

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 | Objectif 4 : Connaître l'état des ressources sans les prélèvements et rejets afin d'identifier leur fonctionnement sans activités anthropiques



CONSULTING

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

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

Phase 1 | Objectif 4 : Connaître l'état des ressources sans les prélèvements et rejets afin d'identifier leur fonctionnement sans activités anthropiques



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

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 | Objectif 4 : Connaître l'état des ressources sans les prélèvements, et le cas échéant les rejets, afin d'identifier par unité de gestion (superficielle et souterraines) leur fonctionnement sans activités anthropiques, tout en apportant des degrés d'incertitudes

Version	Rédacteur	Vérificateur	Date d'envoi	Commentaires
V1	Raphaël ZYLBERMAN	Max MENTHA	27/07/2022	Version initiale
V2	Raphaël ZYLBERMAN	Max MENTHA	01/12/2022	Version révisée suite au COTECH 4

SOMMAIRE

1..... PREAMBULE	9
1.1 Contexte de l'étude	9
1.2 Périmètre du territoire d'étude	10
1.3 Objectifs de l'étude	11
1.4 Déroulement de la mission.....	12
2..... DEFINITIONS PREALABLES.....	14
3..... RAPPEL DE LA SECTORISATION DU PERIMETRE.....	19
4..... RECONSTITUTION DE L'HYDROLOGIE DESINFLUENCEE	22
4.1 Objectifs et principes généraux	22
4.2 Méthodologie générale déployée	22
4.2.1 Reconstitution des débits influencés	22
4.2.2 Reconstitution des débits et niveaux désinfluencés	25
4.2.3 Quantification des intervalles de confiance	26
4.2.4 Stratégie de modélisation pour le bassin de la Sarthe amont.....	27
4.3 Modèles hydrologiques de calage et qualité associée.....	28
4.3.1 Hoëne.....	31
4.3.2 Sarthe amont.....	34
4.3.3 Ornette	37
4.3.4 Merdereau	41
4.3.5 Vaudelle	48
4.3.6 Orthe	55
4.3.7 Bienne	59
4.3.8 Orne Saosnoise.....	66
4.3.9 Sarthe intermédiaire	69
4.3.10 Synthèse sur le calage des modèles	71
4.4 Rappel du bilan des usages	73

4.5	Mise en perspective de l'hydrologie en régime influencé et désinfluencé et analyse des pressions	79
4.5.1	Hoëne	80
4.5.2	Sarthe amont	81
4.5.3	Ornette	82
4.5.4	Merdereau	83
4.5.5	Vaudelle	84
4.5.6	Orthe	85
4.5.7	Bienne	86
4.5.8	Orne Saosnoise	87
4.5.9	Sarthe intermédiaire	88
4.6	Synthèse	89
5	CONCLUSIONS ET SUITE DE L'ETUDE	92
6	GLOSSAIRE	93
7	ANNEXES	97
7.1	Annexe 1 : Description de la solution de modélisation hydrologique employée	97
7.1.1	Le modèle Mike Hydro Basin : les principes théoriques	97
7.1.2	Calage du modèle : les principes généraux	100
7.1.3	Mesures adoptées en cas de manque de données	101
7.2	Annexe 2 : Comparaison des chroniques de débits journaliers simulés et observés	102
7.2.1	Hoëne	102
7.2.2	Sarthe amont	102
7.2.3	Ornette	103
7.2.4	Merdereau	103
7.2.5	Vaudelle	104
7.2.6	Orthe	104
7.2.7	Bienne	105
7.2.8	Orne Saosnoise	105

7.2.9	Sarthe intermédiaire	105
7.3	Annexe 3 : Comparaison des chroniques de débits journaliers influencés et désinfluencés.....	106
7.3.1	Hoëne.....	106
7.3.2	Sarthe amont.....	106
7.3.3	Ornette	107
7.3.4	Merdereau	107
7.3.5	Vaudelle	108
7.3.6	Orthe	108
7.3.7	Bienne	109
7.3.8	Orne Saosnoise.....	109
7.3.9	Sarthe intermédiaire	110

Liste des figures

Figure 1: Localisation du bassin versant de la Sarthe amont (Source : SbS, IGN, SUEZ Consulting 2019)	11
Figure 2 : Exemple de représentation graphique du débit moyen journalier, du débit moyens mensuel et du module d'un cours d'eau sur une année donnée.....	15
Figure 3 : Exemple de représentation graphique du VCN30 et du QMNA d'un cours d'eau donné sur une année donnée	17
Figure 4 : Représentation schématique du niveau piézométrique dans un contexte de nappe libre (gauche) et de nappe captive (droite)	18
Figure 5 : Sectorisation utilisée lors de l'étude de détermination de débit de référence (Suez Consulting, 2015)	19
Figure 6 : Sectorisation en unités de gestion et sous-unités de gestion du bassin versant de la Sarthe amont (Source : SbS, Suez consulting 2022)	21
Figure 7 : Principe méthodologique de reconstitution des débits influencés (Sources : SUEZ Consulting, 2022)	23
Figure 8 : Structure de modèle en régime influencé et illustration du principe de calage (Sources : SUEZ Consulting, 2022)	24
Figure 9 : Principe méthodologique de reconstitution des débits désinfluencés (Sources : SUEZ Consulting, 2019)	26
Figure 10 : Structure de modèle en régime désinfluencé (Sources : SUEZ Consulting, 2021)	26
Figure 11 : Emplacement des stations hydrométriques et des piézomètres de calage sur le territoire SAGE Sarthe amont.....	28
Figure 12 : Débits mensuels interannuels modélisés et observés – UG Hoëne.....	32
Figure 13 : QMNA modélisés et observés – UG Hoëne	32
Figure 14 : VCN30 modélisés et observés – UG Hoëne	33
Figure 15 : Débits mensuels interannuels modélisés et observés – UG Sarthe amont.....	35
Figure 16 : QMNA modélisés et observés – UG Sarthe amont	35
Figure 17 : VCN30 modélisés et observés – UG Sarthe amont.....	36
Figure 18 : Débits mensuels interannuels modélisés et observés – UG Ornette	38
Figure 19 : QMNA modélisés et observés – UG Ornette.....	38
Figure 20 : VCN30 modélisés et observés – UG Ornette.....	39
Figure 21 : Analyse des cotes piézométrique moyennes mensuelles modélisées et observées – UG Ornette.....	39
Figure 22 : Analyse des cotes piézométrique mensuelles modélisées et observées – UG Ornette	40
Figure 23 : Débits mensuels interannuels modélisés et observés – UG Merdereau	42
Figure 24 : QMNA modélisés et observés – UG Merdereau	42
Figure 25 : VCN30 modélisés et observés – UG Merdereau.....	43
Figure 26 : Analyse des cotes piézométrique moyennes mensuelles modélisées et observées – UG Merdereau.....	43
Figure 27 : Analyse des cotes piézométrique mensuelles modélisées et observées – UG Merdereau.....	44
Figure 28 : Débits mensuels interannuels modélisés et observés – UG Merdereau	45
Figure 29 : QMNA modélisés et observés – UG Merdereau	45
Figure 30 : VCN30 modélisés et observés – UG Merdereau.....	46
Figure 31 : Analyse des cotes piézométrique moyennes mensuelles modélisées et observées – UG Merdereau.....	46
Figure 32 : Analyse des cotes piézométrique mensuelles modélisées et observées – UG Merdereau.....	47
Figure 33 : Débits mensuels interannuels modélisés et observés – UG Vaudelle	49
Figure 34 : QMNA modélisés et observés – UG Vaudelle.....	49
Figure 35 : VCN30 modélisés et observés – UG Vaudelle.....	50
Figure 36 : Analyse des cotes piézométrique moyennes mensuelles modélisées et observées – UG Vaudelle.....	50
Figure 37 : Analyse des cotes piézométrique mensuelles modélisées et observées – UG Vaudelle	51
Figure 38 : Débits mensuels interannuels modélisés et observés – UG Vaudelle	52
Figure 39 : QMNA modélisés et observés – UG Vaudelle.....	52
Figure 40 : VCN30 modélisés et observés – UG Vaudelle.....	53
Figure 41 : Analyse des cotes piézométrique moyennes mensuelles modélisées et observées – UG Vaudelle	53
Figure 42 : Analyse des cotes piézométrique mensuelles modélisées et observées – UG Vaudelle	54
Figure 43 : Débits mensuels interannuels modélisés et observés – UG Orthe	56
Figure 44 : QMNA modélisés et observés – UG Orthe.....	56
Figure 45 : VCN30 modélisés et observés – UG Orthe.....	57
Figure 46 : Analyse des cotes piézométrique moyennes mensuelles modélisées et observées – UG Orthe.....	57

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

Figure 47 : Analyse des cotes piézométrique mensuelles modélisées et observées – UG Orthe.....	58
Figure 48 : Débits mensuels interannuels modélisés et observés – UG Bienne.....	60
Figure 49 : QMNA modélisés et observés – UG Bienne.....	60
Figure 50 : VCN30 modélisés et observés – UG Bienne.....	61
Figure 51 : Analyse des cotes piézométrique moyennes mensuelles modélisées et observées – UG Bienne.....	61
Figure 52 : Analyse des cotes piézométrique mensuelles modélisées et observées – UG Bienne.....	62
Figure 53 : Débits mensuels interannuels modélisés et observés – UG Bienne.....	63
Figure 54 : QMNA modélisés et observés – UG Bienne.....	63
Figure 55 : VCN30 modélisés et observés – UG Bienne.....	64
Figure 56 : Analyse des cotes piézométrique moyennes mensuelles modélisées et observées – UG Bienne.....	64
Figure 57 : Analyse des cotes piézométrique mensuelles modélisées et observées – UG Bienne.....	65
Figure 58 : Débits mensuels interannuels modélisés et observés – UG Orne Saosnoise.....	67
Figure 59 : QMNA modélisés et observés – UG Orne Saosnoise.....	67
Figure 60 : VCN30 modélisés et observés – UG Orne Saosnoise.....	68
Figure 61 : Débits mensuels interannuels modélisés et observés – UG Sarthe intermédiaire.....	70
Figure 62 : QMNA modélisés et observés – UG Sarthe intermédiaire.....	70
Figure 63 : VCN30 modélisés et observés – UG Sarthe intermédiaire.....	71
Figure 64 : Synthèse des prélèvements nets moyens sur la période 2000-2019 par sous-unité de gestion sur le périmètre du SAGE Sarthe amont (Source : Suez Consulting, 2022).....	76
Figure 65 : Prélèvements (m3) représentés par SUG et par usages pour l'année 2019.....	77
Figure 66 : Rejets (m3) représentés par SUG et par usages pour l'année 2019.....	78
Figure 67 : Débit mensuel quinquennal sec (QMN5) en situation influencée (orange) et désinfluencée (bleu) – UG Hoëne.....	80
Figure 68 : Débit mensuel quinquennal sec (QMN5) en situation influencée (orange) et désinfluencée (bleu) – UG Sarthe amont.....	81
Figure 69 : Débit mensuel quinquennal sec (QMN5) en situation influencée (orange) et désinfluencée (bleu) – UG Ornette.....	82
Figure 70 : Débit mensuel quinquennal sec (QMN5) en situation influencée (orange) et désinfluencée (bleu) – UG Merdereau.....	83
Figure 71 : Débit mensuel quinquennal sec (QMN5) en situation influencée (orange) et désinfluencée (bleu) – UG Vaudelle.....	84
Figure 72 : Débit mensuel quinquennal sec (QMN5) en situation influencée (orange) et désinfluencée (bleu) – UG Orthe.....	85
Figure 73 : Débit mensuel quinquennal sec (QMN5) en situation influencée (orange) et désinfluencée (bleu) – UG Bienne.....	86
Figure 74 : Débit mensuel quinquennal sec (QMN5) en situation influencée (orange) et désinfluencée (bleu) – UG Orne Saosnoise.....	87
Figure 75 : Débit mensuel quinquennal sec (QMN5) en situation influencée (orange) et désinfluencée (bleu) – UG Sarthe intermédiaire.....	88
Figure 76 : Comparaison du QMNA5 influencé au QMNA5 désinfluencé sur les unités de gestion du bassin versant de la Sarthe amont (Source : Suez Consulting, 2022).....	91
Figure 77 : Illustration du grand cycle de l'eau.....	98
Figure 78 : Illustration des processus pris en compte par la modélisation.....	98
Figure 79 : Schéma conceptuel de la modélisation hydrologique. (Processus entourés en vert = données d'entrée. Processus en rouge = variables de sortie valorisées).....	99
Figure 80 : Représentation schématique de l'architecture de Mike Hydro Basin.....	100

Liste des tableaux

Tableau 1 : Présentation du périmètre SAGE de la Sarthe amont.....	10
Tableau 2 : Stations hydrométriques et piézomètres de calage, période de calage et de validation retenue en fonction de la disponibilité et de la fiabilité des mesures.....	29
Tableau 3 : Modalités d'évaluation des critères de calage.....	30
Tableau 4 : Métriques d'évaluation de performance pour le modèle de calage – UG Hoëne.....	31
Tableau 5 : Métriques d'évaluation de performance pour le modèle de calage – UG Sarthe amont.....	34
Tableau 6 : Métriques d'évaluation de performance pour le modèle de calage – UG Ornette.....	37
Tableau 7 : Métriques d'évaluation de performance pour le modèle de calage – UG Merdereau.....	41
Tableau 8 : Métriques d'évaluation de performance pour le modèle de calage en période de validation – UG Merdereau.....	44
Tableau 9 : Métriques d'évaluation de performance pour le modèle de calage – UG Vaudelle.....	48
Tableau 10 : Métriques d'évaluation de performance pour le modèle de calage en période de validation – UG Vaudelle.....	51
Tableau 11 : Métriques d'évaluation de performance pour le modèle de calage – UG Orthe.....	55
Tableau 12 : Métriques d'évaluation de performance pour le modèle de calage – UG Bienne.....	59
Tableau 13 : Métriques d'évaluation de performance pour le modèle de calage en période de validation – UG Bienne.....	62
Tableau 14 : Métriques d'évaluation de performance pour le modèle de calage – UG Orne Saosnoise.....	66
Tableau 15 : Métriques d'évaluation de performance pour le modèle de calage – UG Sarthe intermédiaire.....	69
Tableau 16 : Valeurs simulées et écarts par rapport aux valeurs observées sur la plus longue période disponible entre 2000 et 2019 ..	72
Tableau 17 : Bilan annuel des prélèvements d'eau actuels et futurs sur le bassin de la Sarthe amont.....	74
Tableau 18 : Bilan annuel des rejets d'eau actuels et futurs sur le bassin de la Sarthe amont.....	75
Tableau 19 : Caractérisation de l'effet des usages sur l'hydrologie d'après la comparaison des QMNA5, VCN30(5), VCN30(2) et des modules en situation influencée et désinfluencée (Source : Suez Consulting 2022).....	79
Tableau 20 : Indicateurs caractéristiques d'étiage en situation influencée et désinfluencée – UG Hoëne.....	80
Tableau 21 : Indicateurs caractéristiques d'étiage en situation influencée et désinfluencée – UG Sarthe amont.....	81
Tableau 22 : Indicateurs caractéristiques d'étiage en situation influencée et désinfluencée – UG Ornette.....	82
Tableau 23 : Indicateurs caractéristiques d'étiage en situation influencée et désinfluencée – UG Merdereau.....	83
Tableau 24 : Indicateurs caractéristiques d'étiage en situation influencée et désinfluencée – UG Vaudelle.....	84
Tableau 25 : Indicateurs caractéristiques d'étiage en situation influencée et désinfluencée – UG Orthe.....	85
Tableau 26 : Indicateurs caractéristiques d'étiage en situation influencée et désinfluencée – UG Bienne.....	86
Tableau 27 : Indicateurs caractéristiques d'étiage en situation influencée et désinfluencée – UG Orne Saosnoise.....	87
Tableau 28 : Indicateurs caractéristiques d'étiage en situation influencée et désinfluencée – UG Sarthe intermédiaire.....	88
Tableau 29 : Comparaison de l'effet des usages sur l'hydrologie pour chaque unité de gestion (Source : Suez Consulting, 2022).....	90

Acronymes

ADES	Portail national d'Accès aux Données sur les Eaux Souterraines
AELB	Agence de l'Eau Loire-Bretagne
AP	Arrêté Préfectoral
BV	Bassin Versant
CLE	Commission Locale de l'Eau
COTECH	Comité TECHnique
DAR	Débit d'Alerte Renforcée
DCE	Directive Cadre sur l'Eau
DCR	Débit de Crise
DDT	Direction Départementale des territoires
DOE	Débit Objectif d'Etiage
DREAL	Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement
DSA	Débit Seuil d'Alerte
EDL	Etat des lieux
ETP	Evapotranspiration Potentielle
HMUC	Hydrologie Milieux Usages Climat
MESO	Masses d'eau souterraines
NGF	Nivellement Général de la France
OFB	Office Français pour la Biodiversité
ONDE	Observatoire National Des Etiages
QMNA	Débit (Q) mensuel (M) minimal (N) de chaque année civile (A), soit la valeur du débit mensuel d'étiage atteint par un cours d'eau pour une année donnée
SAGE	Schéma d'Aménagement et de Gestion de l'Eau
SDAGE	Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux
UG	Unité de Gestion
VCN	Volume Consécutif minimal

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

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

partie ornaise sont générées par les prélèvements en eau potable sur le cours d'eau de la Sarthe. Le sous-bassin versant de la Biemme 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 Biemme 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 Vézone, la Briante, le Sarthon, l'Ornette, le Merdereau, la Vaudelle, l'Orthe, la Longuève, l'Autonnière, l'Hoëne, l'Erine, le Rosay-Nord, la Biemme et l'Orne Saosnoise.

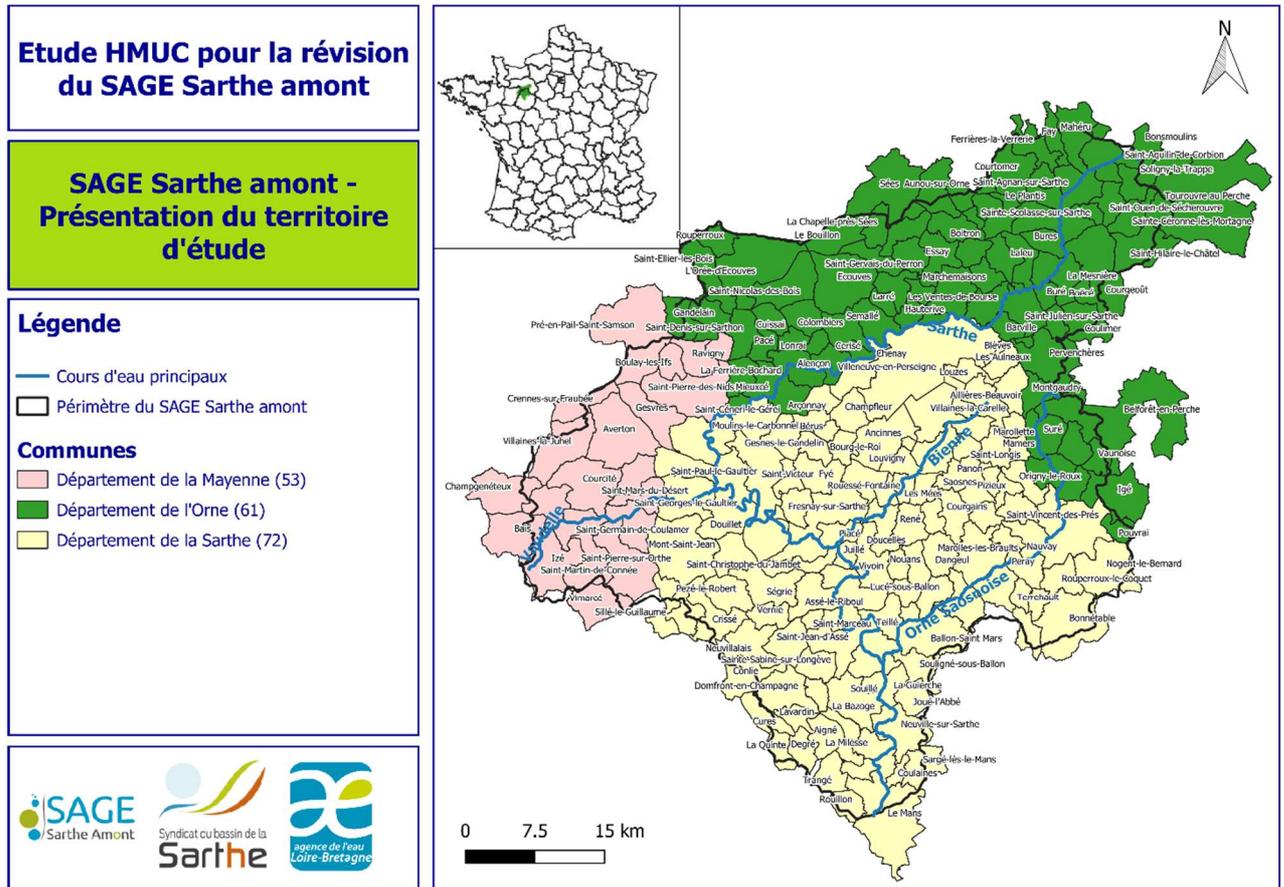


Figure 1: Localisation du bassin versant de la Sarthe amont (Source : SbS, IGN, SUEZ Consulting 2019)

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

Phase 1 | Objectif 4 : Connaître l'état des ressources sans les prélèvements et rejets afin d'identifier leur fonctionnement sans activités anthropiques



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

- **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 le 2nd rapport du volet « Hydrologie » de la Phase 1, et apporte des éléments de réponse à l'objectif principal de l'étude défini par la CLE au travers du sous objectif n°4.

OBJECTIF PRINCIPAL : acquérir 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.

SOUS OBJECTIF 4 : Connaître l'état des ressources sans les prélèvements, et le cas échéant les rejets, afin d'identifier par UG leur fonctionnement sans activité anthropiques

Ce rapport présente :

- ⇒ La construction et le calage de modèles hydrologiques décrivant l'hydrosystème actuel.
- ⇒ L'analyse et la reconstitution de l'hydrologie désinfluencée des usages anthropiques par le biais de la modélisation hydrologique.

2 DEFINITIONS PREALABLES¹

Cette section présente plusieurs définitions des termes et concepts qui seront utilisés dans la suite du rapport :

- ❖ **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

¹ Sources :

- <http://www.glossaire-eau.fr/>
- Claire Lang Delus, « Les étiages : définitions hydrologique, statistique et seuils réglementaires », Cybergeo : European Journal of Geography [En ligne], Environnement, Nature, Paysage, document 571, mis en ligne le 30 novembre 2011 ;
- OFB et Ministère chargé de l'environnement
- SDAGE Loire-Bretagne 2016-2021

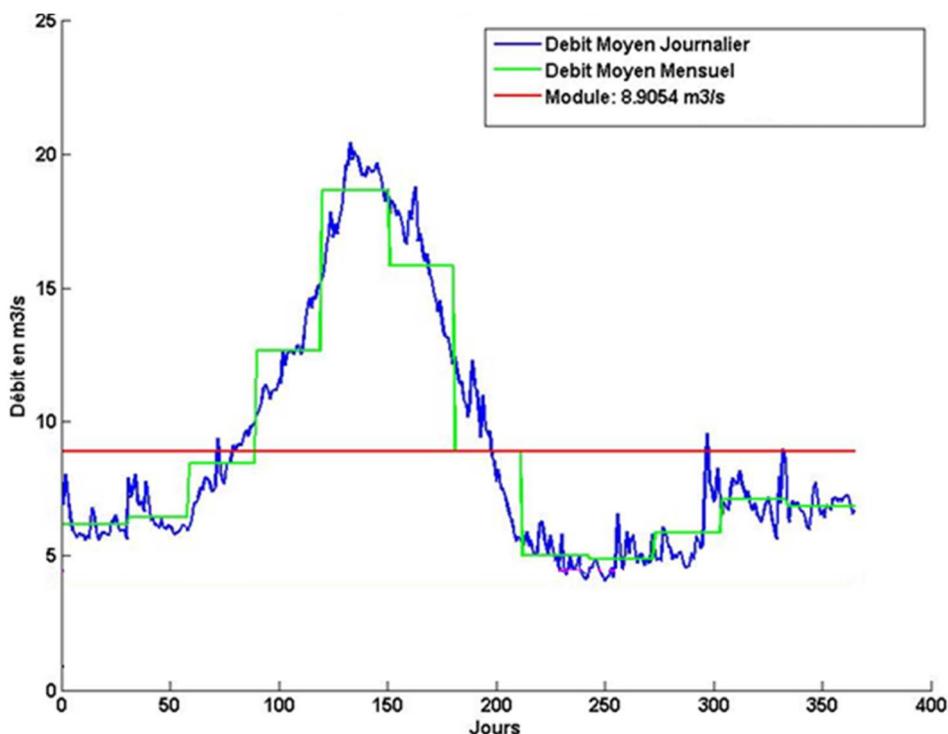


Figure 2 : Exemple de représentation graphique du débit moyen journalier, du débit moyens mensuel et du module d'un cours d'eau sur une année donnée

❖ 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. Dans le présent elle se rapporte à sa définition technique et non à sa définition réglementaire tel qu'inscrit dans le SDAGE (voir plus bas).

❖ 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.

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

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**

Phase 1 | Objectif 4 : Connaître l'état des ressources sans les prélèvements et rejets afin d'identifier leur fonctionnement sans activités anthropiques

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

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'étiage 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.

