteurs les moins altérés (avec une alternance de faciès maximisée) ont été sélectionnés lors d'une campagne de terrain en concertation avec les acteurs locaux.

9.4.2 Localisation des sites

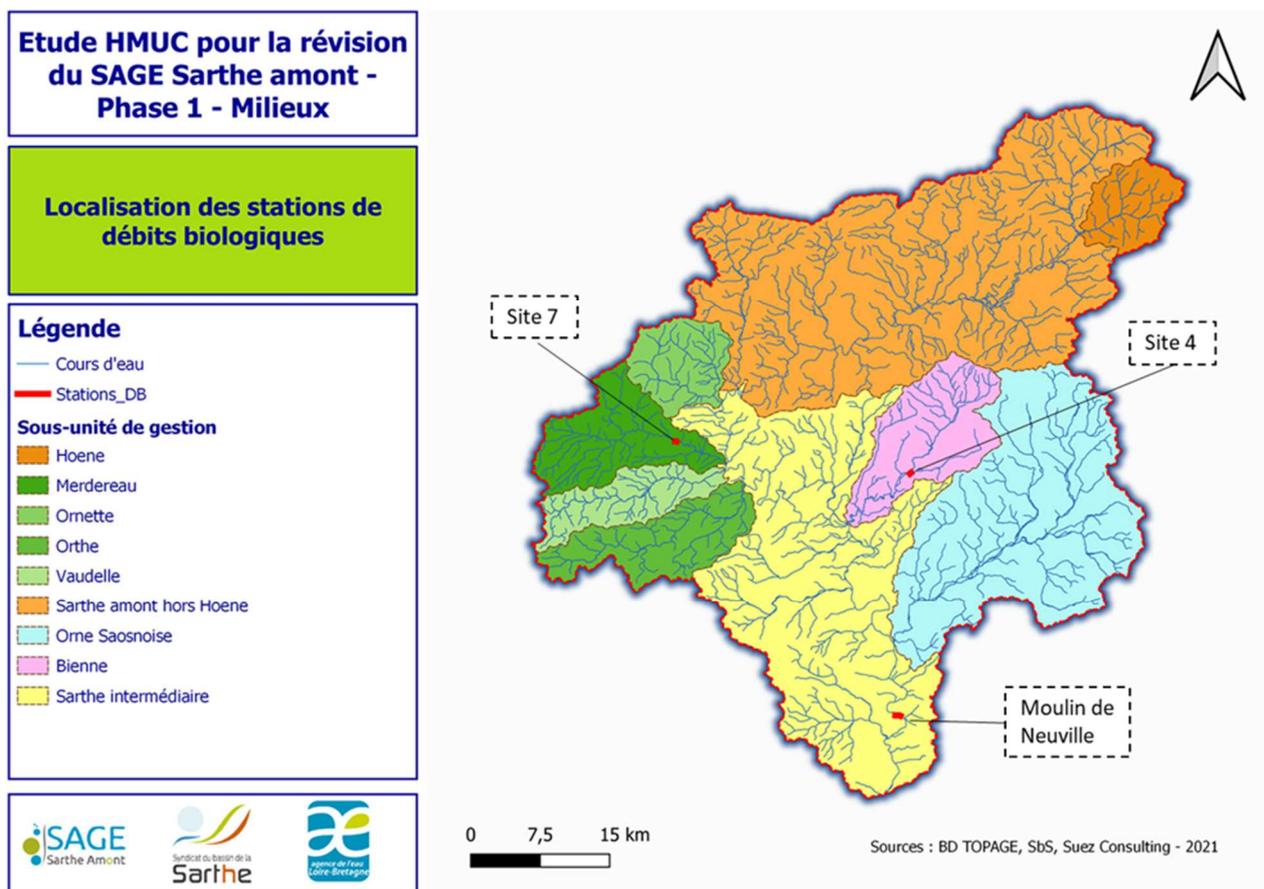


Figure 23 : Localisation des stations ESTIMHAB

9.4.3 Campagne de terrain et contrôle de validité du modèle

Deux campagnes de terrains ont été réalisées. Le 14/09/2022 est la date de campagne de basses eaux (débit Q1). La seconde campagne a été réalisée le 07/12/2021 en période de moyennes eaux (débit Q2).

- Les valeurs hydrologiques (Q50) sont issues de l'étude de la banque de données HYDRO disponible.
- Une veille hydrologique a permis de valider les dates de terrain de manière que $Q2 > 2*Q1$, condition préalable à la mise en place de la modélisation ESTIMHAB.

Tableau 10 : Contrôle de vérification pour les stations étudiées

UG	Pente du cours d'eau < 5%	$Q2 > Q1 * 2$	$Q50 > Q1 / 10$	$5 * Q2 > Q50$	Hauteur d'eau moyenne < 2m	longueur au moins égale à 15 fois largeur	nb Transects ≥ 15	Exposant de géométrie hydraulique largeur compris entre 0 et 0.3	Exposant de géométrie hydraulique hauteur compris entre 0.2 et 0.6
Bienne	OK	OK	OK	OK	OK	pas OK	OK	OK	pas OK
Merdereau	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
Sarthe intermédiaire	OK	OK	OK	OK	OK	pas OK	OK	OK	OK

9.5 Annexe 5 : Références bibliographiques pour l'analyse du changement climatique

Agence de l'eau Loire-Bretagne. 2018. « Plan d'adaptation au changement climatique pour le bassin Loire Bretagne ».

Beaufort, Aurélien, Florentina Moatar, et Florence Curie. 2015. Températures des cours d'eau : analyse des données et modélisation, application au bassin de la Loire. Université François Rabelais de Tours, Laboratoire GÉHCO-GéoHydrosystèmes.

Dayon, Gildas. 2015. « Evolution du cycle hydrologique continental en France au cours des prochaines décennies ». Université Toulouse 3 Paul Sabatier.

Ducharne, Agnès, Dominique Thiéry, Eric Sauquet, Jean-Philippe Vidal, Alexis Bernard, Vincent Bustillo, et Florentina Moatar. 2010. Impact du Changement Climatique sur l'hydrosystème Loire : HYDROlogie, Régime thermique, QUALité des eaux. Université François Rabelais de Tours.

Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie. 2012a. Explore 2070 - Hydrologie souterraine Poitou Charente. BRGM/RP-61483-FR.

Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie. 2012b. Synthèse du projet Explore 2070 - Hydrologie souterraine. BRGM, Mines ParisTech.

Région Nouvelle Aquitaine. 2018. Anticiper les changements climatiques en Nouvelle-Aquitaine pour agir dans les territoires. 978-2-9564516-0-0.

Stollsteiner, Philippe. 2012. Explore 2070 - Evaluation de l'impact du changement climatique - Rapport final. RP-61483-FR-vol 1. BRGM.