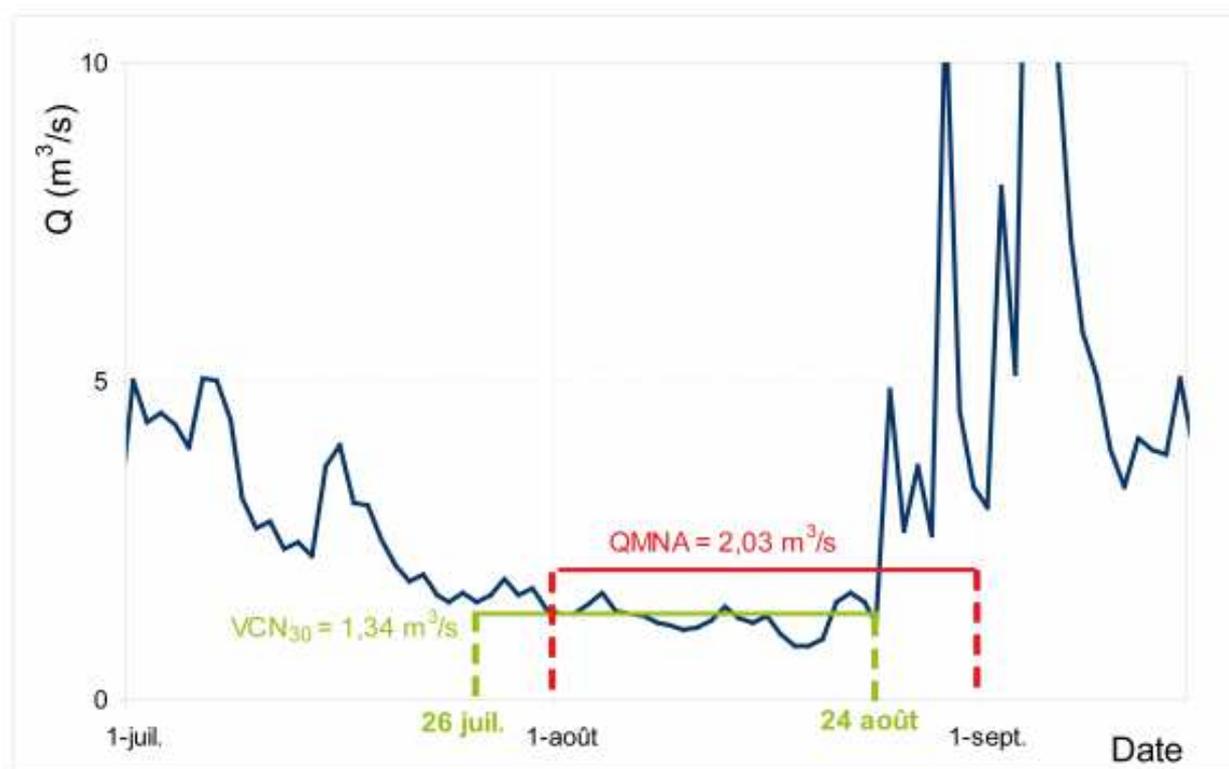


Figure 3 : Exemple de représentation graphique du VCN30 et du QMNA d'un cours d'eau donné sur une année donnée

Phase 1 | Objectif 4 : Connaître l'état des ressources sans les prélèvements et rejets afin d'identifier leur fonctionnement sans activités anthropiques

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

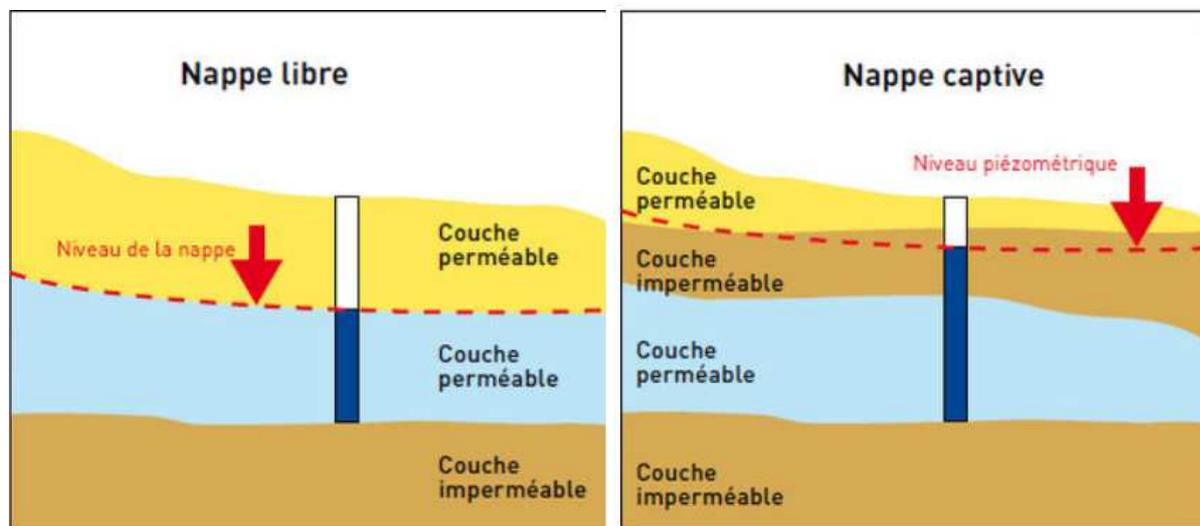


Figure 4 : Représentation schématique du niveau piézométrique dans un contexte de nappe libre (gauche) et de nappe captive (droite)

❖ Période de basses eaux selon le SDAGE 2022-2027 (période d'étiage selon le SDAGE 2016-2021)

Dans le cadre du rapport du volet « Hydrologie » de la présente étude, en phase 1, une période d'étiage s'étendant de juillet à octobre a été définie. Cette dernière avait pour objectif d'identifier une période de débits particulièrement bas devant servir de référence pour le calage des modélisations et la présentation des résultats. Il ne s'agit donc pas de la période d'étiage réglementaire définie par le SDAGE 2016-2021.

Selon le SDAGE 2022-2027, on ne parle plus de période d'étiage mais de période de basses eaux : C'est la période de l'année pendant laquelle le **débit des cours d'eau atteint ses valeurs les plus faibles**. Cette période est prise en compte par le préfet pour délivrer les **autorisations de prélèvement en période de basses eaux et pour mettre en place des mesures de gestion de crise (orientation 7E)**. En Loire-Bretagne, la période de basses eaux conjuguant sensibilité pour les milieux aquatiques et impact accru des prélèvements s'étend du **1er avril au 31 octobre**. La CLE peut, suite à une analyse HMUC, proposer au préfet de retenir une période de basses eaux différente. Elle ne peut pas être inférieure à une durée de 7 mois.

3 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.

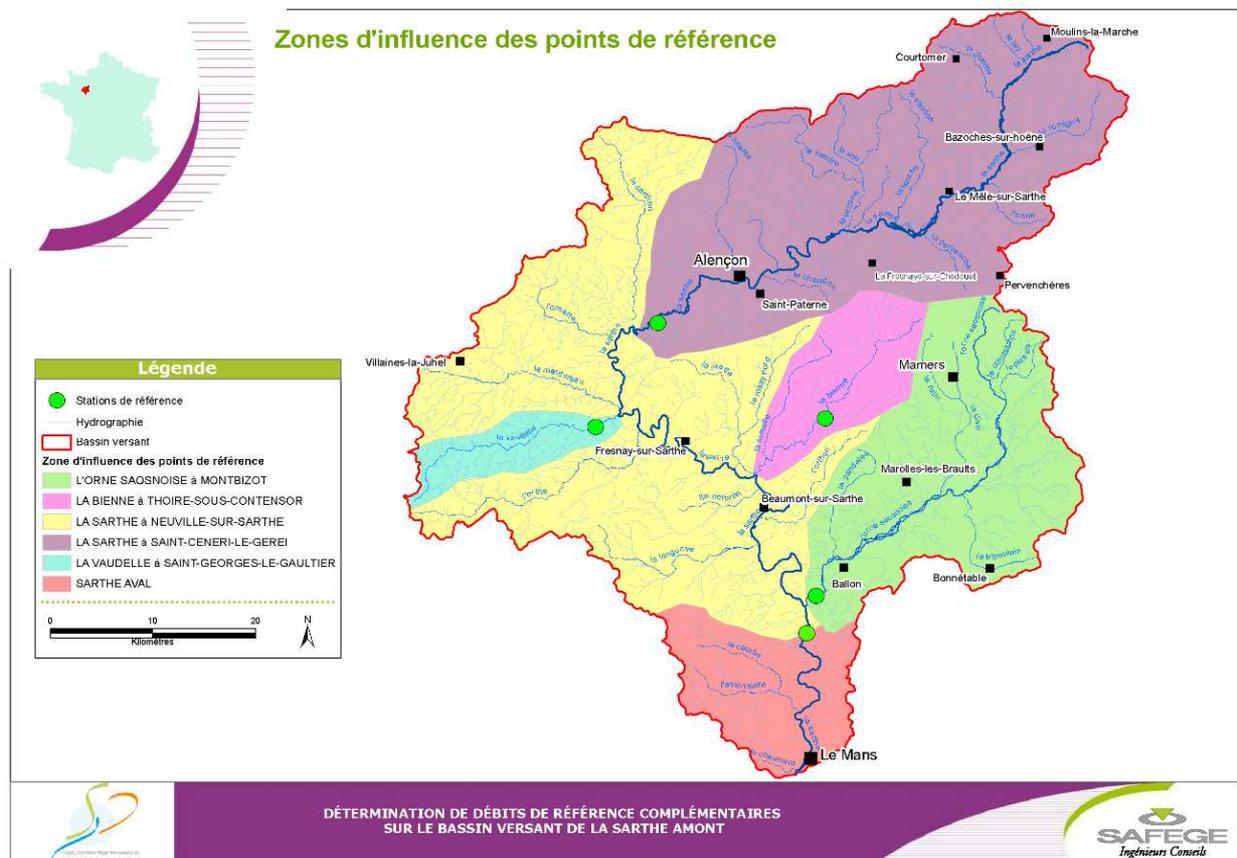


Figure 5 : Sectorisation utilisée lors de l'étude de détermination de débit de référence (Suez Consulting, 2015)

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

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]**

Phase 1 | Objectif 4 : Connaître l'état des ressources sans les prélèvements et rejets afin d'identifier leur fonctionnement sans activités anthropiques

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

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 SUB correspondant au bassin versant de l'Hoëne ;
- ▶ Les **Affluents Mayennais**, regroupant les SUB 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 à la limite du SAGE (confluence avec l'Huisne).

Cette délimitation est présentée sur la carte suivante.

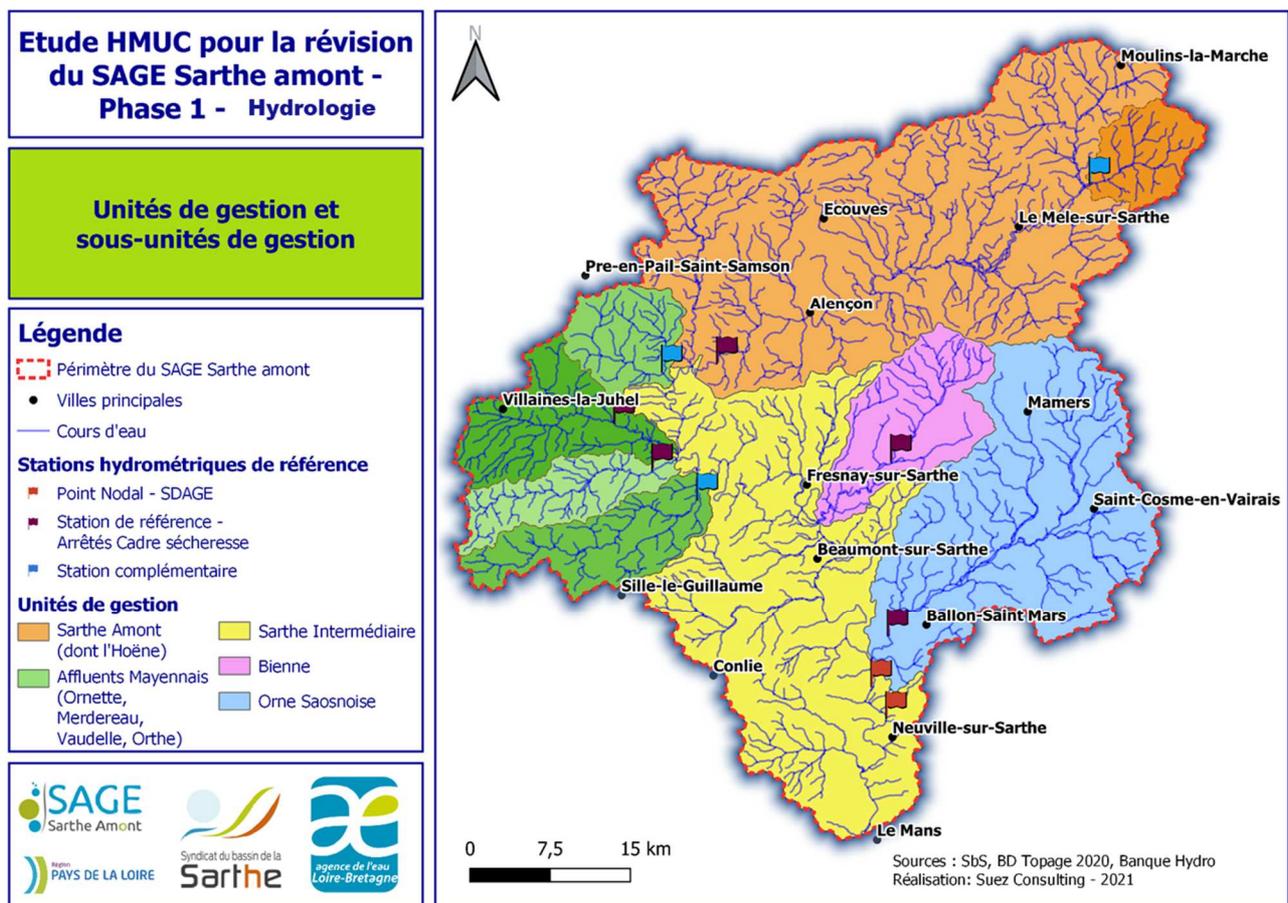


Figure 6 : Sectorisation en unités de gestion et sous-unités de gestion du bassin versant de la Sarthe amont (Source : SbS, Suez consulting 2022)

4 RECONSTITUTION DE L'HYDROLOGIE DESINFLUENCEE

4.1 Objectifs et principes généraux

La réalisation d'analyses sur la ressource en eau superficielle au niveau de chaque unité de gestion du territoire d'étude présuppose qu'il existe, pour chacune d'entre elles, des données hydrométriques et piézométriques couvrant l'intégralité de la période étudiée.

La modélisation hydrologique permet de reconstituer les chroniques de débit s'écoulant à l'exutoire de chaque unité de gestion, sur la base de la connaissance de sa superficie, de ses chroniques météorologiques (pluie et ETP) et de la connaissance des usages de l'eau qui s'y sont développés (prélèvements et rejets).

Les modèles ainsi constitués sont utilisés, dans le cadre de cette étude, pour reconstituer les chroniques hydrométriques désinfluencées des usages anthropiques de l'eau, ce qui permet de quantifier l'impact de ces usages sur les débits.

La suite de ce chapitre est structurée comme suit :

- ❖ Méthodologie générale déployée ;
- ❖ Modèles hydrologiques de calage et qualité associée ;
- ❖ Rappel du bilan des usages
- ❖ Mise en perspective des régimes influencé et désinfluencé ;
- ❖ Synthèse.

La solution de modélisation hydrologique employée (Mike Hydro Basin) est décrite au § 7.1 – Annexe 1.

4.2 Méthodologie générale déployée

4.2.1 Reconstitution des débits influencés

En situation actuelle, les débits caractéristiques d'étiage influencés peuvent se calculer à partir de la chronique journalière des débits transitant par l'exutoire du bassin versant analysé, sur une période aussi étendue que possible. Pour un point de référence donné, la connaissance de cette chronique dans la configuration « situation actuelle » peut s'acquérir par l'analyse de mesures hydrométriques, lorsque ces dernières sont disponibles :

- ▶ Au niveau du point de référence considéré ;
- ▶ Sur toute la période d'analyse considérée (2000-2019) ;
- ▶ A un pas de temps le plus petit possible (a minima journalier) ;
- ▶ Sans lacunes.

Phase 1 | Objectif 4 : Connaître l'état des ressources sans les prélèvements et rejets afin d'identifier leur fonctionnement sans activités anthropiques

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

Lorsque ces mesures sont inexistantes ou incomplètes, il convient de reconstituer les débits. En l'absence de station hydrométrique avec une chronique de données suffisamment longue sur le territoire d'étude, l'approche la plus pertinente consiste en la réalisation d'une modélisation hydrologique de type pluie/débit (également au pas de temps journalier) à l'échelle du bassin versant drainé au niveau du point de référence considéré. Les principes méthodologiques sont détaillés ci-dessous.

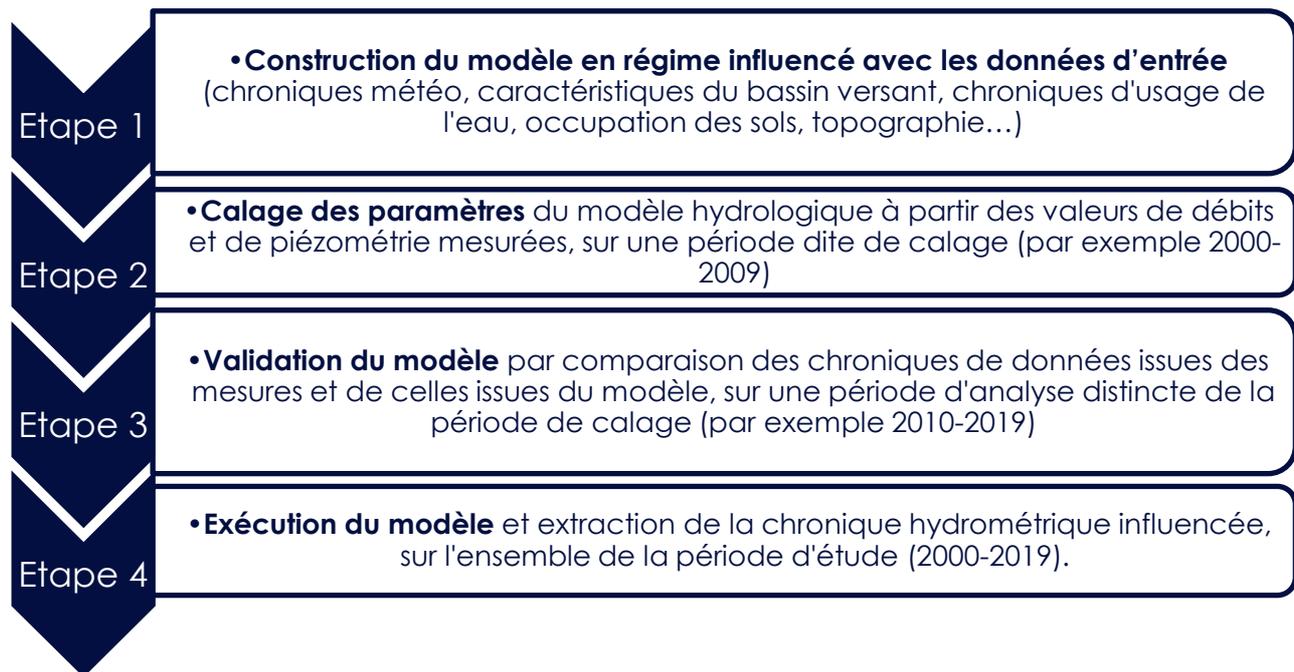


Figure 7 : Principe méthodologique de reconstitution des débits influencés (Sources : SUEZ Consulting, 2022)

Phase 1 | Objectif 4 : Connaître l'état des ressources sans les prélèvements et rejets afin d'identifier leur fonctionnement sans activités anthropiques

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

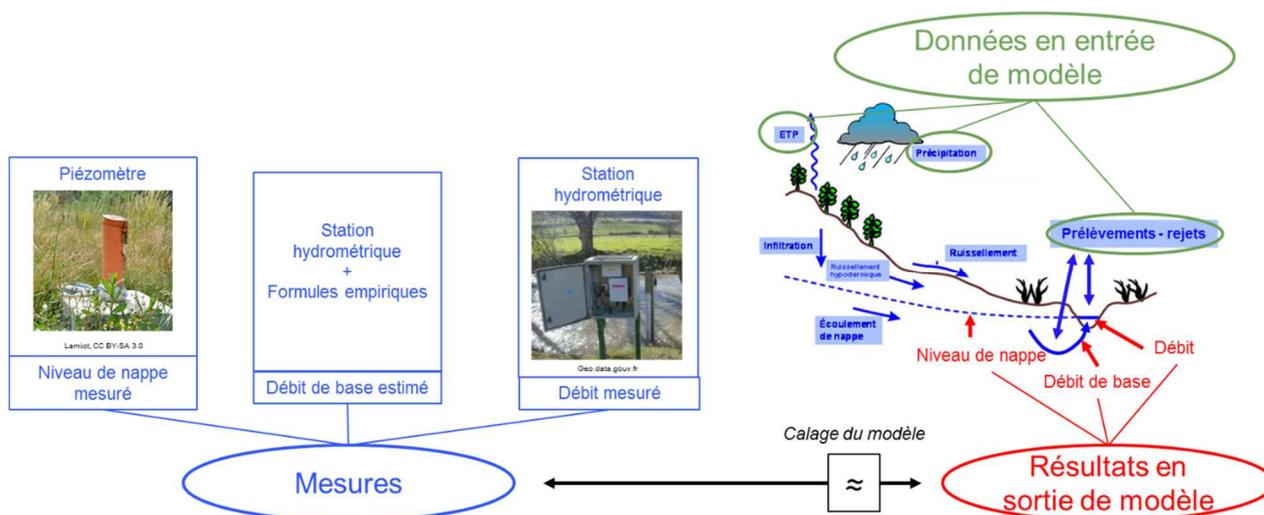


Figure 8 : Structure de modèle en régime influencé et illustration du principe de calage (Sources : SUEZ Consulting, 2022)

Pour chacun des bassins modélisés, le calage est réalisé par itérations en ajustant les paramètres du modèle², dans le respect de leur gamme de validité et dans le but d'optimiser les critères suivants par rapport aux valeurs mesurées :

- ▶ Reconstitution du module, du QMNA moyen et du VNC30 moyen ;
- ▶ Maximisation du coefficient de Nash mensuel sur les débits mensuels et sur les débits mensuels estivaux (juillet à octobre) ;
- ▶ Reconstitution des VCN30 et des QMNA chaque année.

Le processus de calage prend fin dès lors que l'amélioration d'un de ces indicateurs de calage entraîne la détérioration d'un ou plusieurs autres indicateurs.

Les modèles ayant vocation de prendre en compte l'effet des usages souterrains et de restituer fidèlement les débits d'étiage qui sont principalement issus des apports de nappe, il convient d'assurer également une représentation cohérente des phénomènes souterrains. Ceci permettra notamment de garantir la robustesse des modèles lorsqu'ils seront utilisés en projection future, dans le cadre du volet climat. En effet, un modèle reconstituant bien l'ensemble des phénomènes hydrologiques et hydrogéologiques du système représenté est susceptible de restituer de meilleurs résultats lorsqu'il est appliqué à des conditions autres que celles sur lesquelles il a été calé qu'un modèle dont seule une fraction des phénomènes hydrologiques sont correctement représentées). Ainsi, on s'attache également, dans le cadre du calage des modèles hydrologiques, à restituer de manière satisfaisante les principales composantes du compartiment souterrain et des interactions nappe-rivière. Concrètement, il s'agit d'optimiser les critères suivants :

- ▶ Coefficient de Nash, RMSE (voir glossaire) et reconstitution de la chronique mensuelle de la côte piézométrique, telle que mesurée au niveau du piézomètre considéré le plus représentatif du compartiment souterrain du secteur modélisé. La modélisation réalisée dans la présente étude étant

² MIKE Hydro Basin utilise le code de calcul NAM, voir Annexe 1.

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

de type global, le compartiment souterrain est simplifié³. Ainsi, on s'attache essentiellement à reproduire le phasage du cycle de montée descente de la nappe, les amplitudes relatives observées et l'évolution interannuelle des niveaux. Pour ce faire, une opération de centrage-normage du niveau simulé sur le niveau observé est réalisée, d'après la moyenne et l'amplitude des chroniques piézométriques observées.

Il convient d'avoir à l'esprit que l'essentiel de l'effort de calage concerne les débits. En effet :

- ▶ Les chroniques hydrométriques constituent un indicateur de calage fiable, représentatif de l'ensemble du bassin versant drainé à son amont, par contraste avec les chroniques piézométriques qui ne sont que le témoin d'un point localisé qui n'est pas systématiquement représentatif du comportement de la nappe sur l'ensemble du bassin représenté ;
- ▶ Le débit est plus intégrateur des phénomènes du bassin que la piézométrie, qui peut ne pas être très bien corrélée au débit associé (karst, failles etc.) ;
- ▶ L'effort de calage accentué sur les débits d'étiage, qui sont principalement issus des nappes, garantit une bonne représentation des processus d'échanges nappe-rivière ;
- ▶ Les chroniques de débit modélisées et les indicateurs en étant issus vont être largement utilisées dans la suite de l'étude (pour la définition de débits objectifs d'étiage, de volumes prélevables en eau superficielle et en nappe libre). En revanche, les niveaux de nappe modélisés sont moins cruciaux, l'analyse des piézométries objectives d'étiage pouvant être réalisée à l'aide d'analyses statistiques sur les chroniques observées.

4.2.2 Reconstitution des débits et niveaux désinfluencés

Afin d'évaluer l'impact actuel des usages anthropiques sur la ressource en eau et *in fine*, sur les milieux aquatiques, il convient de calculer les débits caractéristiques d'étiage en régime « désinfluencé » en situation actuelle.

La démarche générale adoptée pour reconstituer l'hydrologie désinfluencée du bassin versant de la Sarthe amont est récapitulée par le synoptique suivant :

³ Réservoir vide, à la différence d'un milieu solide poreux, et le niveau piézométrique modélisé est une hauteur d'eau théorique en l'absence d'aquifère perméable, différent du niveau piézométrique observé dont les variations sont plus importantes du fait de la matrice poreuse en présence.

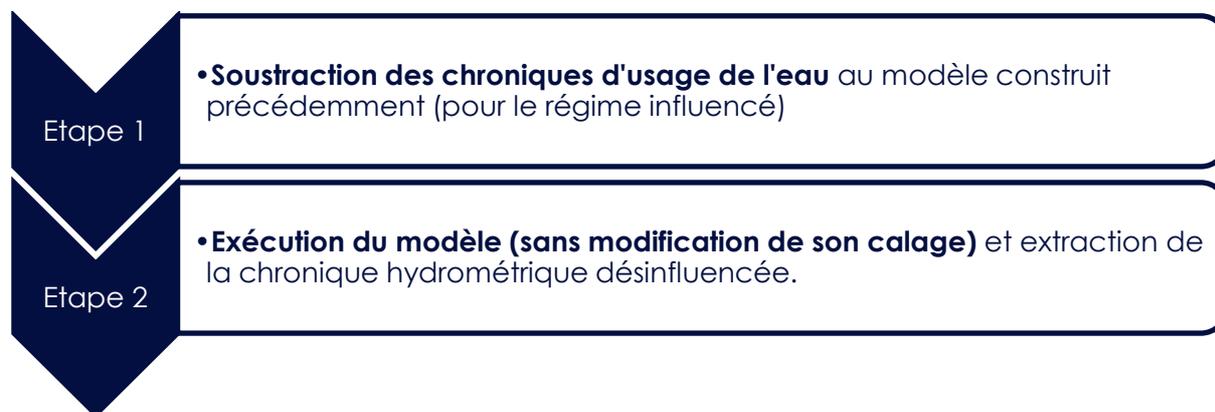


Figure 9 : Principe méthodologique de reconstitution des débits désinfluencés (Sources : SUEZ Consulting, 2019)

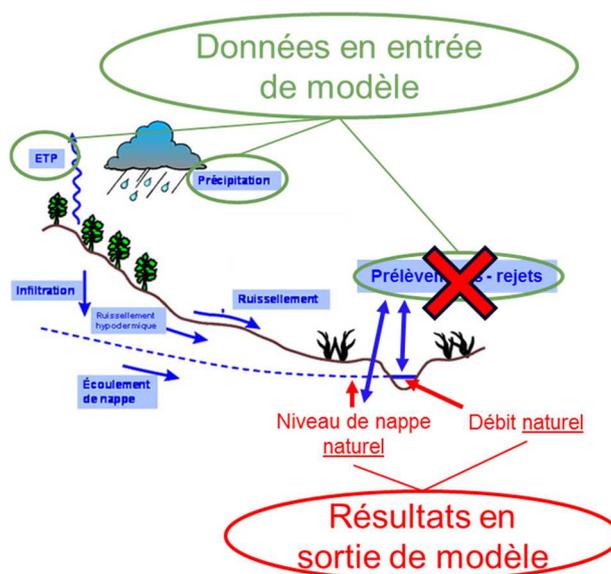


Figure 10 : Structure de modèle en régime désinfluencé (Sources : SUEZ Consulting, 2021)

4.2.3 Quantification des intervalles de confiance

Les chroniques de débits reconstituées comportent un certain nombre d'incertitudes (voir annexe 1) dont les plus impactantes concernant la reconstitution des débits influencés et désinfluencés sont :

- Les erreurs liées à la modélisation, introduites du fait d'un calage imparfait et qui impactent à la fois les débits influencés et désinfluencés. Ces dernières sont appréhendées à l'aide de la comparaison entre les simulations et les observations, données au paragraphe 4.3 ;
- Les erreurs liées au bilan des usages, issues des hypothèses prises pour reconstituer les chroniques de prélèvements et rejets.

Pour évaluer les incertitudes liées au bilan des usages, on réalise deux simulations en utilisant le modèle calé sur la situation influencée et les deux chroniques d'usages suivantes respectivement :

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

- Une chronique de forte pression anthropique, constituée à partir des prélèvements maximums et des rejets minimums définis par les marges de confiance du bilan des usages ;
- Une chronique de basse pression anthropique, constituée à partir des prélèvements minimums et des rejets maximums établis lors du bilan des usages.

La différence entre les chroniques de débit influencé obtenues dans ces deux situations (pression anthropique haute ou basse) permet de caractériser l'incertitude liée aux usages sur les débits. Cette incertitude est ensuite propagée sur le régime désinfluencé.

4.2.4 Stratégie de modélisation pour le bassin de la Sarthe amont

Le territoire du SAGE Sarthe amont étant découpé en 9 sous unités de gestion, moyennant 1 modèle couplé hydrologique-hydrogéologique par sous unité de gestion, 9 modélisations sont nécessaires pour reconstituer les débits influencés et désinfluencés.

Pour les unités de gestion disposant d'un suivi hydrométrique, même lacunaire, la stratégie envisagée est la suivante :

- ❖ Construire et caler sur la période 2000-2009 ou 2010-2019 (ou en fonction des données disponibles) un modèle hydrologique au pas de temps journalier prenant en compte la part de l'unité de gestion qui est drainée au niveau de la station hydrométrique de référence (voir le tableau suivant) ;
- ❖ Vérifier et valider ce modèle à partir du suivi hydrométrique sur la période 2010-2019 ou 2000-2009 (ou en fonction des données disponibles) ;
- ❖ Modéliser, à partir du calage, les débits à l'exutoire de chaque unité de gestion, en fonction de la structure du bassin versant. Ce dernier point implique de prendre en compte les sous-bassins en séquence :
 - La Sarthe amont est alimentée par l'Hoëne ;
 - La Sarthe intermédiaire est alimentée par l'ensemble des autres unités / sous-unités de gestion.
- ▶ Les sous unités de gestion de la Sarthe amont, de l'Hoëne, de l'Ornette, de la Vaudelle et de l'Orthe sont équipées d'une station hydrométrique située proche de l'exutoire de l'unité de gestion. Le modèle sera donc directement calé sur la totalité du périmètre de ses sous unités de gestion.
- ❖ Les chroniques d'usages, issues du bilan des usages, sont disponibles pour chacune des 9 sous unités de gestion. Les chroniques d'entrée pour les précipitations sont calculées pour chaque unité de gestion à partir des chroniques des 6 stations météorologiques en fonction de leur répartition sur le territoire et de la localisation des stations hydrométriques de référence (par la méthode des polygones de Thiessen). Une seule chronique d'ETP est disponible pour l'ensemble du périmètre d'étude (à Alençon) et sera utilisée comme chronique d'entrée pour la modélisation des 11 unités de gestion. L'utilisation d'un unique point de mesure d'ETP pour l'ensemble du territoire d'étude peut interroger. Cependant, cette mesure est réalisée en un point central du territoire d'étude et il a pu être constaté lors de la modélisation que le calage des unités de gestion éloignées d'Alençon n'a pas causé de difficultés particulières en comparaison avec celles qui en sont plus proche.

4.3 Modèles hydrologiques de calage et qualité associée

Les paragraphes suivants présentent les modèles de calage construits sur l'ensemble des unités de gestion ainsi que la qualité de calage associée.

Les données hydrométriques et piézométriques de calage associées sont présentées dans la figure et le tableau suivant. Le calage de chacun des modèles a été réalisé sur une période qui varie selon la disponibilité des données.

En complément des indicateurs de calage présentés aux paragraphes suivants, l'annexe 2 fournit des graphiques de comparaison des chroniques de débits journaliers simulés et observés.

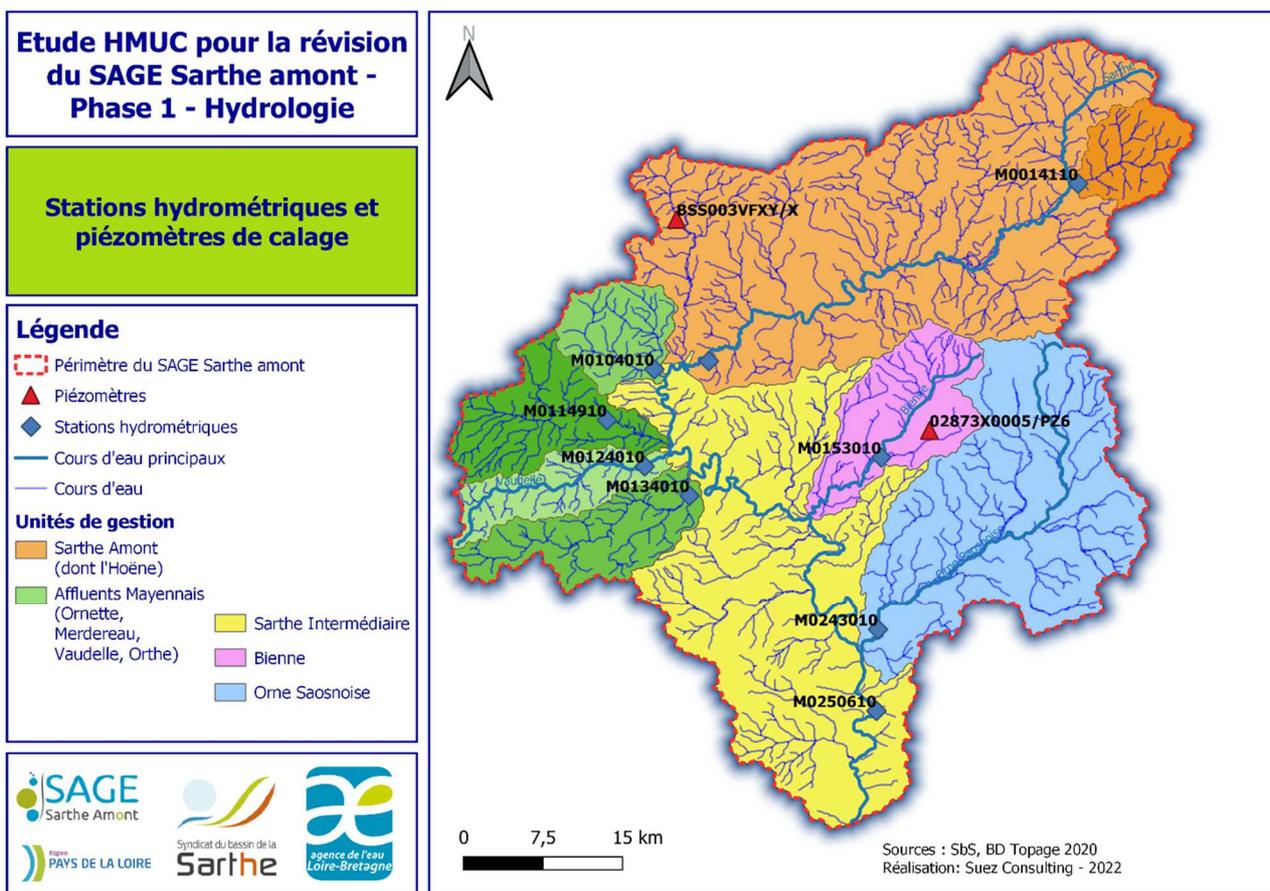


Figure 11 : Emplacement des stations hydrométriques et des piézomètres de calage sur le territoire SAGE Sarthe amont

Phase 1 | Objectif 4 : Connaître l'état des ressources sans les prélèvements et rejets afin d'identifier leur fonctionnement sans activités anthropiques



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

Tableau 2 : Stations hydrométriques et piézomètres de calage, période de calage et de validation retenue en fonction de la disponibilité et de la fiabilité des mesures

Unité de gestion	Station hydrométrique de calage	Période de disponibilité	Données non fiables	Période de calage	Période de validation	Piézomètre
Hoëne	M001 4110 – L'Hoëne à la Mesnière [La Foulerie]	1979-2022	2004,2005, 2013-2016	2006-2012	-	-
Sarthe amont	M005 0610 20 – La Sarthe à Saint-Céneri-le-Gérei – Moulin-du-Désert	1977-2022	2001-2007, 2019	2008-2018	-	-
Ornette	M010 4010 10 : L'Ornette à Saint-Pierre-des-Nids [Larray]	1992-2022	2003-2007, 2019	2008-2019	-	BSS003VFX/Y/X
Merdereau	M011 4910 : Le Merdereau à Saint-Paul-le-Gaultier [Chiantin]	1984-2022	-	2000-2009	2010-2019	BSS003VFX/Y/X
Vaudelle	M012 4010 : La Vaudelle à Saint-Georges-le-Gaultier	1992-2022	2019	2000-2009	2010-2018	BSS003VFX/Y/X
Orthe	M013 4010 10 : L'Orthe à Douillet [Le Joly]	1995-2022	2003-2007	2008-2019	-	BSS003VFX/Y/X
Bienne	M015 3010 10 : La Bienne à Thoiré-sous-Contensor	1991-2022	2019	2000-2009	2010-2018	02873X0005/PZ6
Orne Saosnoise	M024 3010 10 : L'Orne Saosnoise à Montbizot - Moulin Neuf	1987-2022	2005-2008	2009-2019	-	-
Sarthe intermédiaire	M025 0610 10 : La Sarthe à Neuville-sur-Sarthe [Montreuil]	1973-2022	2001, 2003-2008, 2019	2009-2018	-	-

Phase 1 | Objectif 4 : Connaître l'état des ressources sans les prélèvements et rejets afin d'identifier leur fonctionnement sans activités anthropiques

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

Les différents indicateurs présentés par la suite s'évaluent comme suit :

Tableau 3 : Modalités d'évaluation des critères de calage

Nash mensuel sur les débits	
>0.9	Excellent
0.8-0.9	Très bon
0.7-0.8	Bon
0.5-0.7	Acceptable
0.3-0.5	Médiocre
<0.3	Mauvais

Reconstitution du module	
entre 95% et 105% de la valeur mesurée	Excellent
entre 90% et 110% de la valeur mesurée	Très bon
entre 80% et 120% de la valeur mesurée	Bon
entre 70% et 130% de la valeur mesurée	Acceptable
entre 50 et 150% de la valeur mesurée	Médiocre
au-delà de 50% et 150% de la valeur mesurée	Mauvais

Reconstitution du QMNA moyen et du VCN30 moyen	
entre 90% et 110% de la valeur mesurée	Excellent
entre 80% et 120% de la valeur mesurée	Très bon
entre 70% et 130% de la valeur mesurée	Bon
entre 60% et 140% de la valeur mesurée	Acceptable
entre 40% et 160% de la valeur mesurée	Médiocre
au-delà de 40% et 160% de la valeur mesurée	Mauvais

4.3.1 Hoëne

La chronique de débits observés pour la SUG de l'Hoëne ne comporte des observations complète, de qualité et validées bonne que pour les années 2006 à 2012. La chronique est issue de la station de l'Hoëne à la Mesnière. La période de calage retenue est ainsi 2006 à 2012. Faute de chronique suffisamment étendue, on ne retient pas période de validation pour cette unité de gestion.

Le calage du modèle sur cette sous-unité de gestion permet d'obtenir une représentation cohérente de la chronique de débits influencés que ce soit pour les bas débits ou les débits moyens et des indicateurs VCN30 et QMNA.

4.3.1.1 Performance en calage (2006-2012)

Tableau 4 : Métriques d'évaluation de performance pour le modèle de calage – UG Hoëne

Critère de performance	Valeur atteinte	Evaluation du critère
Coefficient de Nash sur les débits mensuels	0.80	Très bon
Coefficient de Nash sur les débits mensuels estivaux	0.85	Très bon
Reconstitution du module	0.46 m ³ /s (96.5% de la valeur mesurée)	Excellent
Reconstitution du QMNA moyen	0.2 m ³ /s (85.7% de la valeur mesurée)	Très bon
Reconstitution du VCN30 moyen	0.2 m ³ /s (85.4% de la valeur mesurée)	Très bon
Reconstitution des débits mensuels interannuels	Voir fig. "Débits mensuels interannuels"	Très bon
Reconstitution des VCN30	Voir fig. VCN30	Bon
Reconstitution des QMNA	Voir fig. QMNA	Bon

Phase 1 | Objectif 4 : Connaître l'état des ressources sans les prélèvements et rejets afin d'identifier leur fonctionnement sans activités anthropiques

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

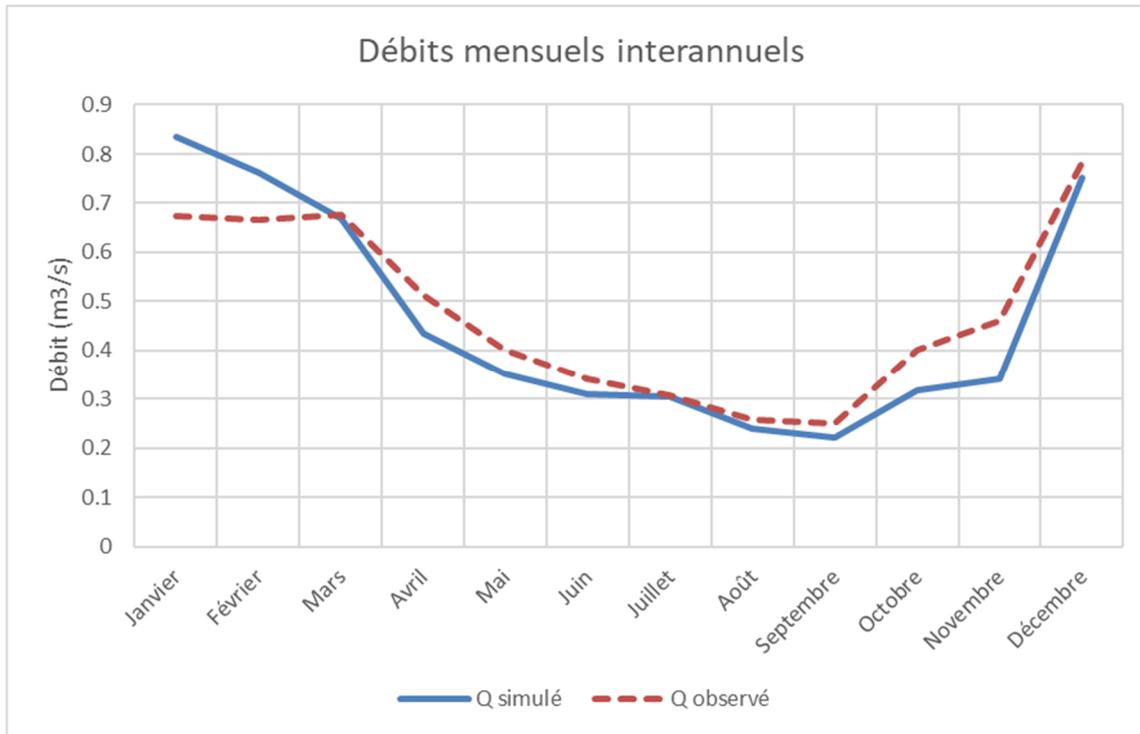


Figure 12 : Débits mensuels interannuels modélisés et observés – UG Hoëne

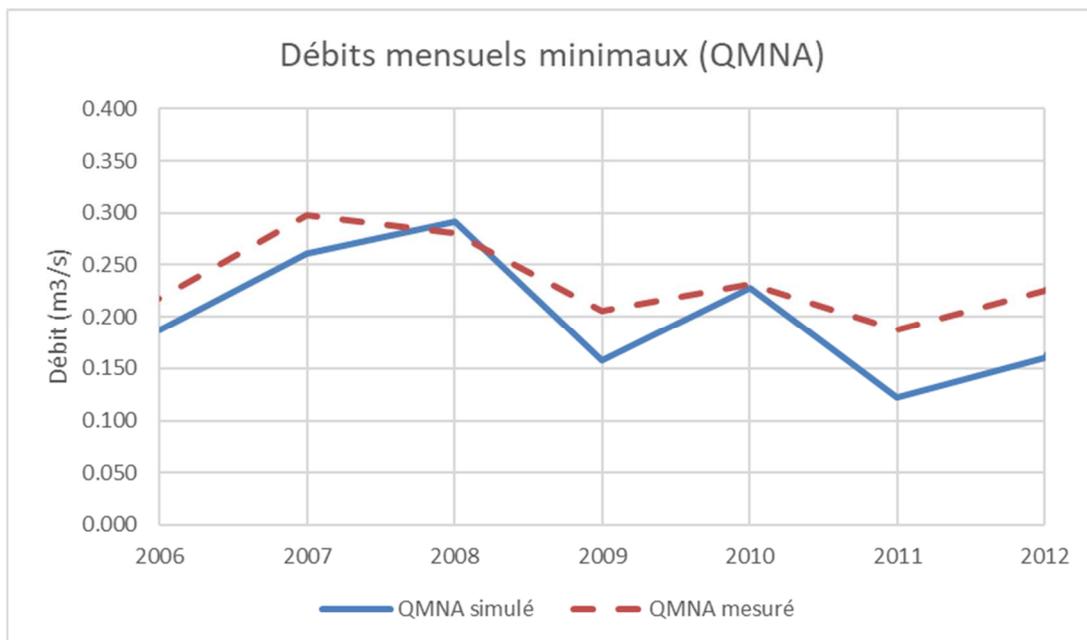


Figure 13 : QMNA modélisés et observés – UG Hoëne

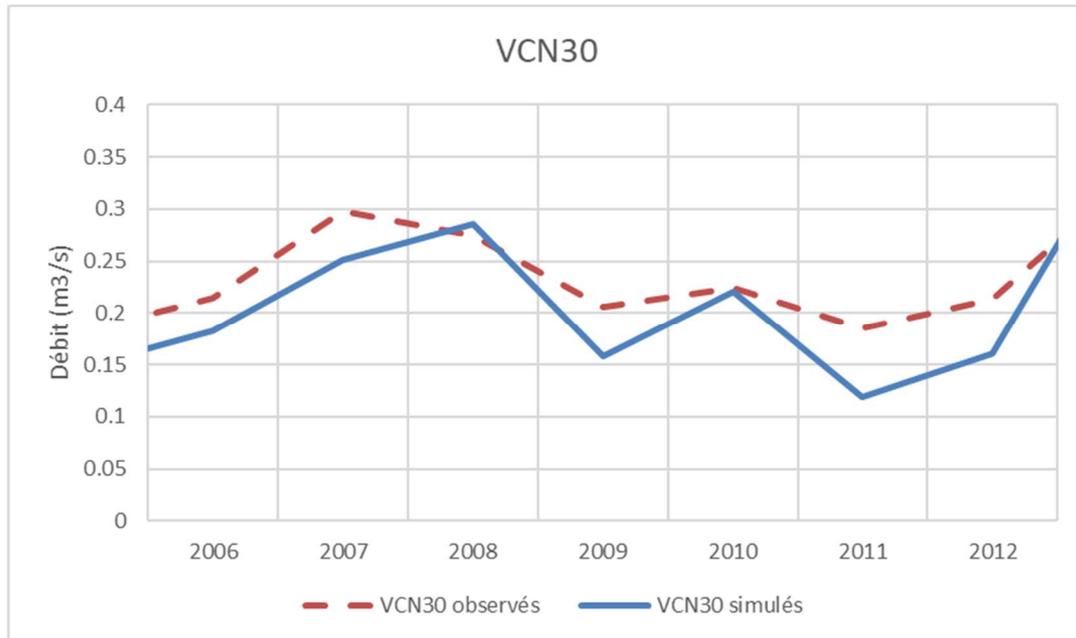


Figure 14 : VCN30 modélisés et observés – UG Hoëne

L'absence de suivi piézométrique au niveau de cette unité de gestion ne permet pas le calage du modèle pour les cotes piézométriques.

4.3.1.2 Synthèse modélisation de l'Hoëne

Les résultats de modélisation sont satisfaisants avec une évaluation générale « Bon » à « Excellent » suivant les indicateurs.

Le critère de NASH calculés sur les débits mensuels sont supérieurs à 0.8 en période annuelle et en période estivale. On peut voir que la variabilité des débits mensuels est assez bien restituée par le modèle notamment lorsque les débits sont les plus faibles. Il est à retenir pour la suite de l'étude que le modèle tend à sous-estimer les débits en début et fin de période de basses (selon le SDAGE), la fixation des seuils de gestion tiendra compte de ce biais de modélisation dans la suite de l'étude.

Les QMNA et VCN30 sont bien reconstitués par le modèle (erreur < 15%).

4.3.2 Sarthe amont

La chronique de débits observés pour l'UG de la Sarthe amont ne comporte des observations complète, de qualité et validées bonne que pour les années 2008 à 2018. La chronique est issue de la station de la Sarthe à Saint-Céneri-le-Gérei. La période de calage retenue est 2008-2018, on ne retient pas de période de validation.

Le calage du modèle sur cette sous-unité de gestion permet d'obtenir une représentation cohérente de la chronique de débits influencés que ce soit pour les bas débits ou les débits moyens et des indicateurs VCN30 et QMNA.

4.3.2.1 Performance en calage (2008-2018)

Tableau 5 : Métriques d'évaluation de performance pour le modèle de calage – UG Sarthe amont

Critère de performance	Valeur atteinte	Evaluation du critère
Coefficient de Nash sur les débits mensuels	0.96	Excellent
Coefficient de Nash sur les débits mensuels estivaux	0.89	Très bon
Reconstitution du module	6.55 m ³ /s (97.3% de la valeur mesurée)	Excellent
Reconstitution du QMNA moyen	0.94 m ³ /s (92.3% de la valeur mesurée)	Très bon
Reconstitution du VCN30 moyen	0.86 m ³ /s (92.3% de la valeur mesurée)	Très bon
Reconstitution des débits mensuels interannuels	Voir fig. "Débits mensuels interannuels"	Très bon
Reconstitution des VCN30	Voir fig. VCN30	Bon
Reconstitution des QMNA	Voir fig. QMNA	Bon

Phase 1 | Objectif 4 : Connaître l'état des ressources sans les prélèvements et rejets afin d'identifier leur fonctionnement sans activités anthropiques



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

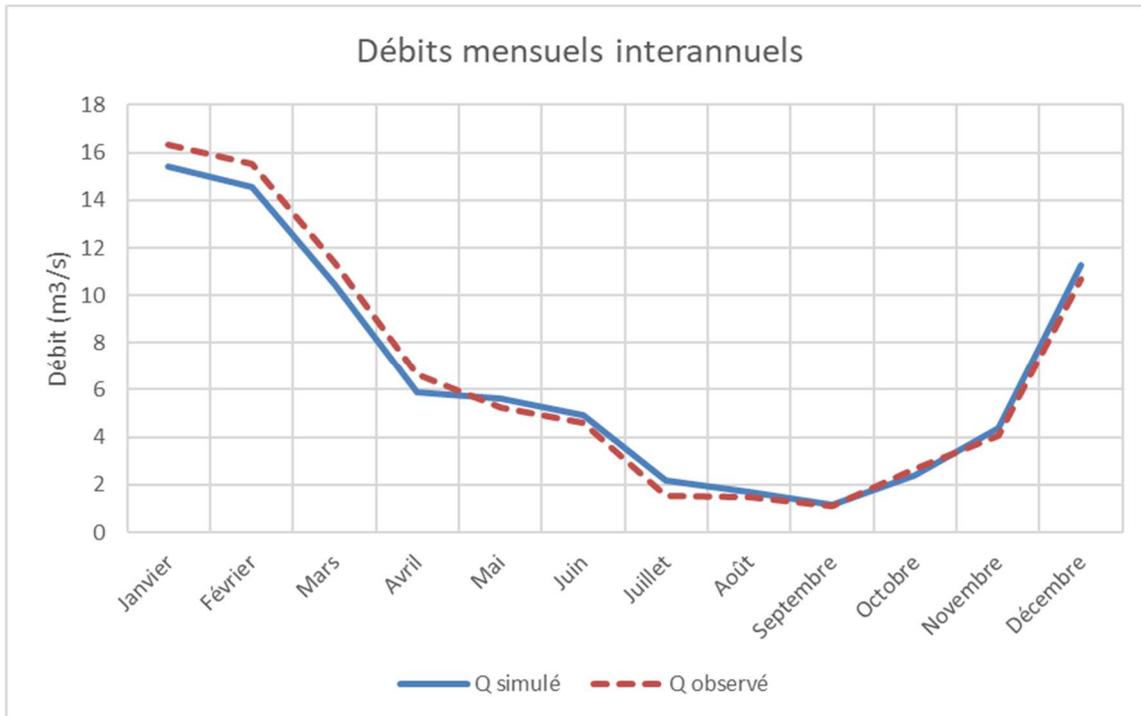


Figure 15 : Débits mensuels interannuels modélisés et observés – UG Sarthe amont

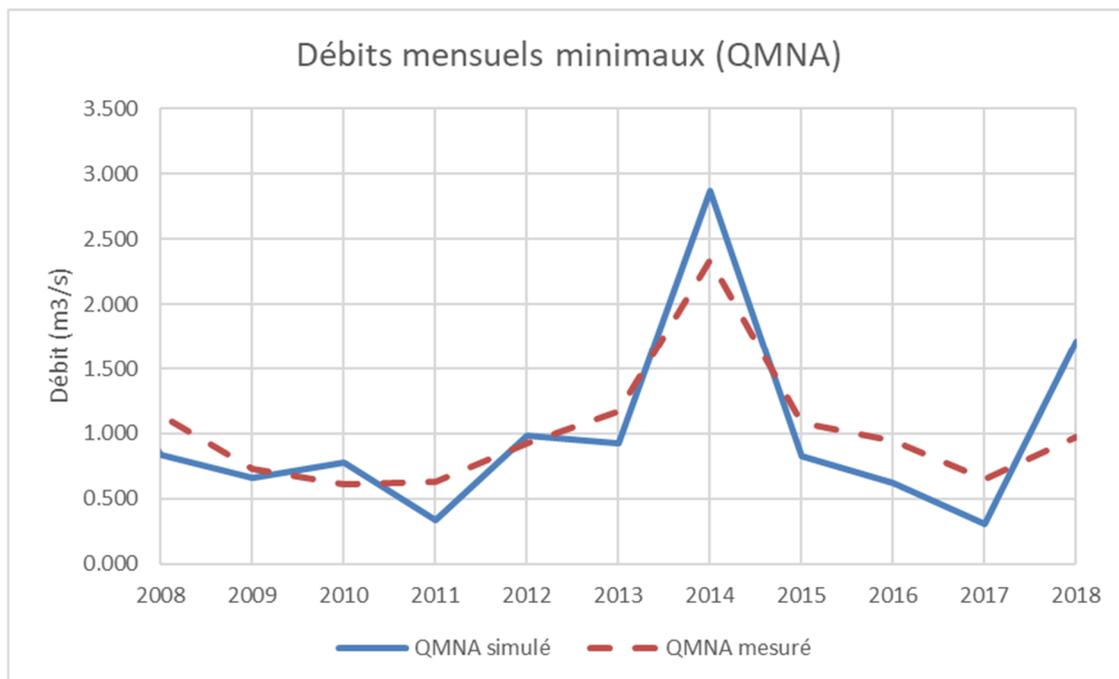


Figure 16 : QMNA modélisés et observés – UG Sarthe amont

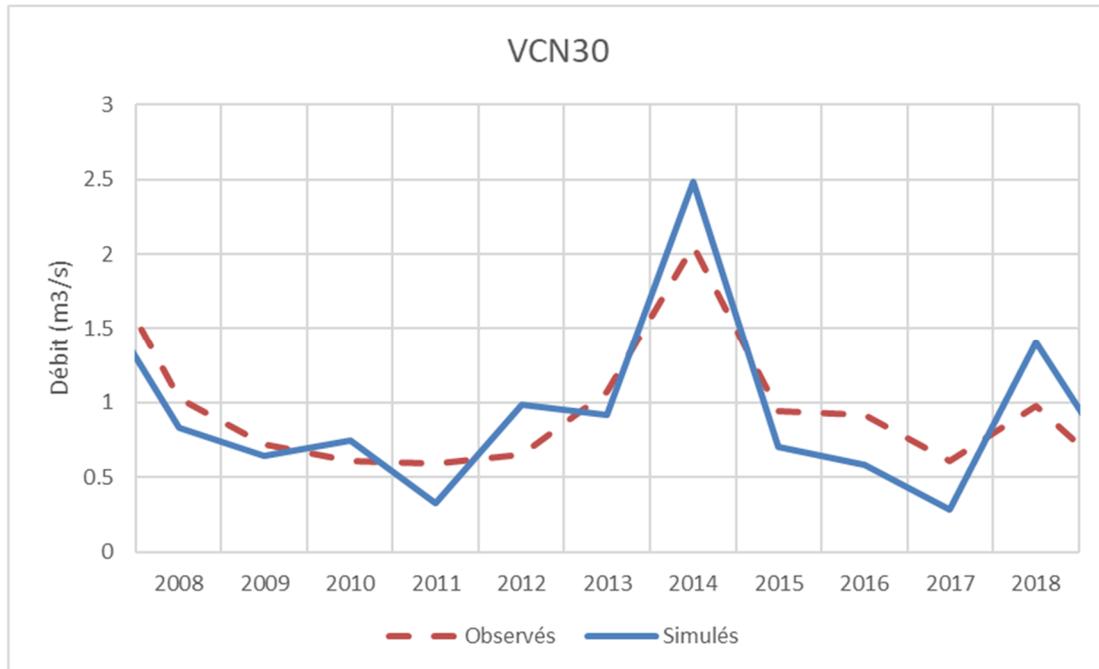


Figure 17 : VCN30 modélisés et observés – UG Sarthe amont

L'absence de suivi piézométrique au niveau de cette unité de gestion ne permet pas le calage du modèle pour les cotes piézométriques.

4.3.2.2 Synthèse modélisation de la Sarthe amont

Les résultats de modélisation sont satisfaisants avec une évaluation générale « Bon » à « Excellent » suivant les indicateurs.

Le critère de NASH calculés sur les débits mensuels sont supérieurs à 0.9 en période annuelle et à 0.8 en période estivale. On peut voir que la variabilité des débits mensuels est bien restituée par le modèle.

Les QMNA et VCN30 sont bien reconstitués par le modèle (erreur < 15%).

4.3.3 Ornette

La chronique de débits observés pour la SUG de l'Ornette ne comporte des observations complètes, de qualité et validées bonne que pour les années 2008 à 2018. La chronique est issue de la station de l'Ornette à Saint-Pierre-des-Nids. La période de calage retenue est 2008-2018 et on ne retient pas de période de validation faute de données suffisantes.

Le piézomètre sélectionné pour le calage des niveaux piézométriques est celui de Saint-Ellier-les-Bois (BSS003VFX/Y/X). Il est associé à l'aquifère du socle.

Le calage du modèle sur cette sous-unité de gestion permet d'obtenir une représentation cohérente de la chronique de débits influencés que ce soit pour les bas débits ou les débits moyens et des indicateurs VCN30 et QMNA.

4.3.3.1 Performance en calage (2008-2018)

Tableau 6 : Métriques d'évaluation de performance pour le modèle de calage – UG Ornette

Critère de performance	Valeur atteinte	Evaluation du critère
Coefficient de Nash sur les débits mensuels	0.93	Excellent
Coefficient de Nash sur les débits mensuels estivaux	0.99	Excellent
Reconstitution du module	0.47 m ³ /s (96.8% de la valeur mesurée)	Excellent
Reconstitution du QMNA moyen	0.02 m ³ /s (82.8% de la valeur mesurée)	Très bon
Reconstitution du VCN30 moyen	0.02 m ³ /s (80.6% de la valeur mesurée)	Très bon
Reconstitution des débits mensuels interannuels	Voir fig. "Débits mensuels interannuels"	Excellent pour les faibles débits, bon pour les forts débits
Reconstitution des VCN30	Voir fig. VCN30	Bon
Reconstitution des QMNA	Voir fig. QMNA	Bon

Phase 1 | Objectif 4 : Connaître l'état des ressources sans les prélèvements et rejets afin d'identifier leur fonctionnement sans activités anthropiques

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

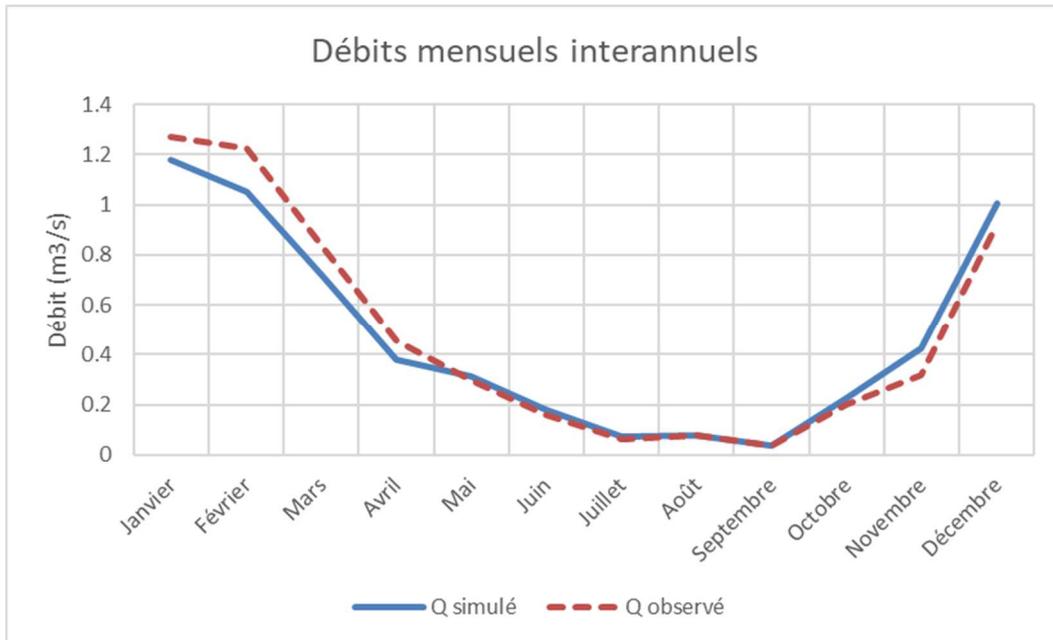


Figure 18 : Débits mensuels interannuels modélisés et observés – UG Ornette

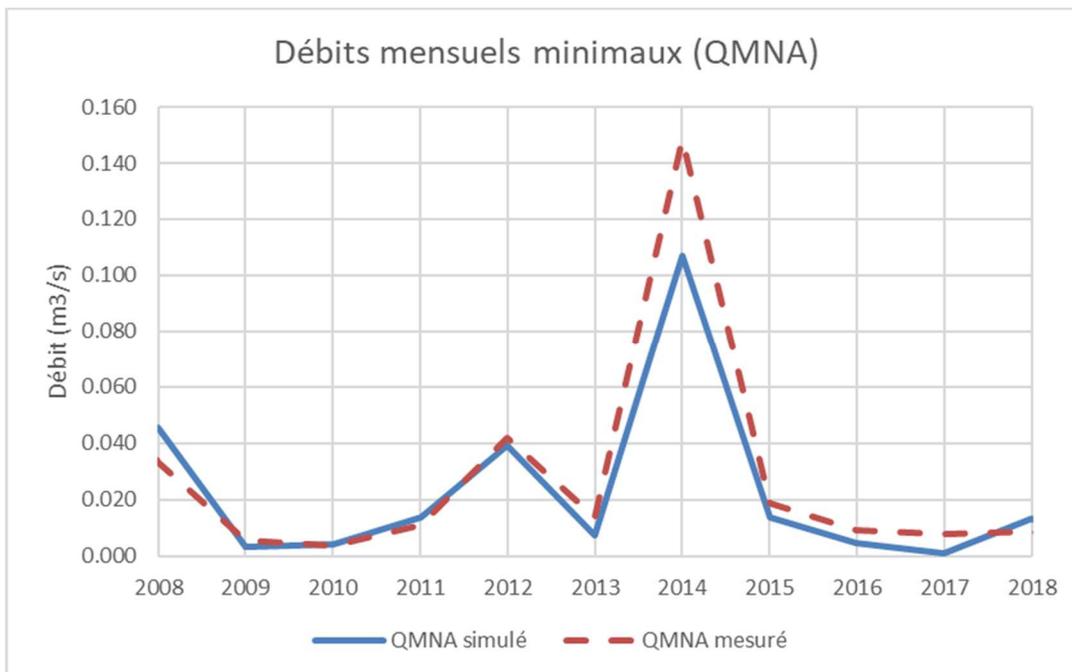


Figure 19 : QMNA modélisés et observés – UG Ornette

Phase 1 | Objectif 4 : Connaître l'état des ressources sans les prélèvements et rejets afin d'identifier leur fonctionnement sans activités anthropiques

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

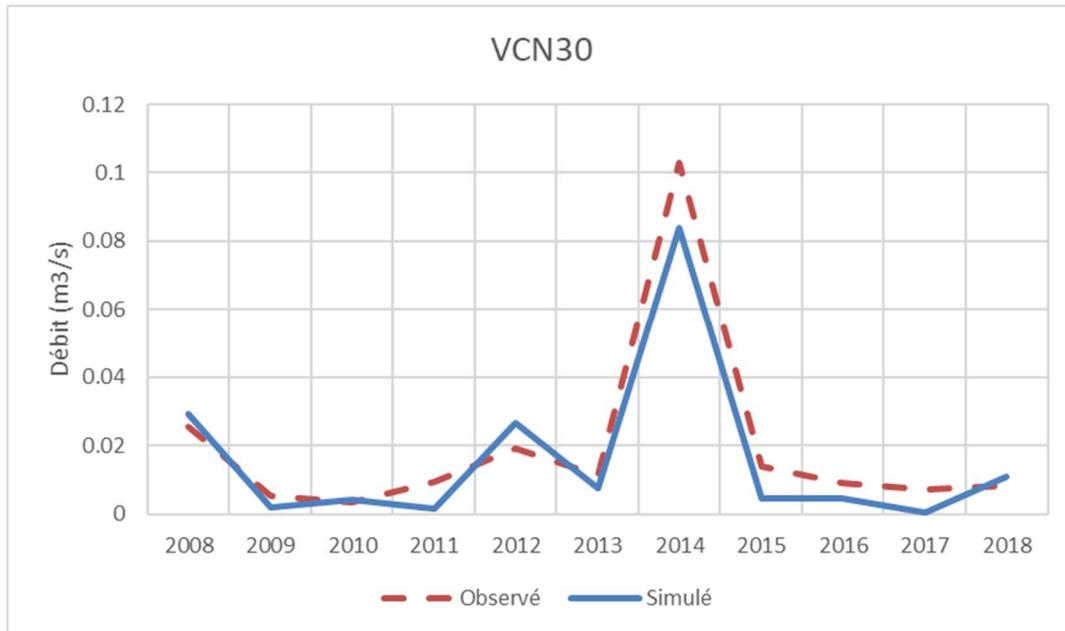


Figure 20 : VCN30 modélisés et observés – UG Ornette

RMSE sur la cote piézométrique : 0.79

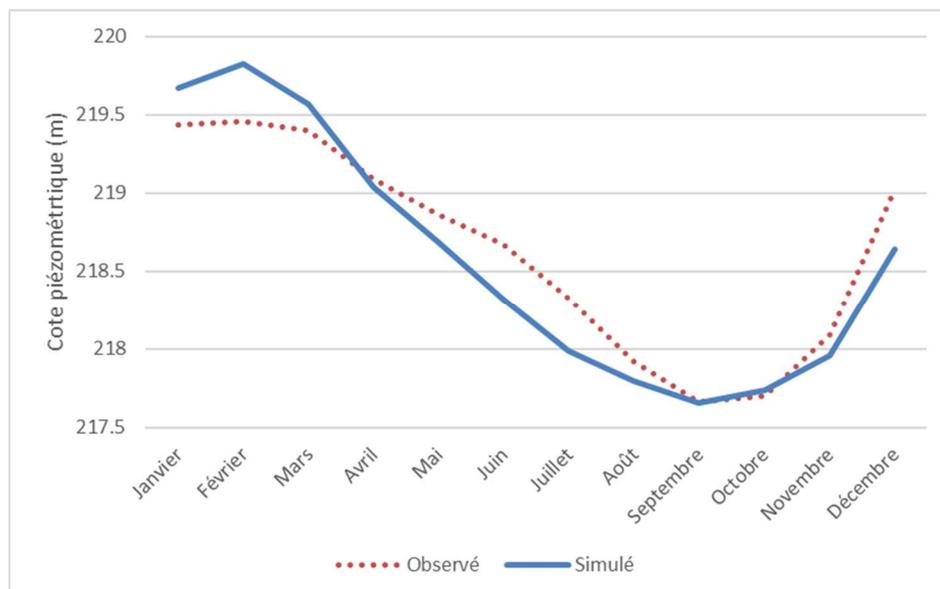


Figure 21 : Analyse des cotes piézométrique moyennes mensuelles modélisées et observées – UG Ornette

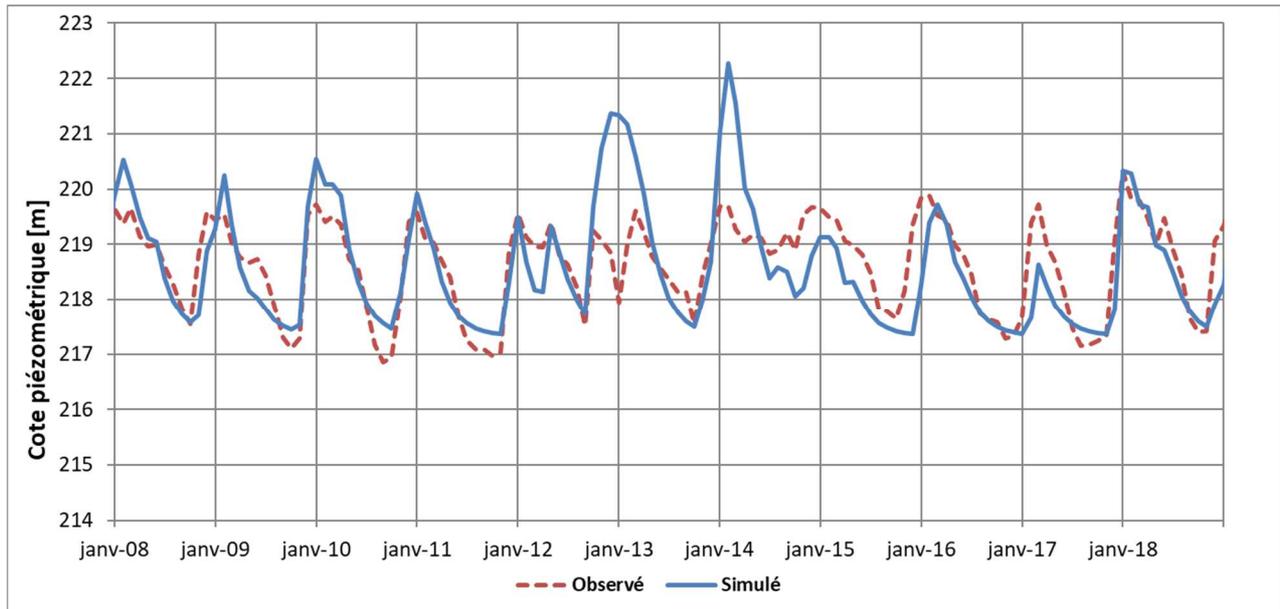


Figure 22 : Analyse des cotes piézométrique mensuelles modélisées et observées – UG Ornette

4.3.3.2 Synthèse modélisation de l'Ornette

Les résultats de modélisation sont très satisfaisants avec une évaluation générale « Très bon » à « Excellent » suivant les indicateurs.

Le critère de NASH calculés sur les débits mensuels sont supérieurs à 0.9 en période annuelle et en période estivale. On peut voir que la variabilité des débits mensuels est bien restituée par le modèle même si celui-ci tend à sous-estimer les débits hivernaux.

Les QMNA et VCN30 sont bien reconstitués par le modèle (erreur < 20%). Ils suivent les mêmes dynamiques que les observations mais ont tendances à être plus faibles sur la période 2008-2018. On note tout de même des erreurs relatives très fortes, celles-ci s'associent à des débits observés extrêmement bas. Dans ce cas le modèle présente une difficulté naturelle à bien représenter les processus en place.

La dynamique des niveaux piézométriques est correctement restituée par le modèle, même si celui-ci tend à légèrement sous-estimer la cote entre mai et juillet. On remarque sur le graphique représentant les valeurs simulées et observées mensuelles que le modèle reproduit correctement le fonctionnement de la nappe d'une année à l'autre. La variabilité dans les données simulées est forte pour cette nappe qui fluctue légèrement (RMSE = 0.8).

4.3.4 Merdereau

La chronique de débits observés pour la SUG du Merdereau ne comporte aucune lacune sur la période 2000-2019. La chronique est issue de la station du Merdereau à Saint-Paul-le-Gaultier. La période de calage retenue est 2000-2009 et la période de validation 2010-2019.

Le piézomètre sélectionné pour le calage des niveaux piézométriques est celui de Saint-Ellier-les-Bois (BSS003VFX/Y/X). Il est associé à l'aquifère du socle.

Le calage du modèle sur cette sous-unité de gestion permet d'obtenir une représentation cohérente de la chronique de débits influencés que ce soit pour les bas débits ou les débits moyens et des indicateurs VCN30 et QMNA.

4.3.4.1 Performance en calage (2000-2009)

Tableau 7 : Métriques d'évaluation de performance pour le modèle de calage – UG Merdereau

Critère de performance	Valeur atteinte	Evaluation du critère
Coefficient de Nash sur les débits mensuels	0.95	Excellent
Coefficient de Nash sur les débits mensuels estivaux	0.82	Très bon
Reconstitution du module	1.2 m ³ /s (102.3% de la valeur mesurée)	Excellent
Reconstitution du QMNA moyen	0.18 m ³ /s (94.5% de la valeur mesurée)	Excellent
Reconstitution du VCN30 moyen	0.17 m ³ /s (99.2% de la valeur mesurée)	Excellent
Reconstitution des débits mensuels interannuels	Voir fig. "Débits mensuels interannuels"	Très bon
Reconstitution des VCN30	Voir fig. VCN30	Bon
Reconstitution des QMNA	Voir fig. QMNA	Bon

Phase 1 | Objectif 4 : Connaître l'état des ressources sans les prélèvements et rejets afin d'identifier leur fonctionnement sans activités anthropiques



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

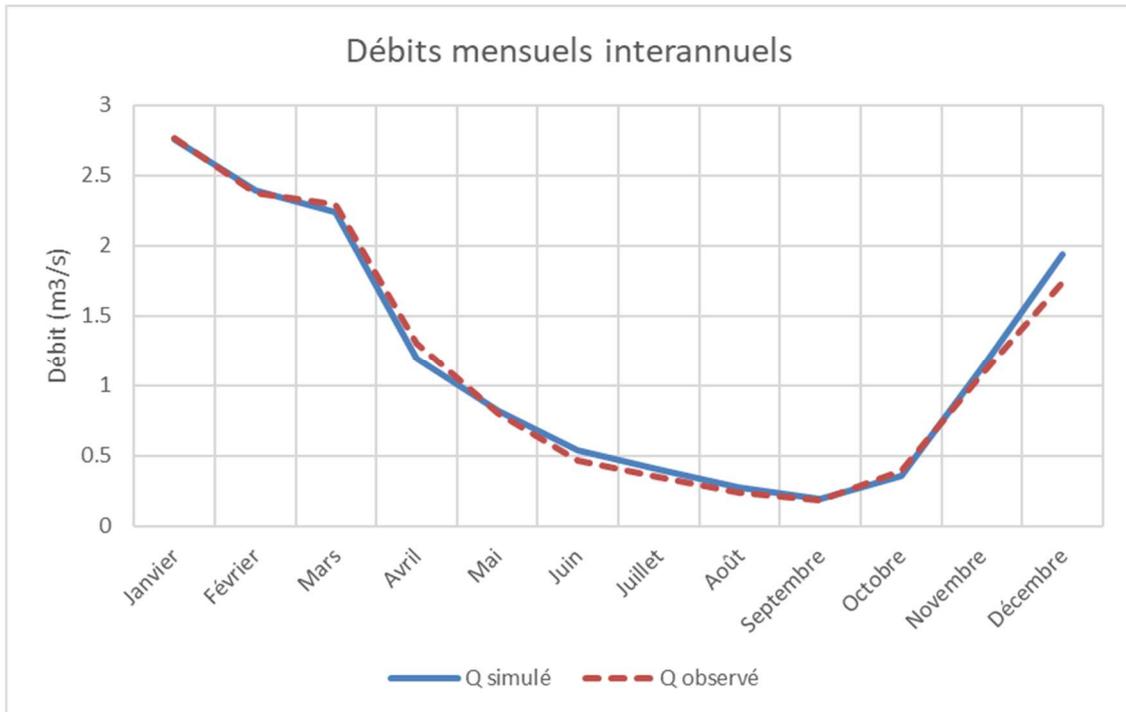


Figure 23 : Débits mensuels interannuels modélisés et observés – UG Merdereau

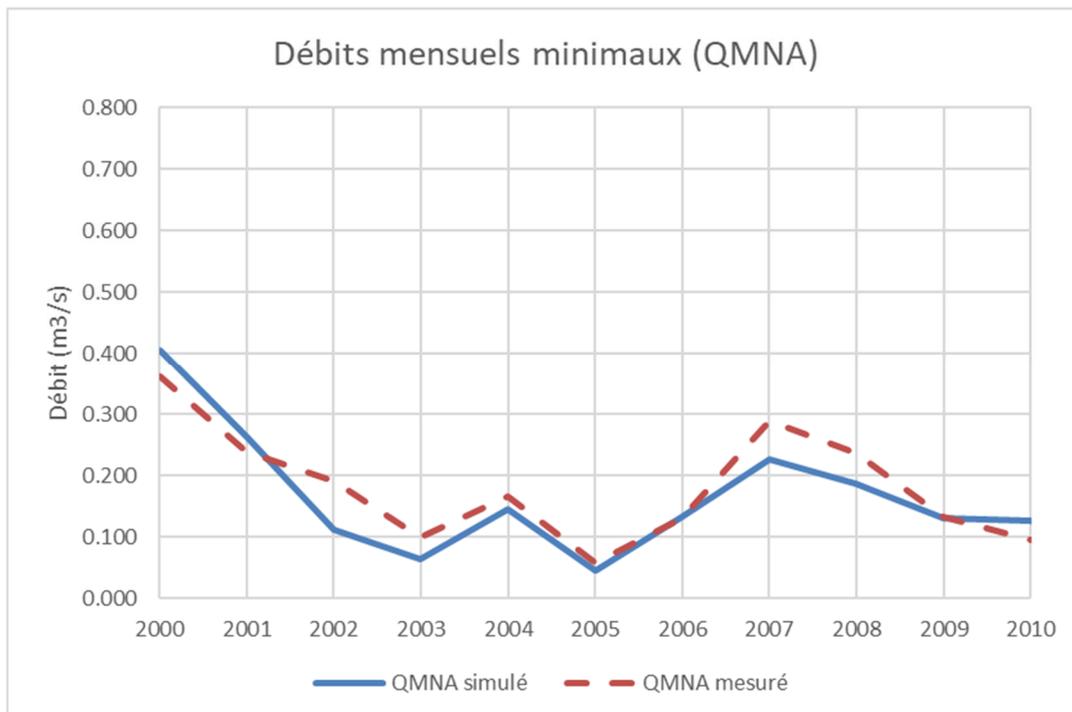


Figure 24 : QMNA modélisés et observés – UG Merdereau

Phase 1 | Objectif 4 : Connaître l'état des ressources sans les prélèvements et rejets afin d'identifier leur fonctionnement sans activités anthropiques



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

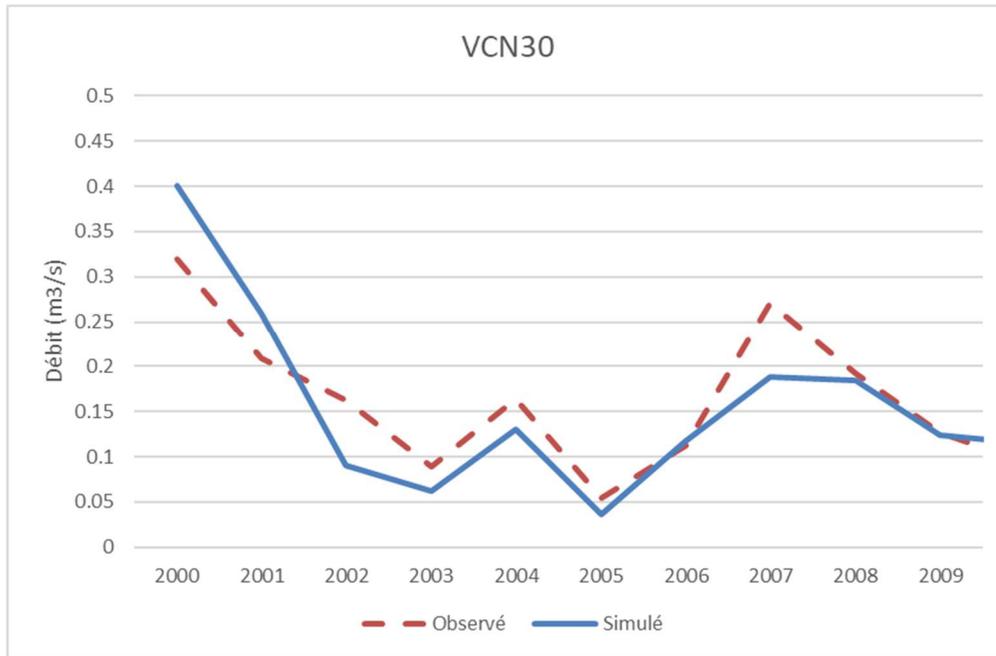


Figure 25 : VCN30 modélisés et observés – UG Merdereau

RMSE sur la cote piézométrique : 0.75

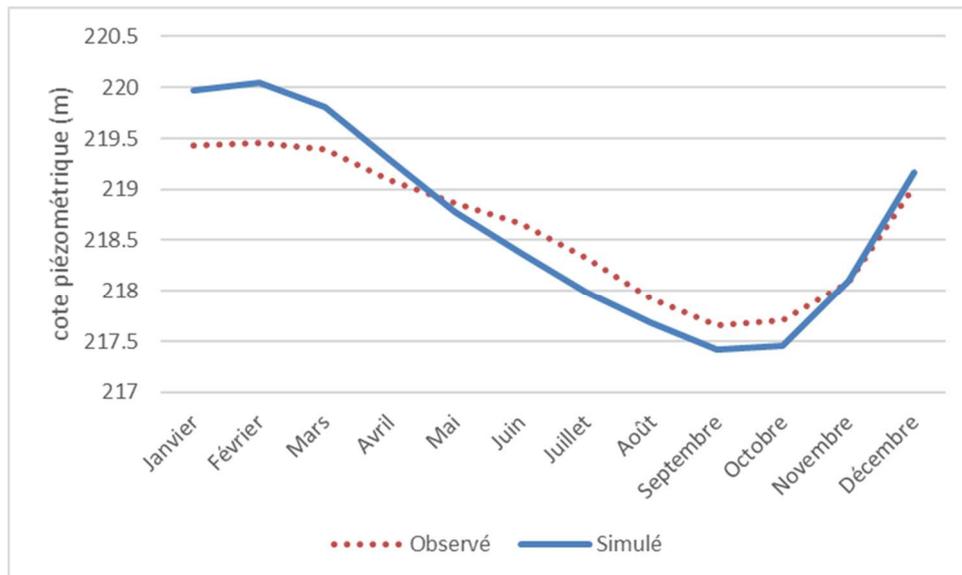


Figure 26 : Analyse des cotes piézométrique moyennes mensuelles modélisées et observées – UG Merdereau

Phase 1 | Objectif 4 : Connaître l'état des ressources sans les prélèvements et rejets afin d'identifier leur fonctionnement sans activités anthropiques



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

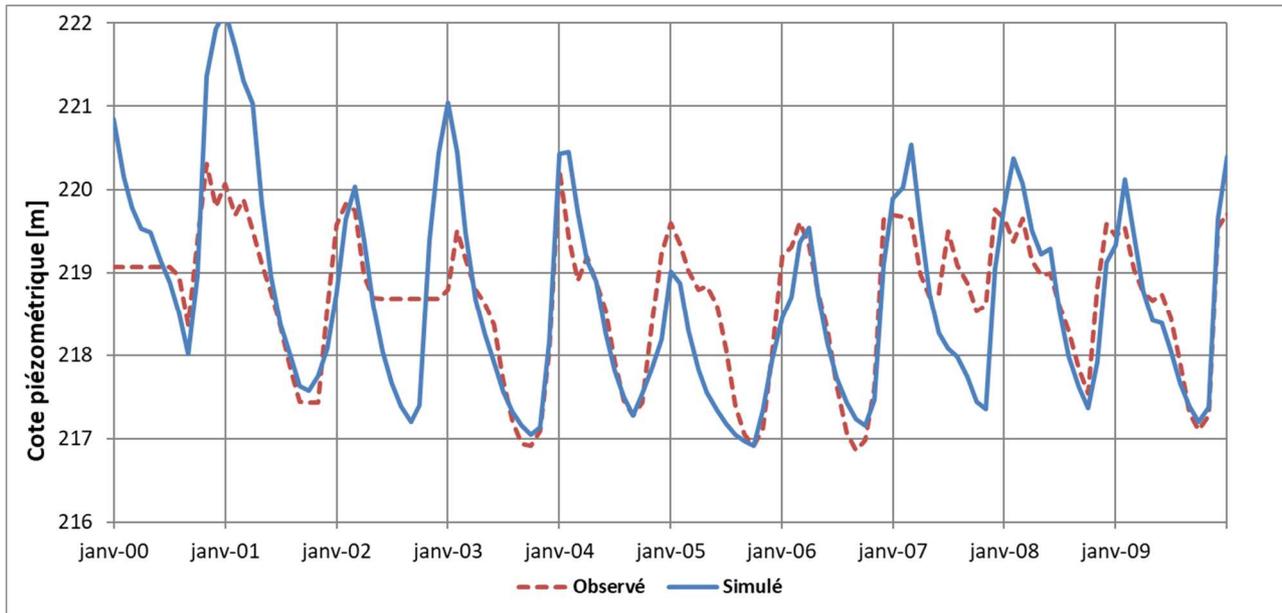


Figure 27 : Analyse des cotes piézométrique mensuelles modélisées et observées – UG Merdereau

4.3.4.2 Performance en validation (2010-2019)

Tableau 8 : Métriques d'évaluation de performance pour le modèle de calage en période de validation – UG Merdereau

Critère de performance	Valeur atteinte	Evaluation du critère
Coefficient de Nash sur les débits mensuels	0.87	Très bon
Coefficient de Nash sur les débits mensuels estivaux	0.85	Très bon
Reconstitution du module	1.06 m ³ /s (89.7% de la valeur mesurée)	Bon
Reconstitution du QMNA moyen	0.2 m ³ /s (111% de la valeur mesurée)	Excellent
Reconstitution du VCN30 moyen	0.19 m ³ /s (121.9% de la valeur mesurée)	Très bon
Reconstitution des débits mensuels interannuels	Voir fig. "Débits mensuels interannuels"	Bon
Reconstitution des VCN30	Voir fig. VCN30	Bon sur les années de plus faibles débits, acceptable sur les autres
Reconstitution des QMNA	Voir fig. QMNA	Bon sur les années de plus faibles débits, acceptable sur les autres

Phase 1 | Objectif 4 : Connaître l'état des ressources sans les prélèvements et rejets afin d'identifier leur fonctionnement sans activités anthropiques



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

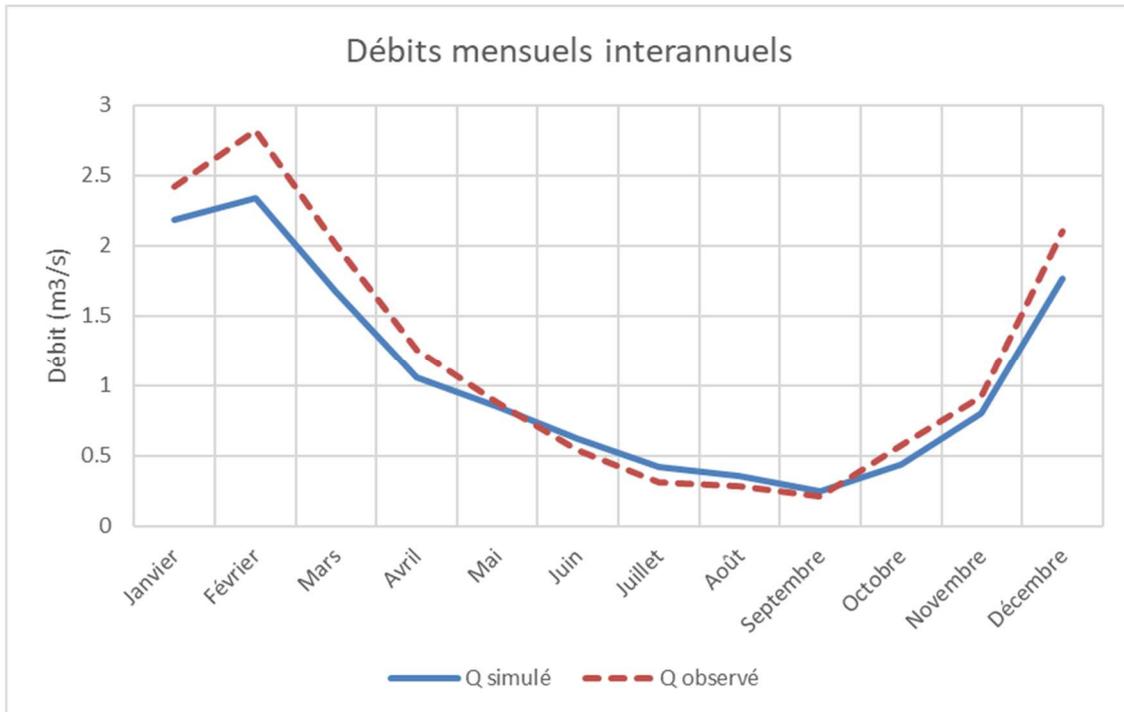


Figure 28 : Débits mensuels interannuels modélisés et observés – UG Merdereau

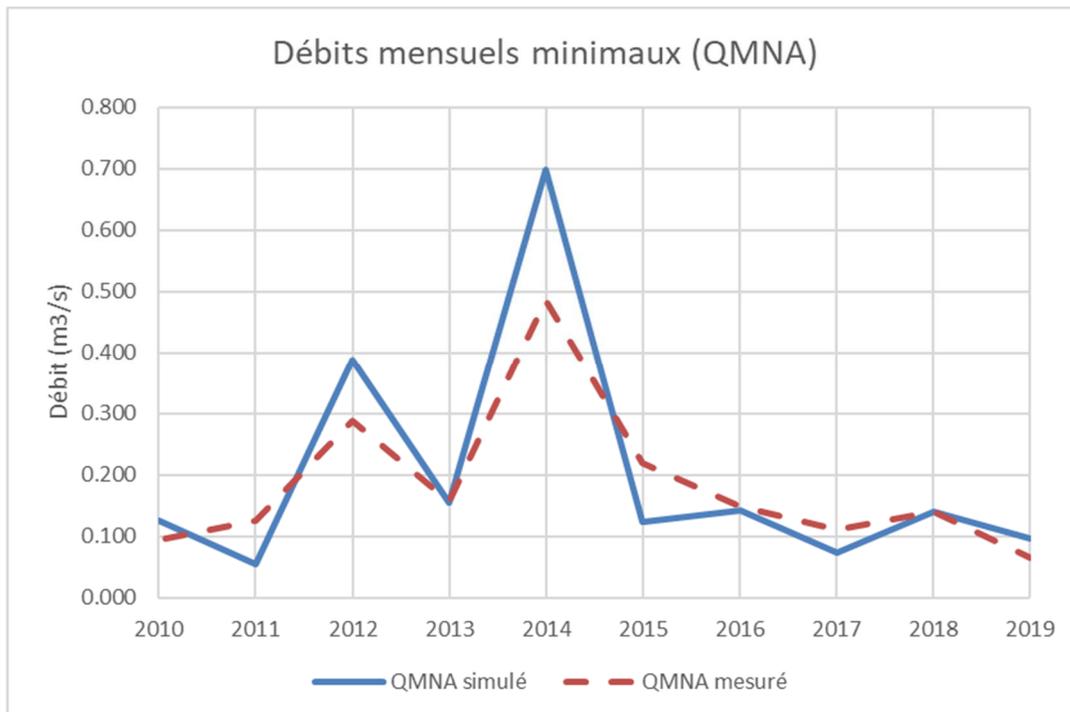


Figure 29 : QMNA modélisés et observés – UG Merdereau

Phase 1 | Objectif 4 : Connaître l'état des ressources sans les prélèvements et rejets afin d'identifier leur fonctionnement sans activités anthropiques



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

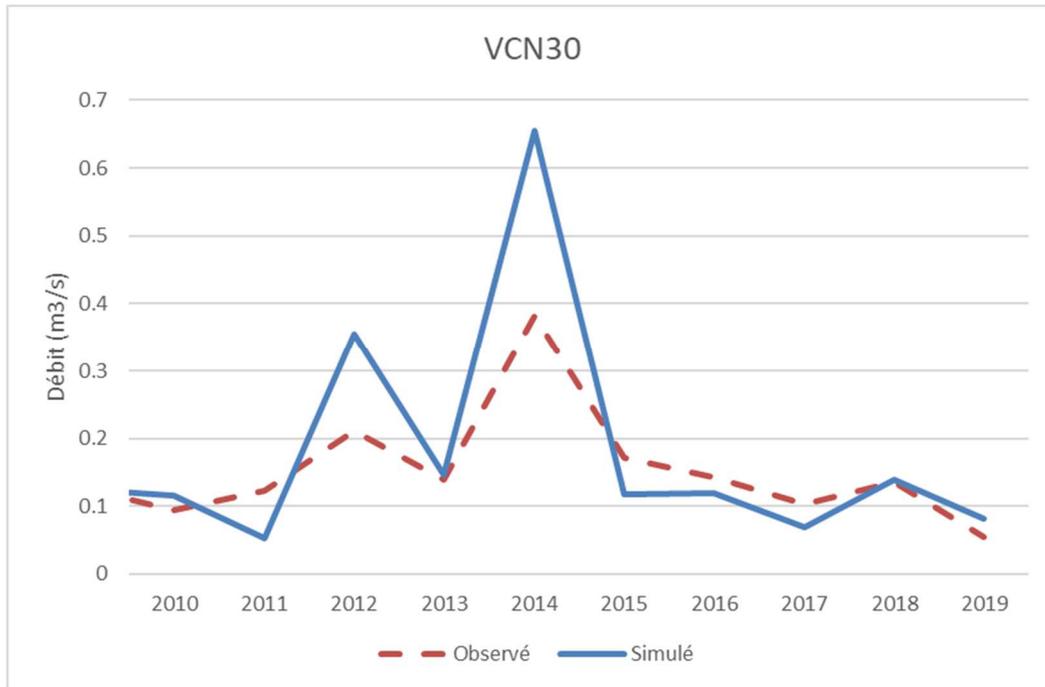


Figure 30 : VCN30 modélisés et observés – UG Merdereau

RMSE sur la cote piézométrique : 0.76

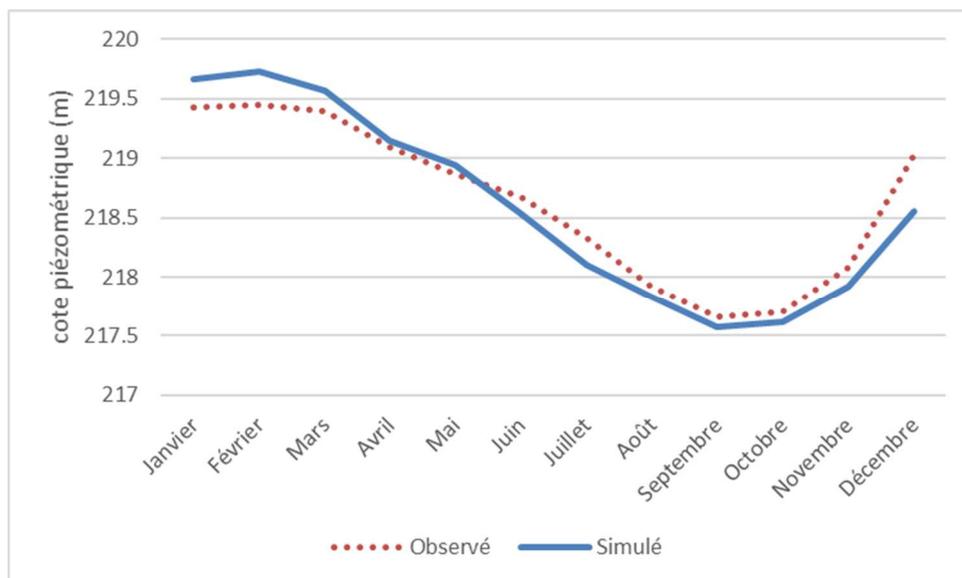


Figure 31 : Analyse des cotes piézométrique moyennes mensuelles modélisées et observées – UG Merdereau

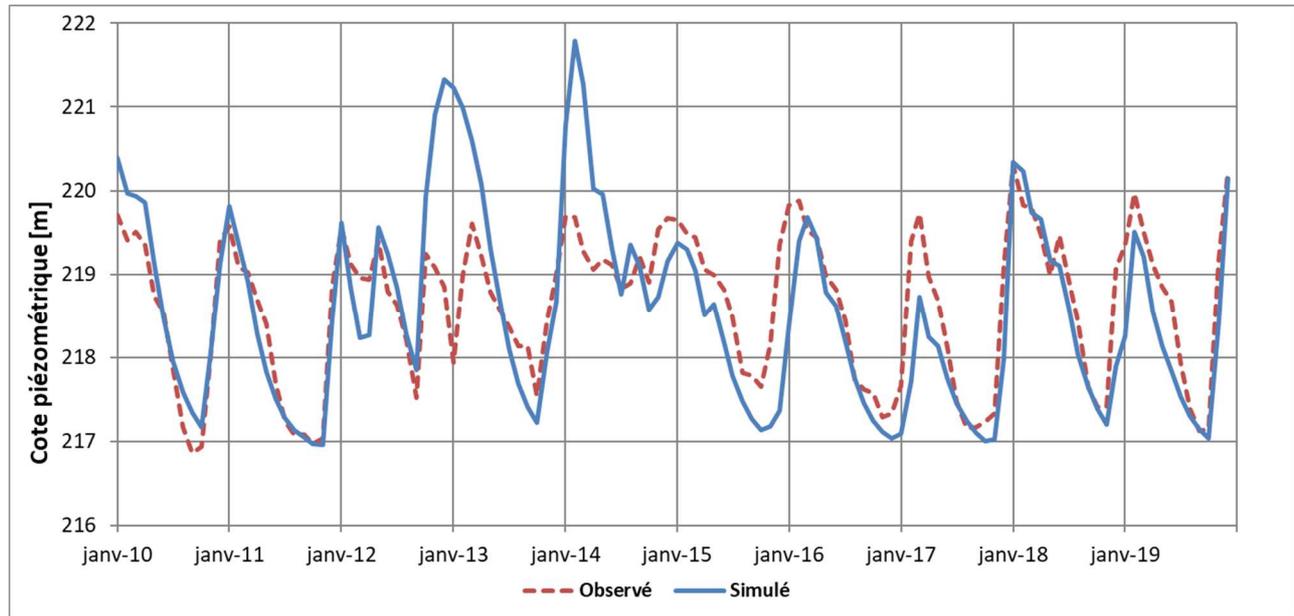


Figure 32 : Analyse des cotes piézométrique mensuelles modélisées et observées – UG Merdereau

4.3.4.3 Synthèse modélisation du Merdereau

Les résultats de modélisation sont très satisfaisants avec une évaluation générale de « bon » à « excellent » suivant les indicateurs que ce soit en période de calage ou de validation.

Les critères de Nash calculés sur les débits mensuels sont supérieurs à 0.8 en période annuelle et en période estivale pour la période de calage et de validation. On peut observer que la variabilité annuelle des débits est très bien restituée par le modèle même si celui-ci tend à légèrement sous-estimé les débits hivernaux en période de validation. Le modèle est ainsi performant pour représenter les débits.

Les QMNA et VCN30 modélisés suivent la même dynamique que les observations et les deux courbes restent très similaires que ce soit en année sèche ou humide, excepté le VCN30 en 2014 en période de validation.

La dynamique des niveaux piézométriques semble bien restituée par le modèle au cours de l'année malgré une légère sous-estimation des bas niveaux de la nappe pour la période de calage. On remarque que le modèle reproduit correctement le fonctionnement de la nappe d'une année à l'autre pour la période de calage et de validation. La RMSE est faible, en période de calage comme de validation, ce qui peut être mis en relation avec la faible fluctuation de la nappe entre les niveaux haut et bas.

4.3.5 Vaudelle

La chronique de débits observés pour la SUG de la Vaudelle ne comporte aucune lacune sur la période 2000-2018. La chronique est issue de la station de la Vaudelle à Saint-Georges-le-Gaultier. La période de calage retenue est 2000-2009 et la période de validation 2010-2018.

Le piézomètre sélectionné pour le calage des niveaux piézométriques est celui de Saint-Ellier-les-Bois (BSS003VFXY/X). Il est associé à l'aquifère du socle.

Le calage du modèle sur cette sous-unité de gestion permet d'obtenir une représentation cohérente de la chronique de débits influencés que ce soit pour les bas débits ou les débits moyens et des indicateurs VCN30 et QMNA.

4.3.5.1 Performance en calage (2000-2009)

Tableau 9 : Métriques d'évaluation de performance pour le modèle de calage – UG Vaudelle

Critère de performance	Valeur atteinte	Evaluation du critère
Coefficient de Nash sur les débits mensuels	0.92	Excellent
Coefficient de Nash sur les débits mensuels estivaux	0.66	Acceptable
Reconstitution du module	0.97 m3/s (101.3% de la valeur mesurée)	Excellent
Reconstitution du QMNA moyen	0.2 m3/s (105.8% de la valeur mesurée)	Excellent
Reconstitution du VCN30 moyen	0.19 m3/s (107.7% de la valeur mesurée)	Excellent
Reconstitution des débits mensuels interannuels	Voir fig. "Débits mensuels interannuels"	Très bon
Reconstitution des VCN30	Voir fig. VCN30	Acceptable
Reconstitution des QMNA	Voir fig. QMNA	Acceptable

Phase 1 | Objectif 4 : Connaître l'état des ressources sans les prélèvements et rejets afin d'identifier leur fonctionnement sans activités anthropiques

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

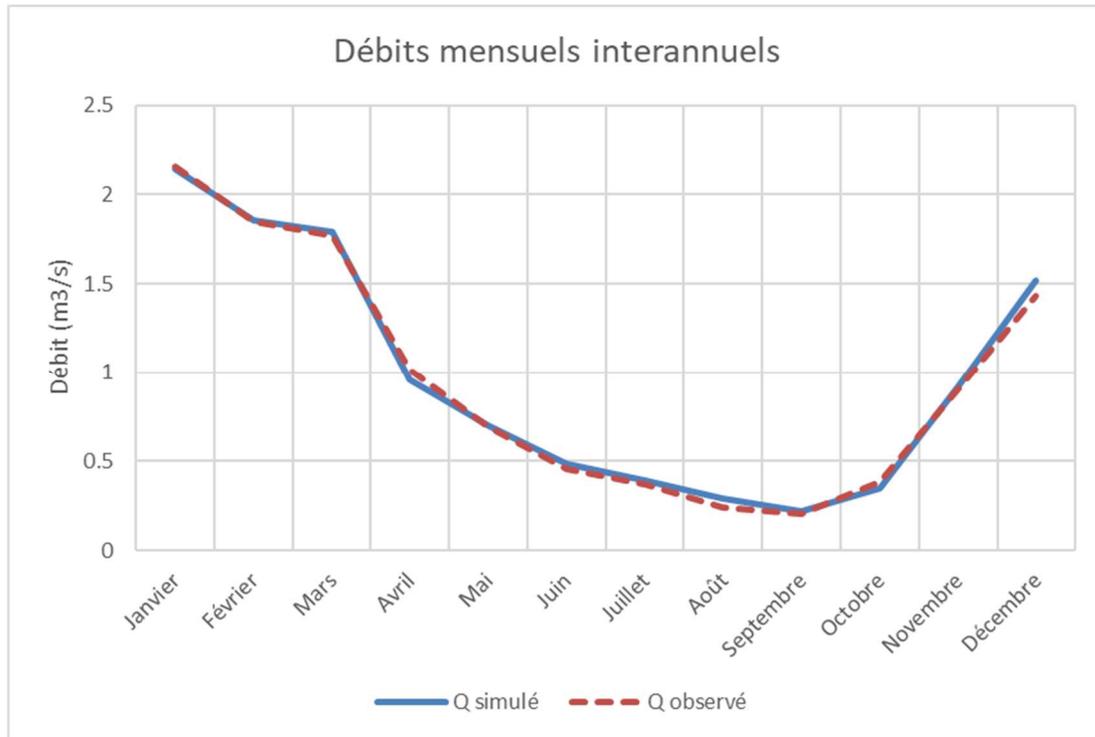


Figure 33 : Débits mensuels interannuels modélisés et observés – UG Vaudelle

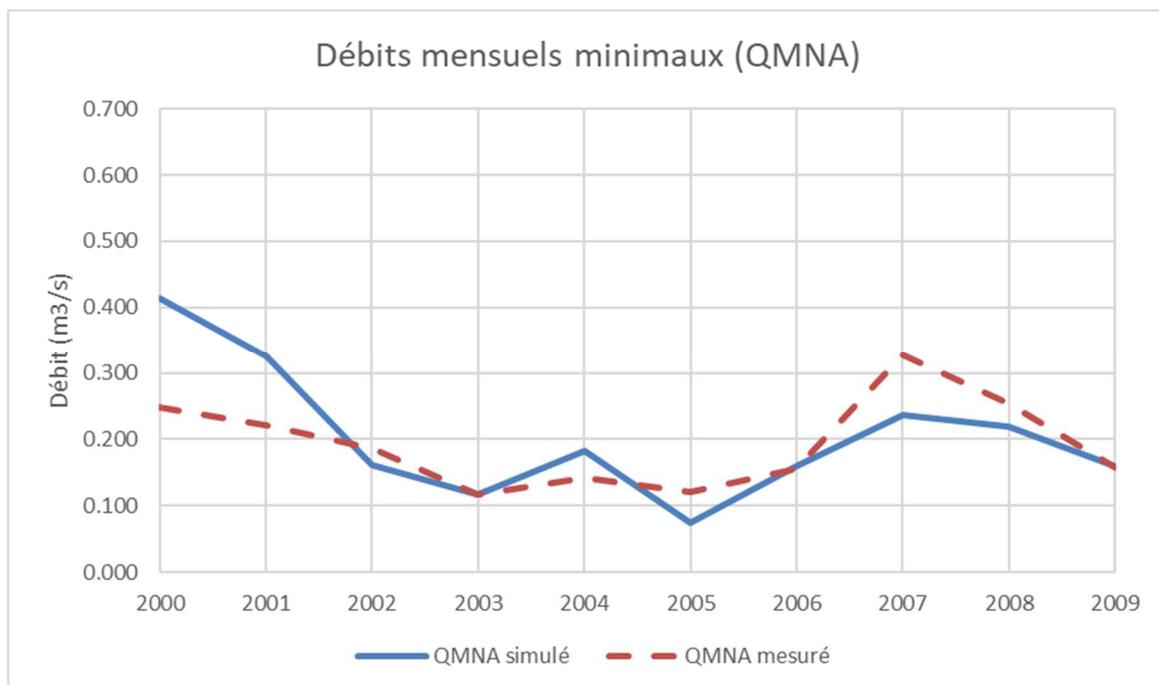


Figure 34 : QMNA modélisés et observés – UG Vaudelle

Phase 1 | Objectif 4 : Connaître l'état des ressources sans les prélèvements et rejets afin d'identifier leur fonctionnement sans activités anthropiques

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

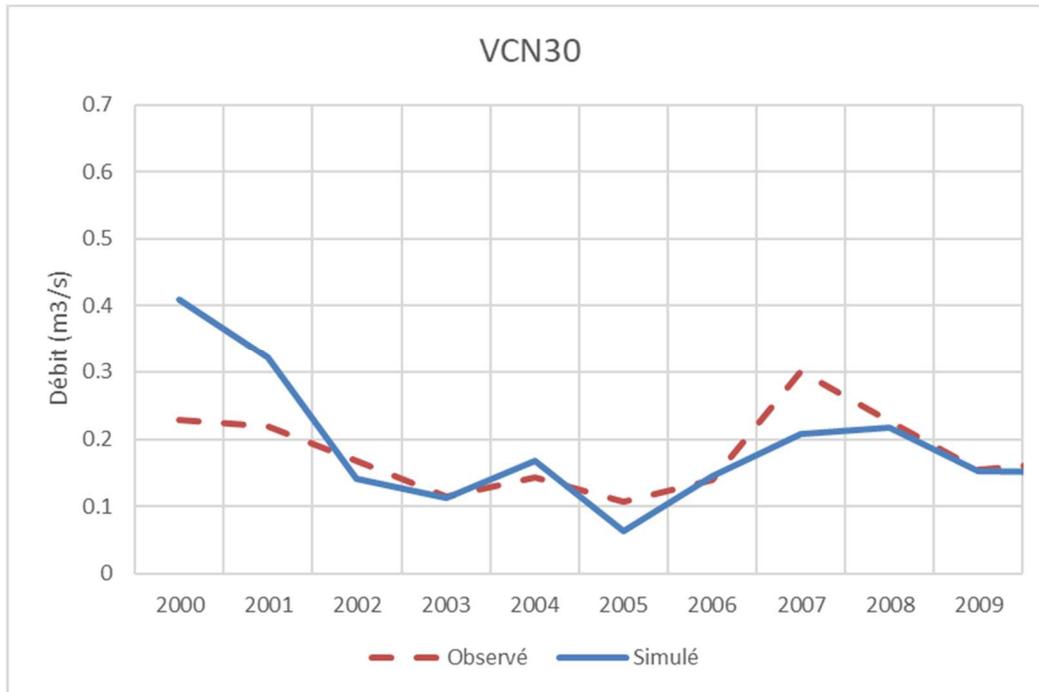


Figure 35 : VCN30 modélisés et observés – UG Vaudelle

RMSE sur la cote piézométrique : 0.77

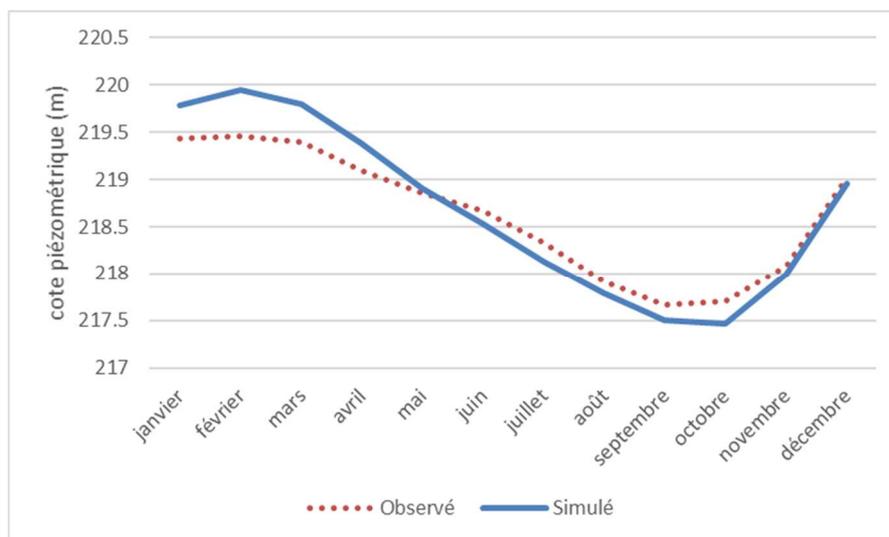


Figure 36 : Analyse des cotes piézométrique moyennes mensuelles modélisées et observées – UG Vaudelle

Phase 1 | Objectif 4 : Connaître l'état des ressources sans les prélèvements et rejets afin d'identifier leur fonctionnement sans activités anthropiques

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

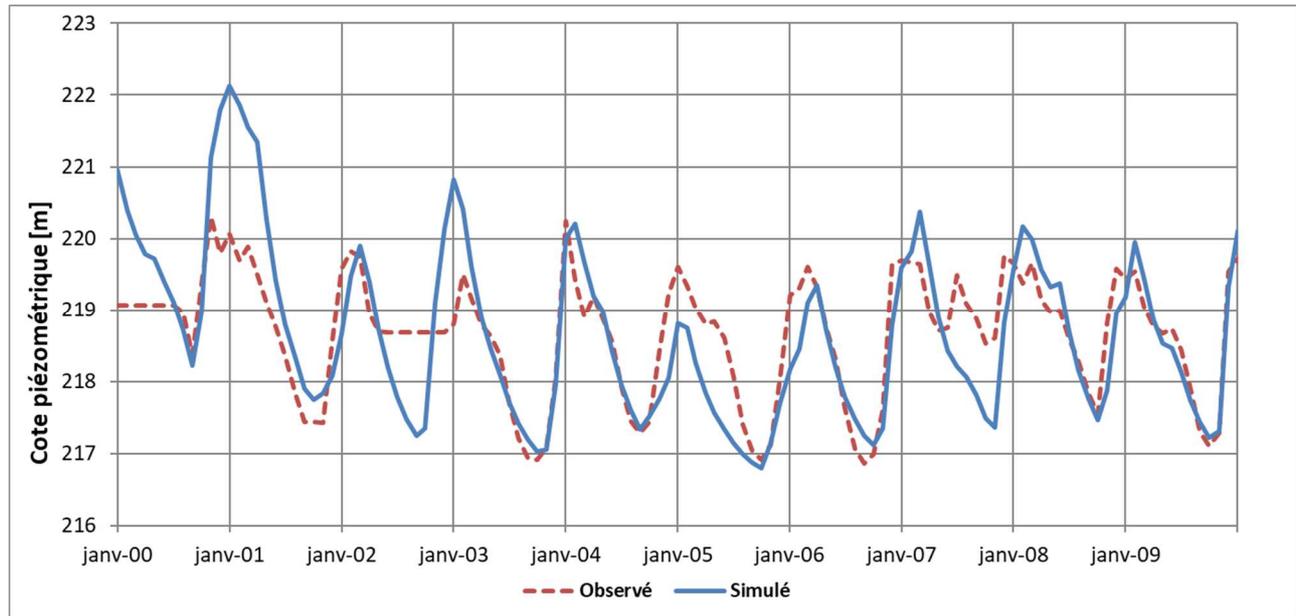


Figure 37 : Analyse des cotes piézométriques mensuelles modélisées et observées – UG Vaudelle

4.3.5.2 Performance en validation (2010-2018)

Tableau 10 : Métriques d'évaluation de performance pour le modèle de calage en période de validation – UG Vaudelle

Critère de performance	Valeur atteinte	Evaluation du critère
Coefficient de Nash sur les débits mensuels	0.88	Très bon
Coefficient de Nash sur les débits mensuels estivaux	0.81	Très bon
Reconstitution du module	0.86 m ³ /s (85.8% de la valeur mesurée)	Bon
Reconstitution du QMNA moyen	0.22 m ³ /s (99.6% de la valeur mesurée)	Excellent
Reconstitution du VCN30 moyen	0.21 m ³ /s (101.7% de la valeur mesurée)	Excellent
Reconstitution des débits mensuels interannuels	Voir fig. "Débits mensuels interannuels"	Acceptable
Reconstitution des VCN30	Voir fig. VCN30	Acceptable
Reconstitution des QMNA	Voir fig. QMNA	Acceptable

Phase 1 | Objectif 4 : Connaître l'état des ressources sans les prélèvements et rejets afin d'identifier leur fonctionnement sans activités anthropiques

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

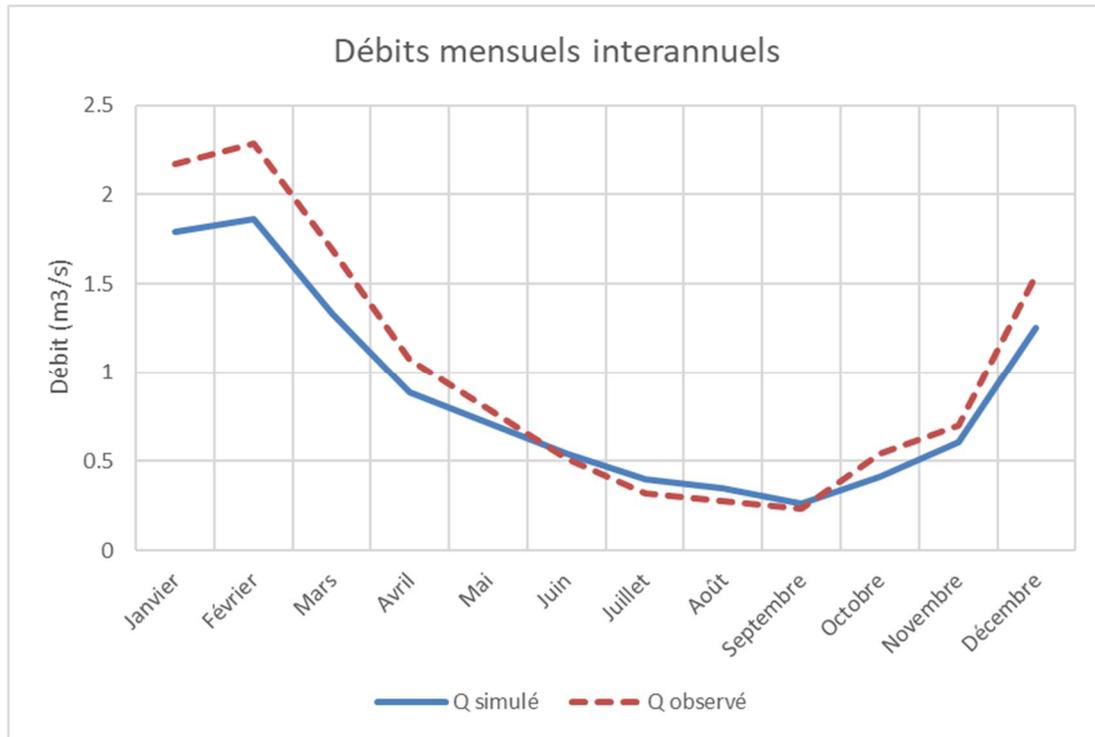


Figure 38 : Débits mensuels interannuels modélisés et observés – UG Vaudelle

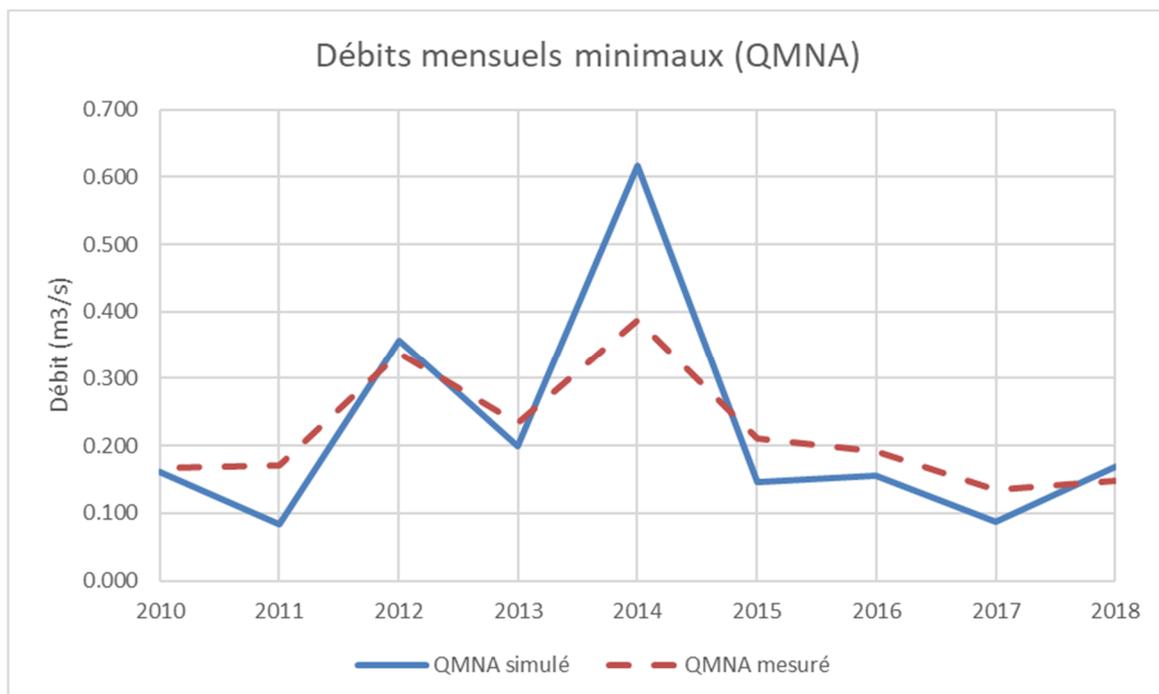


Figure 39 : QMNA modélisés et observés – UG Vaudelle

Phase 1 | Objectif 4 : Connaître l'état des ressources sans les prélèvements et rejets afin d'identifier leur fonctionnement sans activités anthropiques

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

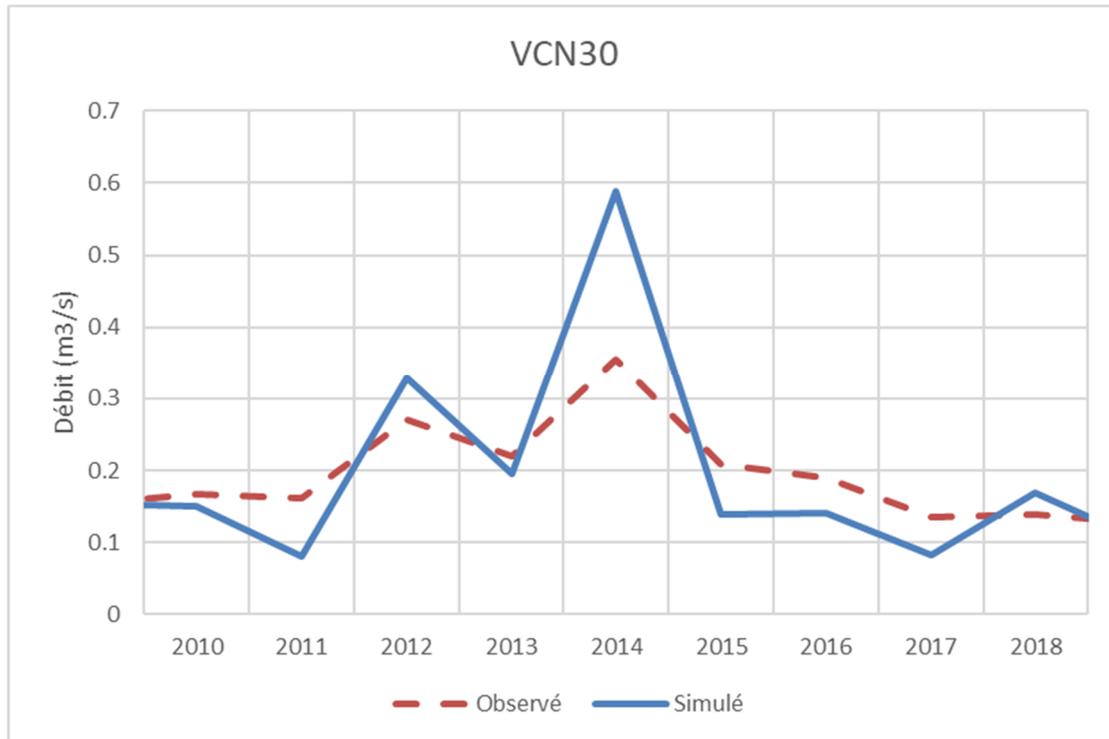


Figure 40 : VCN30 modélisés et observés – UG Vaudelle

RMSE sur la cote piézométrique : 0.79

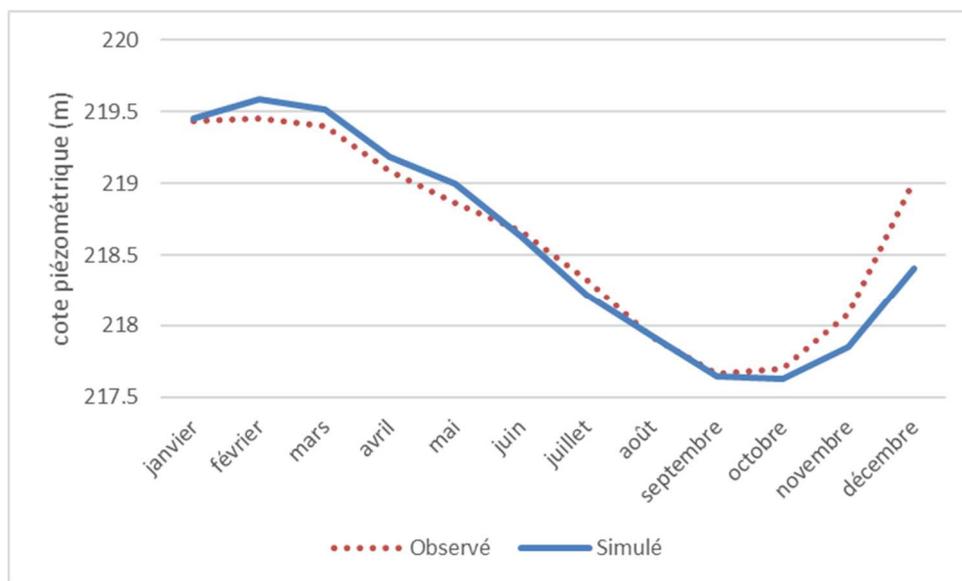


Figure 41 : Analyse des cotes piézométrique moyennes mensuelles modélisées et observées – UG Vaudelle

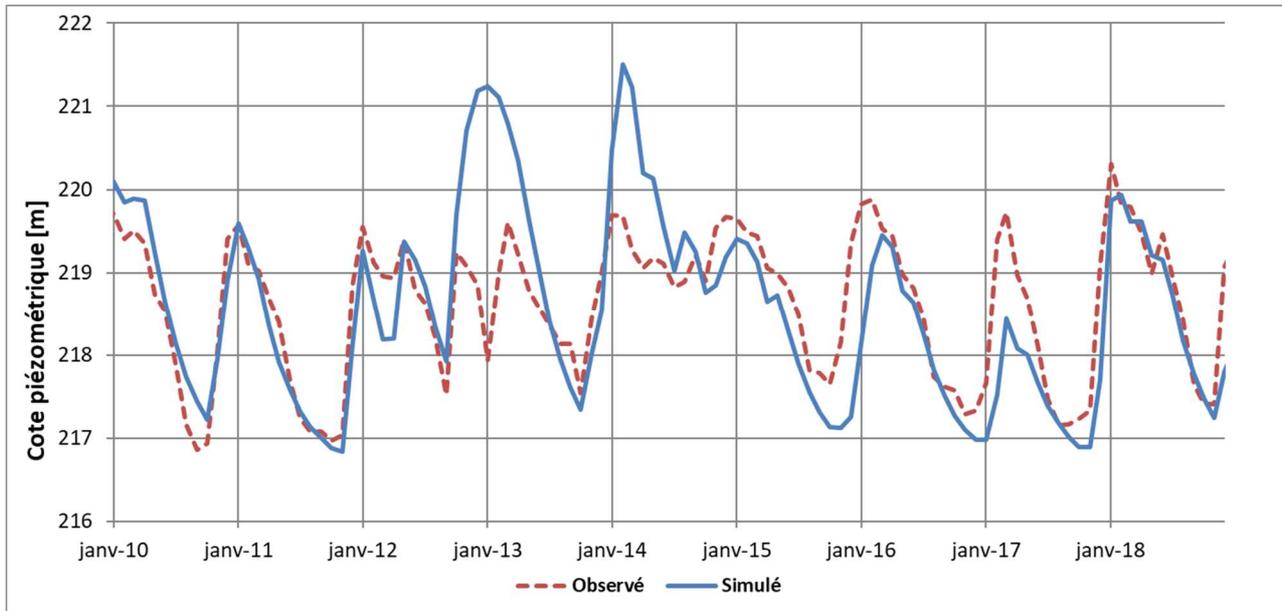


Figure 42 : Analyse des cotes piézométriques mensuelles modélisées et observées – UG Vaudelle

4.3.5.3 Synthèse modélisation de la Vaudelle

Les résultats de modélisation sont satisfaisants avec une évaluation générale de « acceptable » à « excellent » suivant les indicateurs que ce soit en période de calage ou de validation.

Les critères de Nash calculés sur les débits mensuels sont supérieurs à 0.8 en période annuelle et en période estivale pour la période de calage et de validation, excepté pour le calage en période estivale (0.66). On peut observer que la variabilité annuelle des débits est très bien restituée par le modèle même si celui-ci tend à légèrement sous-estimer les débits hivernaux en période de validation. Le modèle est ainsi performant pour représenter les débits.

Les QMNA et VCN30 modélisés suivent la même dynamique que les observations et les deux courbes restent très similaires que ce soit en année sèche ou humide (erreur < 10%), excepté en 2014 lors de la période de validation.

La dynamique des niveaux piézométriques semble bien restituée par le modèle au cours de l'année malgré une légère sous-estimation des bas niveaux de la nappe pour la période de calage. On remarque que le modèle reproduit correctement le fonctionnement de la nappe d'une année à l'autre pour la période de calage et de validation.

4.3.6 Orthe

La chronique de débits observés pour la SUG de l'Orthe ne comporte des observations complètes, de qualité et validées bonne que pour les années 2008 à 2019. La chronique est issue de la station de l'Orthe à Douillet. La période de calage retenue est 2008-2019, on ne retient pas de période de validation.

Le piézomètre sélectionné pour le calage des niveaux piézométriques est celui de Saint-Ellier-les-Bois (BSS003VFX/Y/X). Il est associé à l'aquifère du socle.

Le calage du modèle sur cette sous-unité de gestion permet d'obtenir une représentation cohérente de la chronique de débits influencés que ce soit pour les bas débits ou les débits moyens et des indicateurs VCN30 et QMNA.

4.3.6.1 Performance en calage (2008-2019)

Tableau 11 : Métriques d'évaluation de performance pour le modèle de calage – UG Orthe

Critère de performance	Valeur atteinte	Evaluation du critère
Coefficient de Nash sur les débits mensuels	0.90	Excellent
Coefficient de Nash sur les débits mensuels estivaux	0.89	Très bon
Reconstitution du module	1.14 m ³ /s (93.7% de la valeur mesurée)	Très bon
Reconstitution du QMNA moyen	0.31 m ³ /s (92.2% de la valeur mesurée)	Excellent
Reconstitution du VCN30 moyen	0.29 m ³ /s (91.7% de la valeur mesurée)	Excellent
Reconstitution des débits mensuels interannuels	Voir fig. "Débits mensuels interannuels"	Bon
Reconstitution des VCN30	Voir fig. VCN30	Bon
Reconstitution des QMNA	Voir fig. QMNA	Bon

Phase 1 | Objectif 4 : Connaître l'état des ressources sans les prélèvements et rejets afin d'identifier leur fonctionnement sans activités anthropiques



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

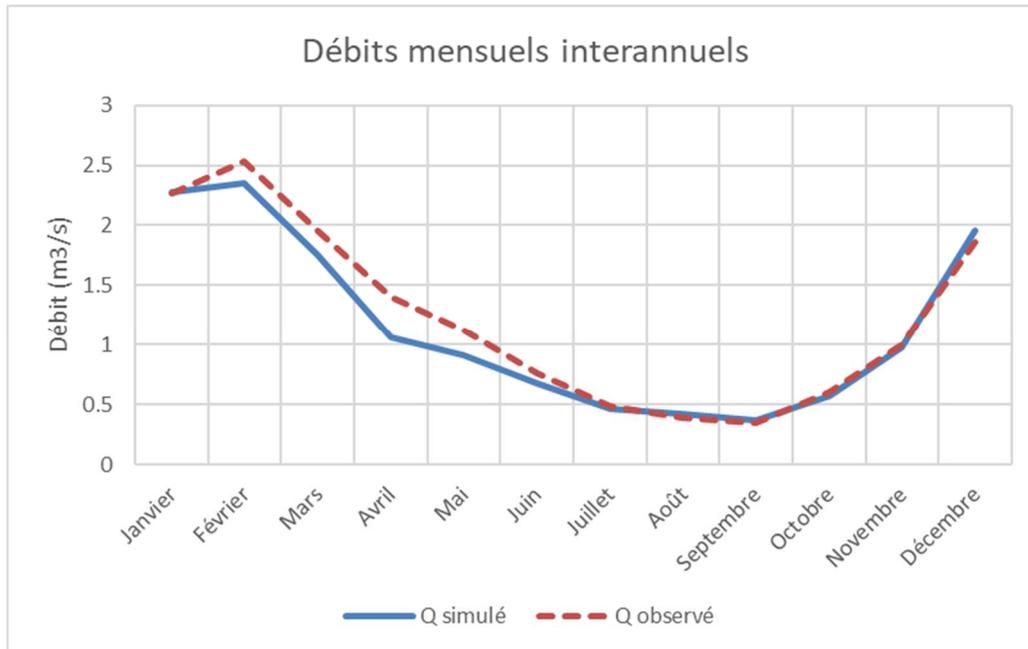


Figure 43 : Débits mensuels interannuels modélisés et observés – UG Orthe

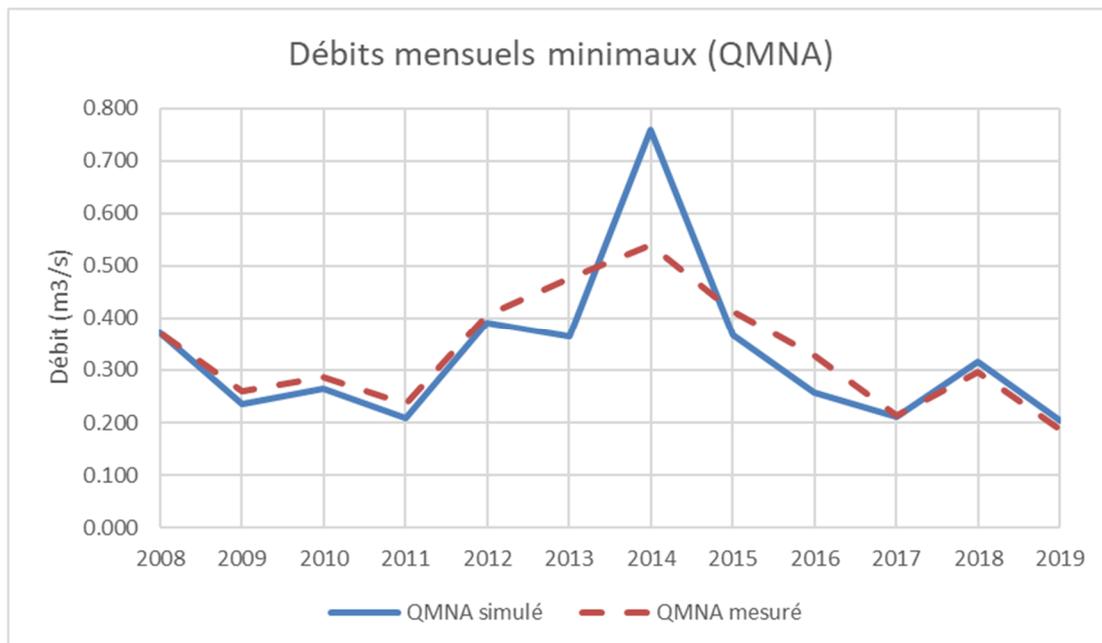


Figure 44 : QMNA modélisés et observés – UG Orthe

Phase 1 | Objectif 4 : Connaître l'état des ressources sans les prélèvements et rejets afin d'identifier leur fonctionnement sans activités anthropiques

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

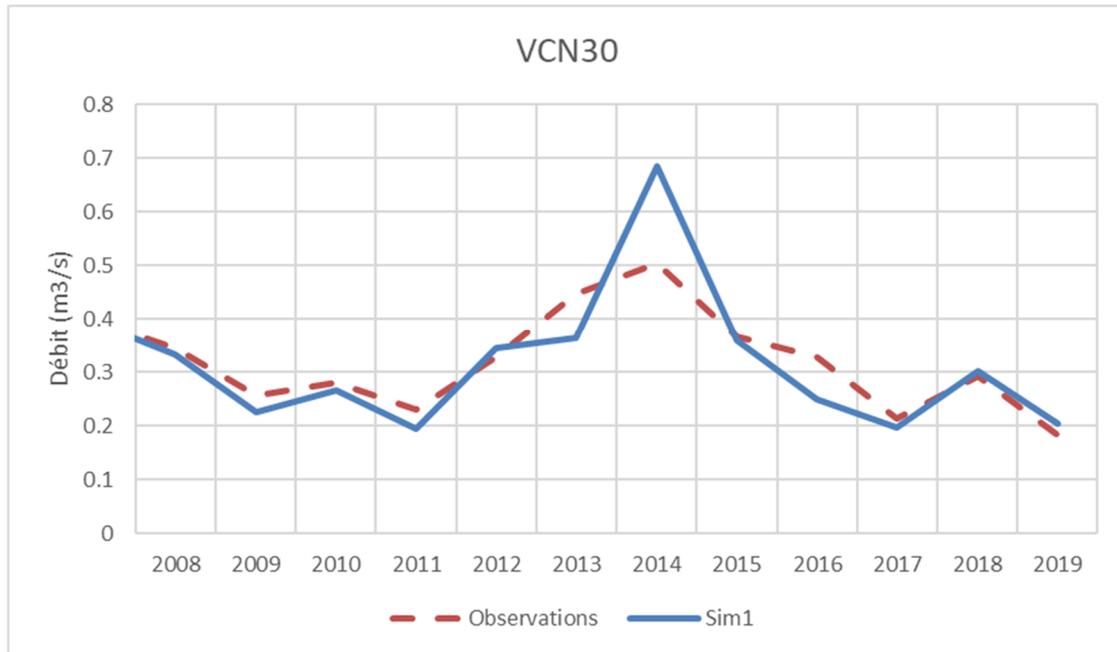


Figure 45 : VCN30 modélisés et observés – UG Orthe

RMSE sur la cote piézométrique : 0.66

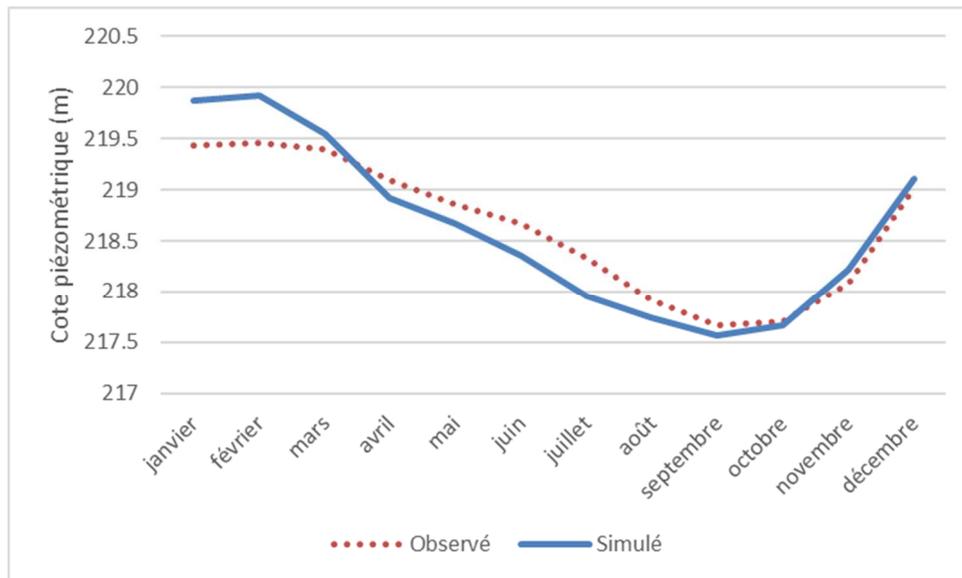


Figure 46 : Analyse des cotes piézométrique moyennes mensuelles modélisées et observées – UG Orthe

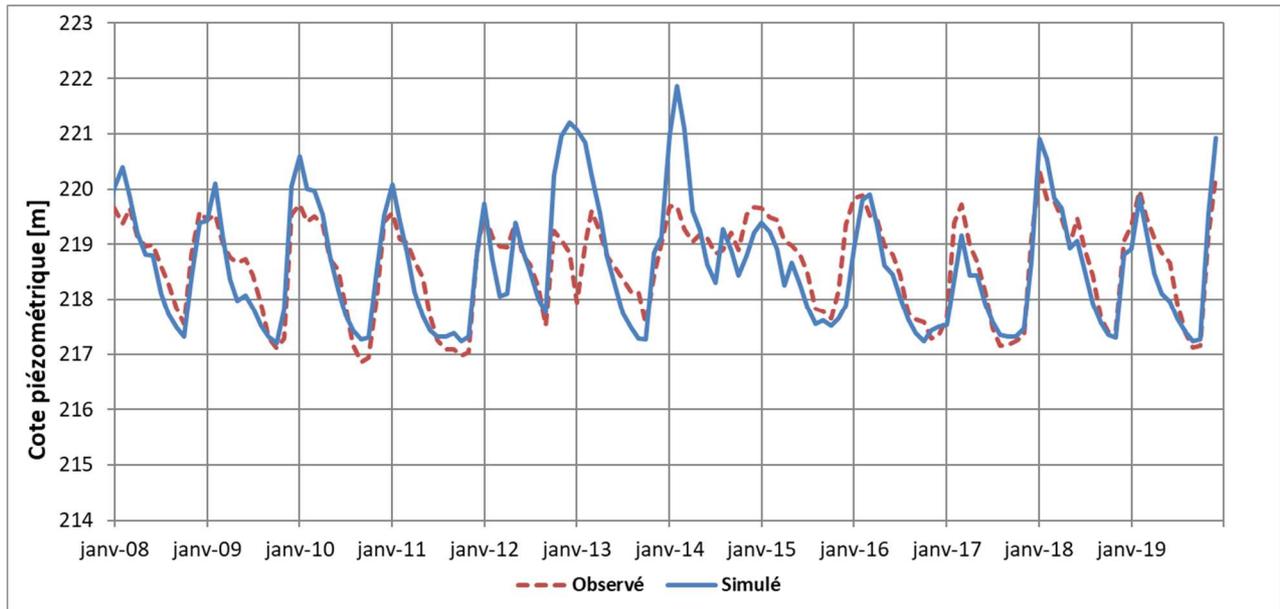


Figure 47 : Analyse des cotes piézométrique mensuelles modélisées et observées – UG Orthe

4.3.6.2 Synthèse modélisation de l'Orthe

Les résultats de modélisation sont très satisfaisants avec une évaluation générale « Excellente » pour l'ensemble des indicateurs

Le critère de NASH calculés sur les débits mensuels sont supérieurs à 0.9 en période annuelle et en période estivale.

On peut voir que la variabilité des débits mensuels est bien restituée par le modèle notamment lorsque les débits sont les plus faibles. Le modèle tend à sous-estimer les débits au printemps.

Les QMNA et VCN30 sont très bien reconstitués par le modèle (erreur < 10%).

La dynamique des niveaux piézométriques est assez bien représentée au cours de l'année. Le modèle tend, tout de même, à sous-estimer les niveaux piézométriques entre mai et juillet. On remarque sur le graphique représentant les valeurs simulées et observées mensuelles que le modèle reproduit correctement le fonctionnement de la nappe d'une année à l'autre. La RMSE est faible ce qui peut être mis en relation avec la faible fluctuation de la nappe entre les niveaux haut et bas.

4.3.7 Bienne

La chronique de débits observés pour l'UG de la Bienne ne comporte aucune lacune sur la période 2000-2018. La chronique est issue de la station de la Bienne à Thoiré-sous-Contensor. La période de calage retenue est 2000-2009 et la période de validation 2010-2018.

Le piézomètre sélectionné pour le calage des niveaux piézométriques est celui de Saint-Rémy-du-Val (02873X0005/PZ6). Il est associé aux calcaires et marnes du Lias et Dogger libres.

Le calage du modèle sur cette sous-unité de gestion permet d'obtenir une représentation cohérente de la chronique de débits influencés que ce soit pour les bas débits ou les débits moyens et des indicateurs VCN30 et QMNA.

4.3.7.1 Performance en calage (2000-2009)

Tableau 12 : Métriques d'évaluation de performance pour le modèle de calage – UG Bienne

Critère de performance	Valeur atteinte	Evaluation du critère
Coefficient de Nash sur les débits mensuels	0.87	Très bon
Coefficient de Nash sur les débits mensuels estivaux	0.77	Bon
Reconstitution du module	0.66 m ³ /s (99.2% de la valeur mesurée)	Excellent
Reconstitution du QMNA moyen	0.14 m ³ /s (93.9% de la valeur mesurée)	Excellent
Reconstitution du VCN30 moyen	0.13 m ³ /s (96.3% de la valeur mesurée)	Excellent
Reconstitution des débits mensuels interannuels	Voir fig. "Débits mensuels interannuels"	Très bon pour les bas débits, mauvais pour les forts
Reconstitution des VCN30	Voir fig. QVCN30	Bon
Reconstitution des QMNA	Voir fig. QMNA	Bon

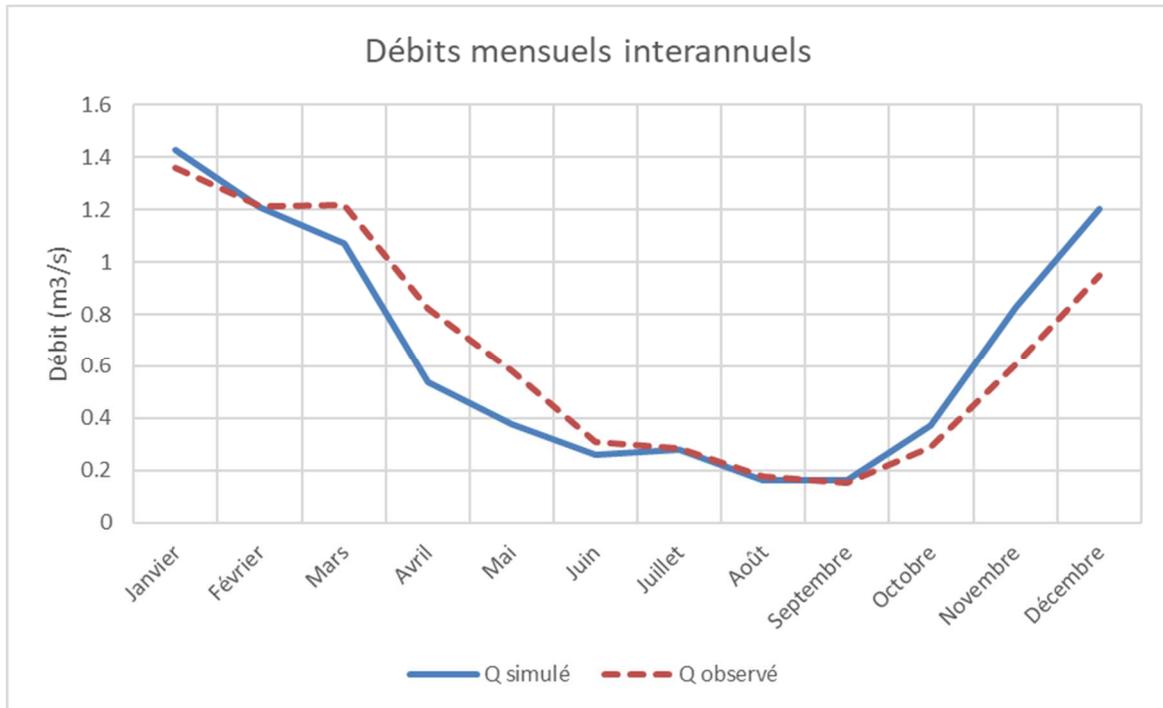


Figure 48 : Débits mensuels interannuels modélisés et observés – UG Bienne

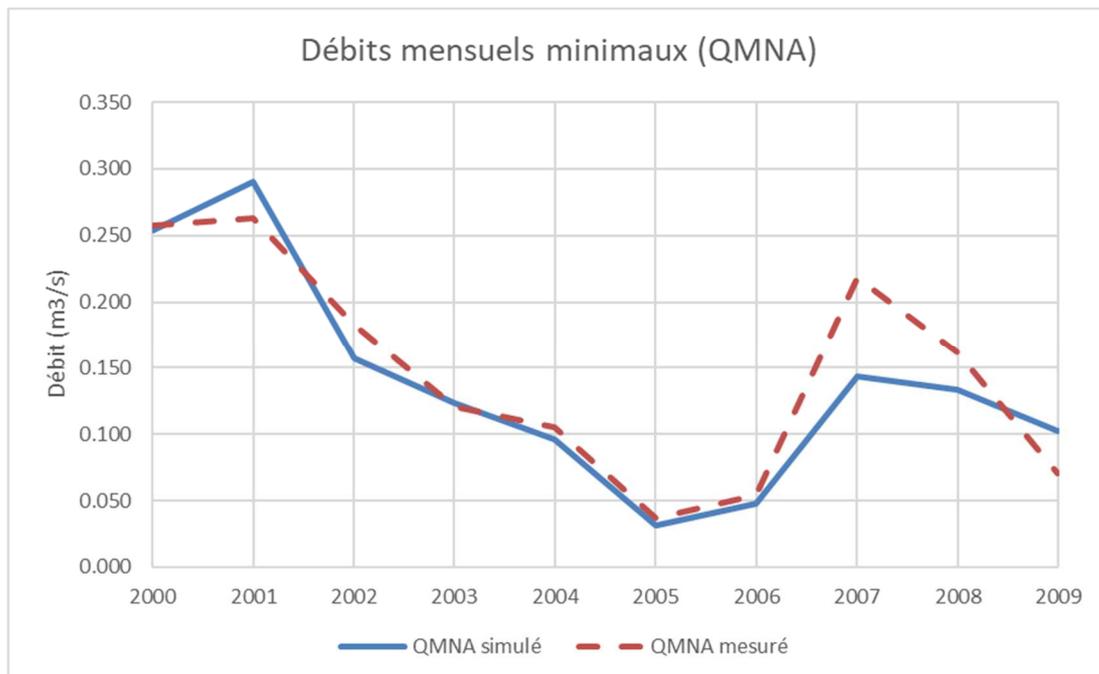


Figure 49 : QMNA modélisés et observés – UG Bienne

Phase 1 | Objectif 4 : Connaître l'état des ressources sans les prélèvements et rejets afin d'identifier leur fonctionnement sans activités anthropiques

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

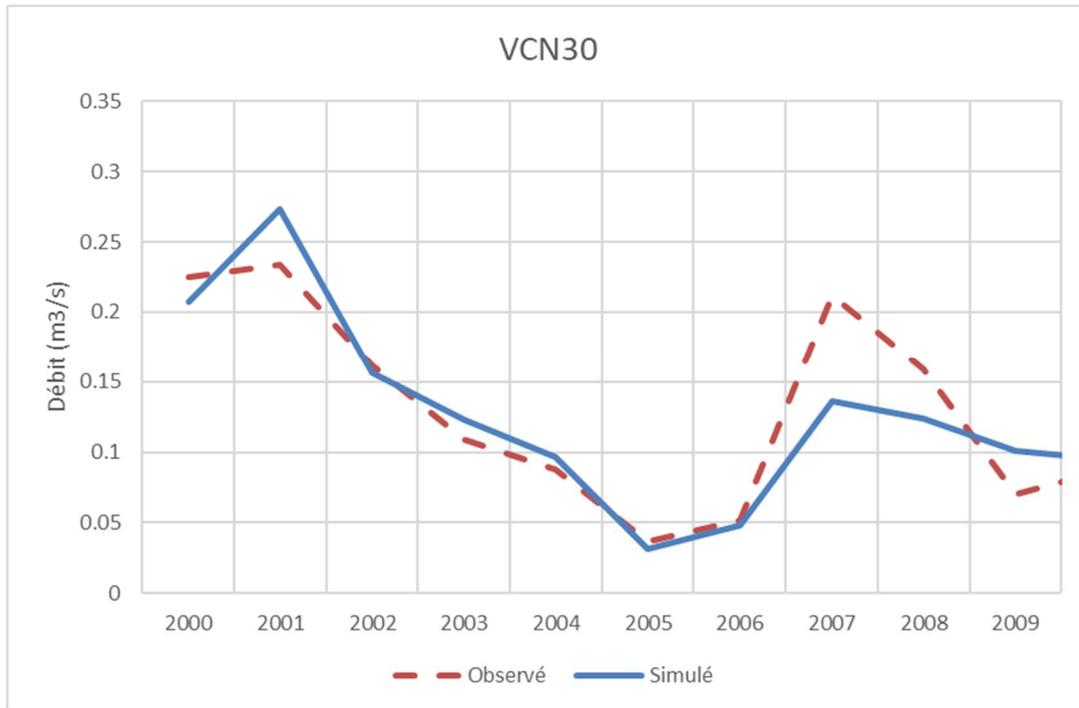


Figure 50 : VCN30 modélisés et observés – UG Bienne

RMSE sur la cote piézométrique : 0.32

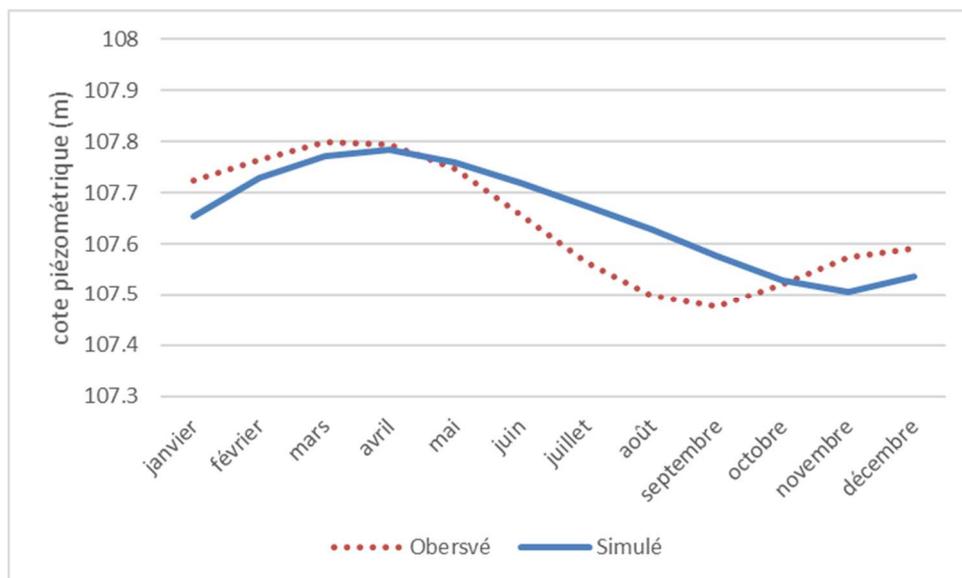


Figure 51 : Analyse des cotes piézométrique moyennes mensuelles modélisées et observées – UG Bienne

Phase 1 | Objectif 4 : Connaître l'état des ressources sans les prélèvements et rejets afin d'identifier leur fonctionnement sans activités anthropiques



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

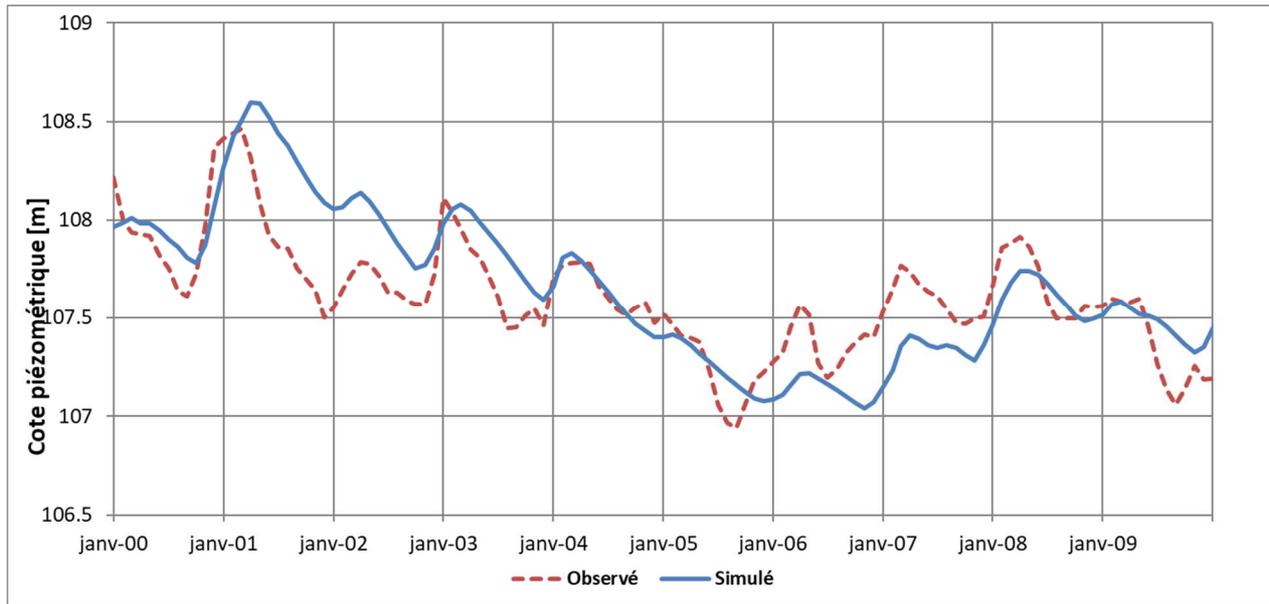


Figure 52 : Analyse des cotes piézométrique mensuelles modélisées et observées – UG Bienne

4.3.7.2 Performance en validation (2010-2018)

Tableau 13 : Métriques d'évaluation de performance pour le modèle de calage en période de validation – UG Bienne

Critère de performance	Valeur atteinte	Evaluation du critère
Coefficient de Nash sur les débits mensuels	0.81	Très bon
Coefficient de Nash sur les débits mensuels estivaux	0.91	Excellent
Reconstitution du module	0.67 m ³ /s (95.7% de la valeur mesurée)	Excellent
Reconstitution du QMNA moyen	0.14 m ³ /s (87.8% de la valeur mesurée)	Très bon
Reconstitution du VCN30 moyen	0.13 m ³ /s (93.3% de la valeur mesurée)	Excellent
Reconstitution des débits mensuels interannuels	Voir fig. "Débits mensuels interannuels"	Excellent pour les bas débits, bon pour les forts
Reconstitution des VCN30	Voir fig. QVCN30	Bon
Reconstitution des QMNA	Voir fig. QMNA	Bon

Phase 1 | Objectif 4 : Connaître l'état des ressources sans les prélèvements et rejets afin d'identifier leur fonctionnement sans activités anthropiques

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

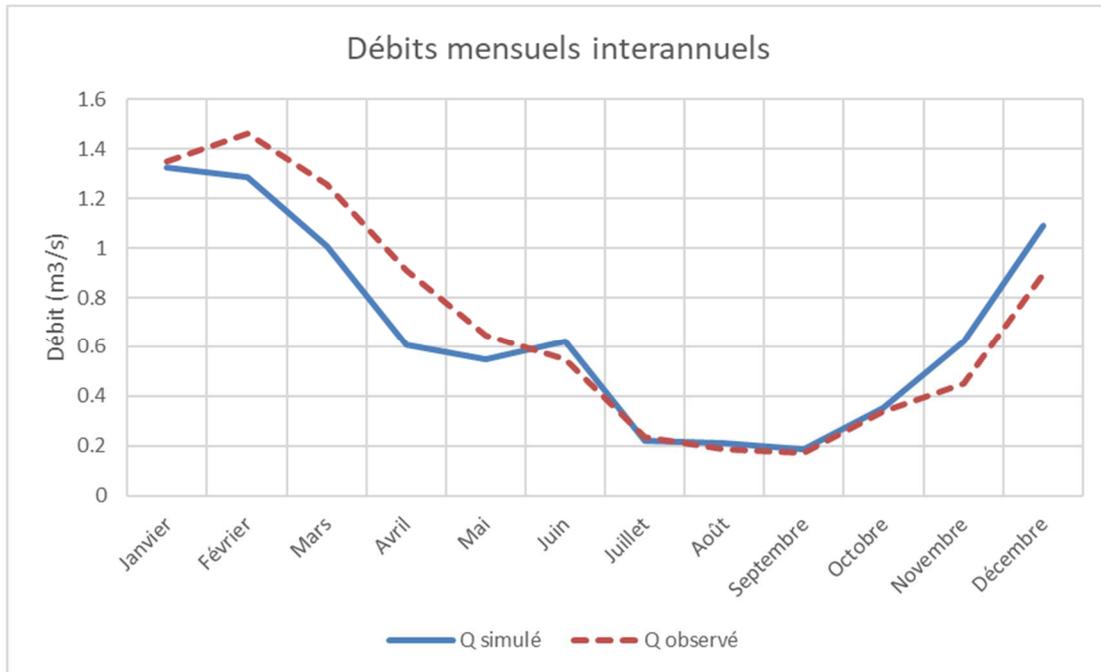


Figure 53 : Débits mensuels interannuels modélisés et observés – UG Bienne

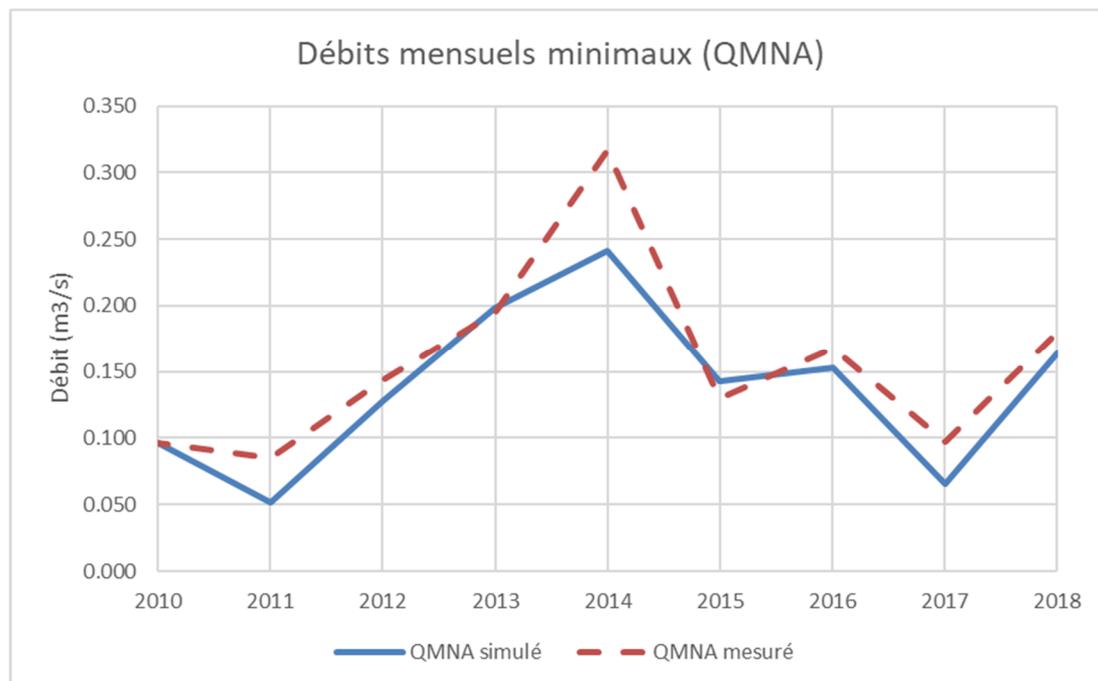


Figure 54 : QMNA modélisés et observés – UG Bienne

Phase 1 | Objectif 4 : Connaître l'état des ressources sans les prélèvements et rejets afin d'identifier leur fonctionnement sans activités anthropiques



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

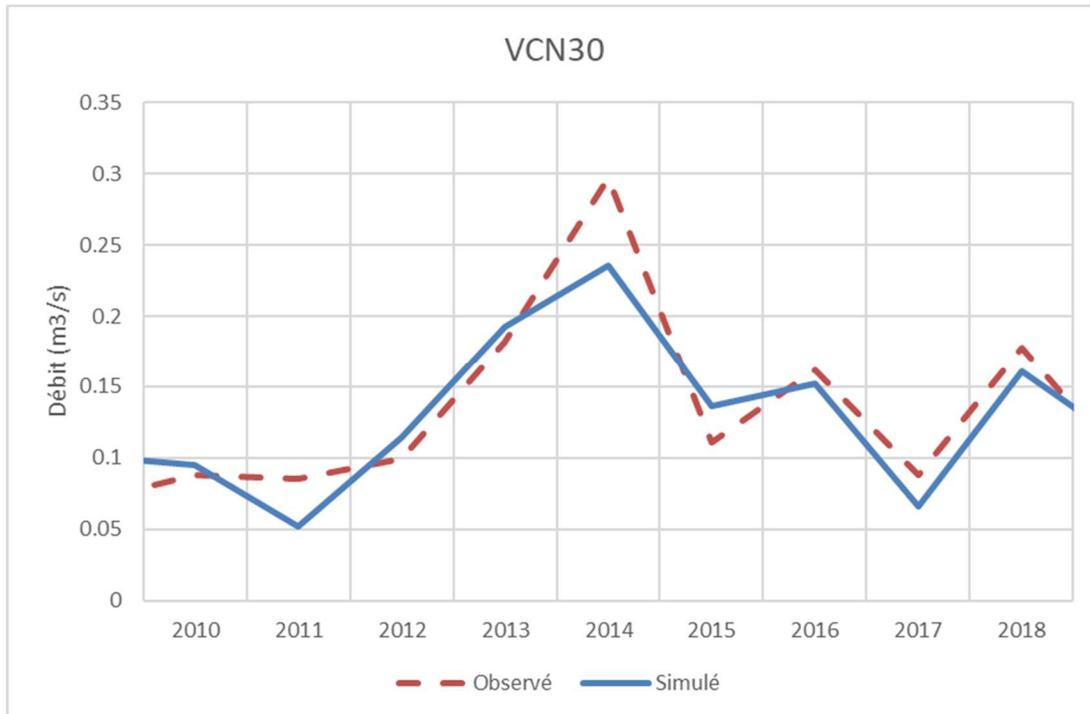


Figure 55 : VCN30 modélisés et observés – UG Bienne

RMSE sur la cote piézométrique : 0.23

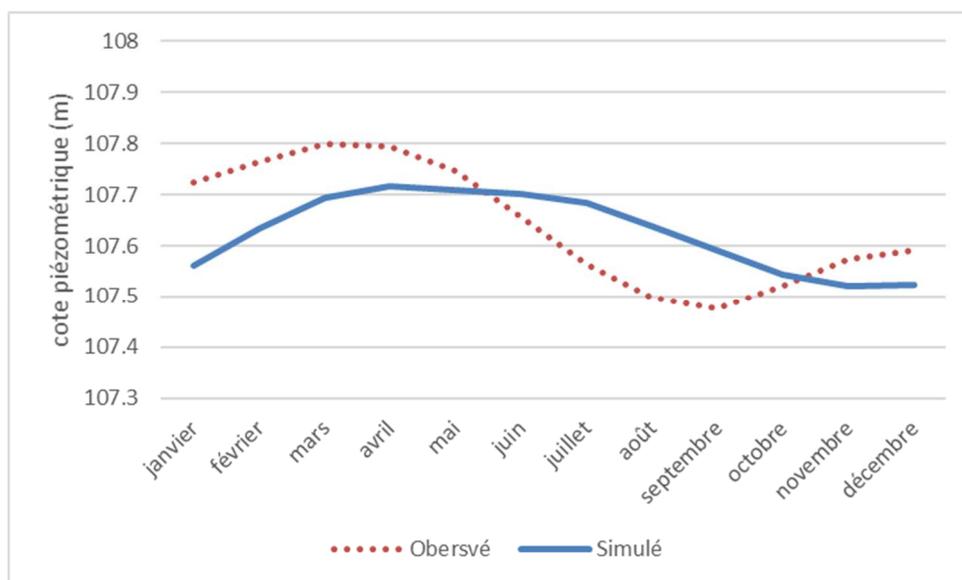


Figure 56 : Analyse des cotes piézométrique moyennes mensuelles modélisées et observées – UG Bienne

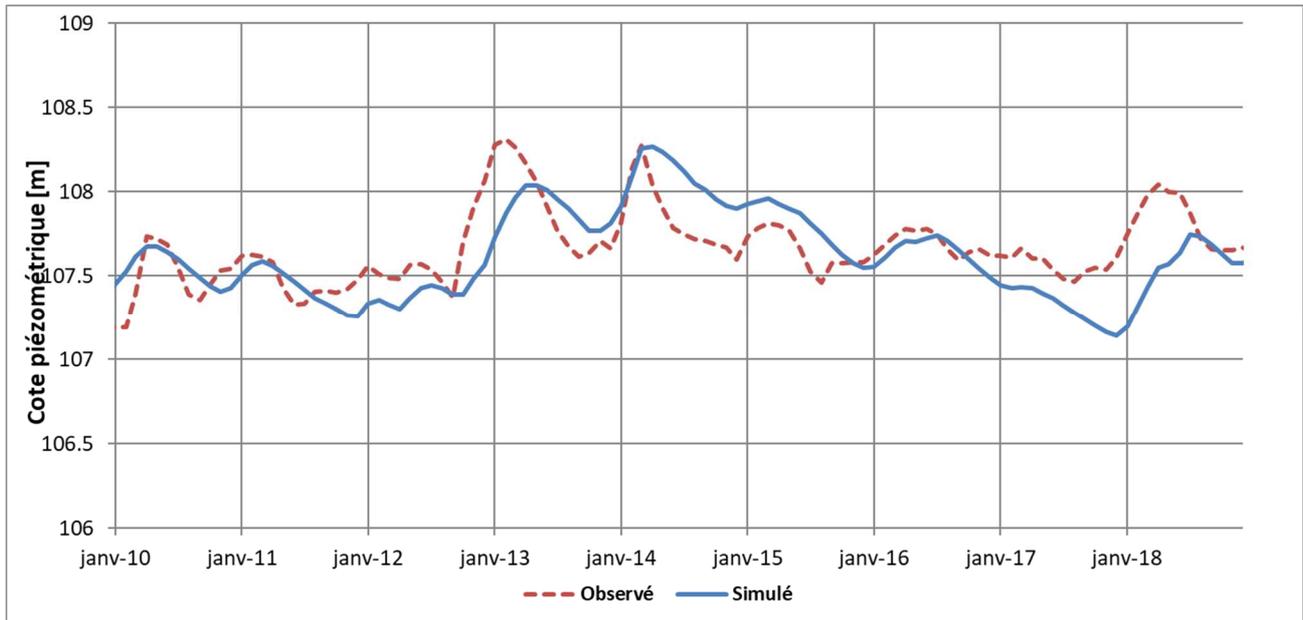


Figure 57 : Analyse des cotes piézométrique mensuelles modélisées et observées – UG Bienne

4.3.7.3 Synthèse modélisation de la Bienne

Les résultats de modélisation sont très satisfaisants avec une évaluation générale de « bon » à « excellent » suivant les indicateurs que ce soit en période de calage ou de validation.

Les critères de Nash calculés sur les débits mensuels sont supérieurs à 0.8 en période annuelle et en période estivale pour la période de calage et de validation, excepté en période de calage pour les débits estivaux (>0.7).

On peut observer que la variabilité annuelle des débits est très bien restituée par le modèle notamment lorsque les débits sont les plus faibles. Le modèle est ainsi performant pour représenter les débits.

Les QMNA et VCN30 modélisés suivent la même dynamique que les observations et les deux courbes restent très similaires que ce soit en année sèche ou humide (erreur < 15%).

La dynamique des niveaux piézométriques semble relativement bien restituée par le modèle au cours de l'année, le fonctionnement de la nappe est mieux décrit en période de validation. On remarque que le modèle reproduit correctement le fonctionnement de la nappe d'une année à l'autre pour la période de calage et de validation. La RMSE est faible ce qui peut être mis en relation avec la faible fluctuation de la nappe entre les niveaux haut et bas.

4.3.8 Orne Saosnoise

La chronique de débits observés pour l'UG de l'Orne Saosnoise ne comporte des observations complète, de qualité et validées bonne que pour les années 2009 à 2019. La chronique est issue de la station de l'Orne Saosnoise à Montbizot. La période de calage retenue est 2009-2019, on ne retient pas de période de validation.

Le calage du modèle sur cette sous-unité de gestion permet d'obtenir une représentation cohérente de la chronique de débits influencés que ce soit pour les bas débits ou les débits moyens et des indicateurs VCN30 et QMNA.

4.3.8.1 Performance en calage (2009-2019)

Tableau 14 : Métriques d'évaluation de performance pour le modèle de calage – UG Orne Saosnoise

Critère de performance	Valeur atteinte	Evaluation du critère
Coefficient de Nash sur les débits mensuels	0.93	Excellent
Coefficient de Nash sur les débits mensuels estivaux	0.91	Excellent
Reconstitution du module	2.99 m ³ /s (103.7% de la valeur mesurée)	Excellent
Reconstitution du QMNA moyen	0.5 m ³ /s (91% de la valeur mesurée)	Excellent
Reconstitution du VCN30 moyen	0.48 m ³ /s (93.8% de la valeur mesurée)	Excellent
Reconstitution des débits mensuels interannuels	Voir fig. "Débits mensuels interannuels"	Très bon
Reconstitution des VCN30	Voir fig. QVCN30	Bon
Reconstitution des QMNA	Voir fig. QMNA	Bon

Phase 1 | Objectif 4 : Connaître l'état des ressources sans les prélèvements et rejets afin d'identifier leur fonctionnement sans activités anthropiques

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

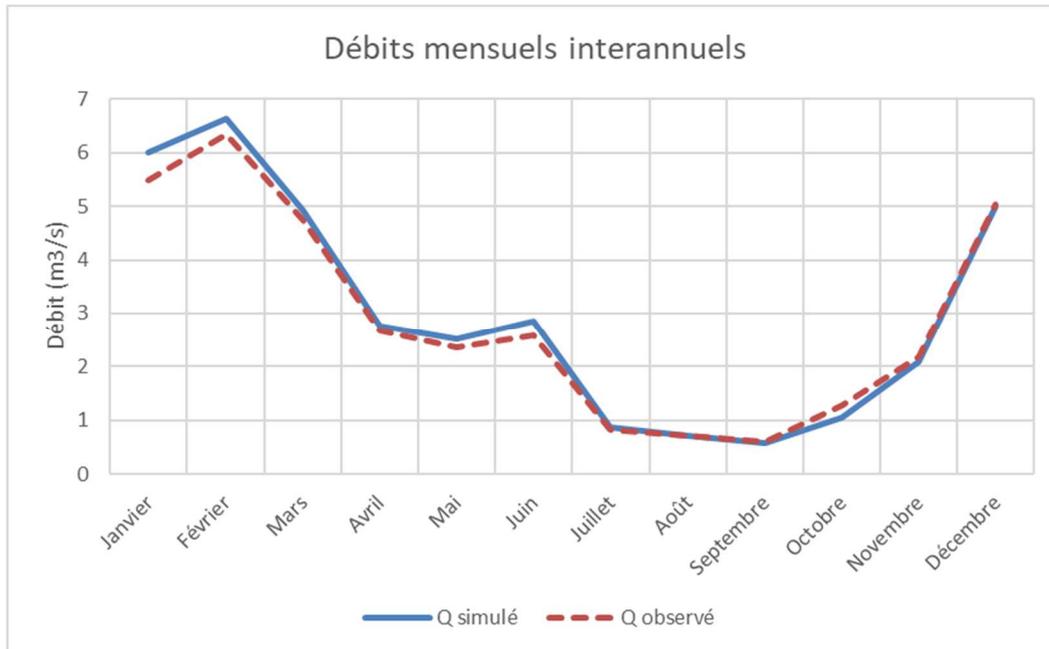


Figure 58 : Débits mensuels interannuels modélisés et observés – UG Orne Saosnoise

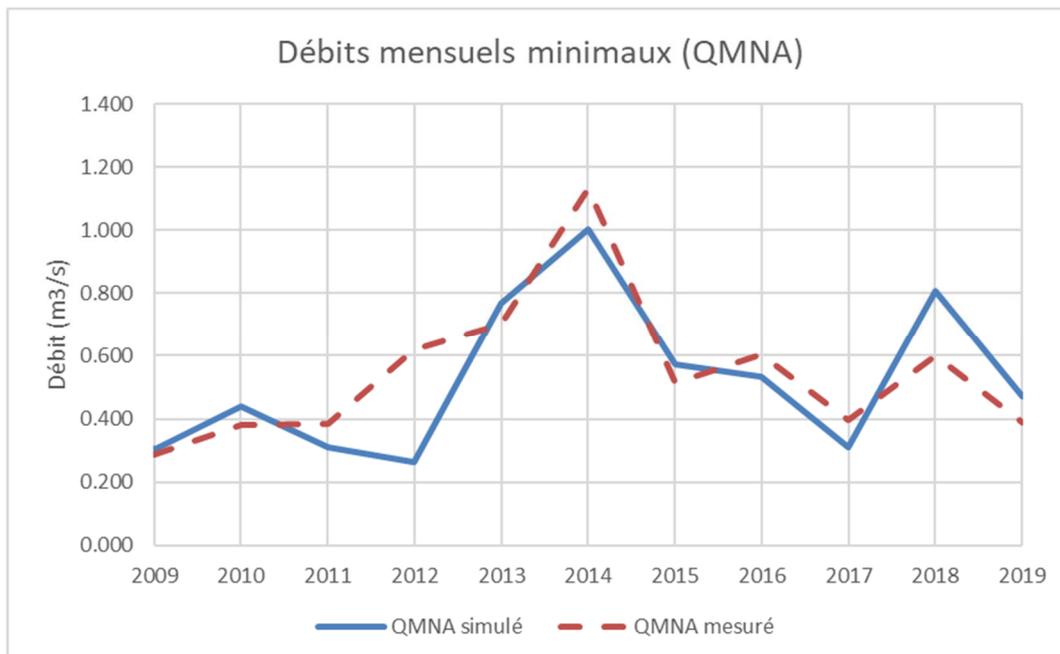


Figure 59 : QMNA modélisés et observés – UG Orne Saosnoise

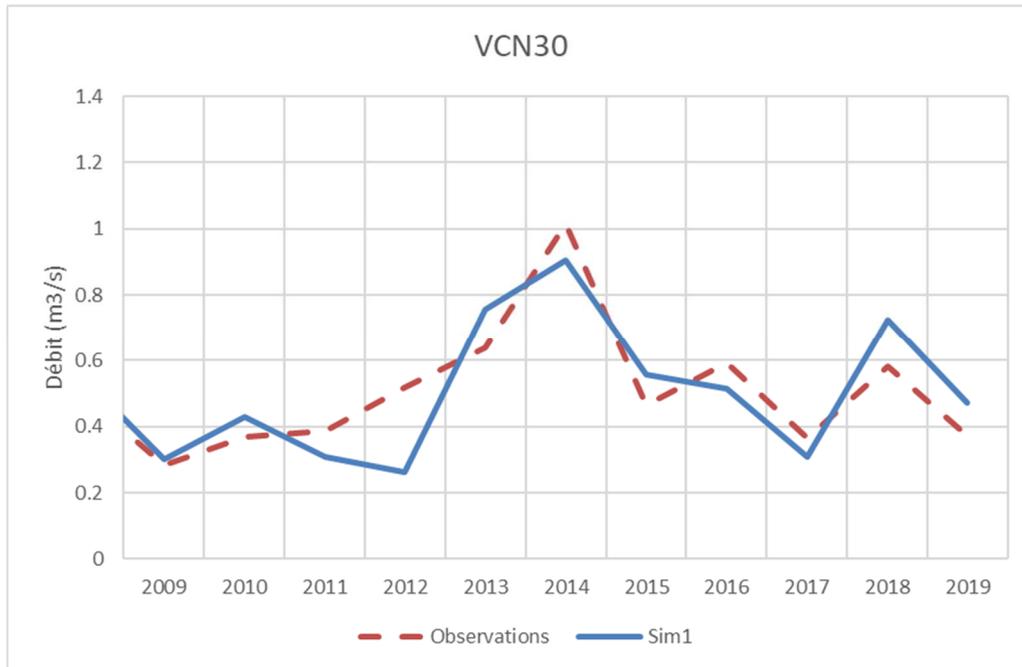


Figure 60 : VCN30 modélisés et observés – UG Orne Saosnoise

L'absence de suivi piézométrique au niveau de cette unité de gestion ne permet pas le calage du modèle pour les cotes piézométriques.

4.3.8.2 Synthèse modélisation de l'Orne Saosnoise

Les résultats de modélisation sont satisfaisants avec une évaluation générale « Bon » à « Excellent » suivant les indicateurs.

Le critère de NASH calculés sur les débits mensuels sont supérieurs à 0.9 en période annuelle et à 0.8 en période estivale. On peut voir que la variabilité des débits mensuels est très bien restituée par le modèle tout le long de l'année.

Les QMNA et VCN30 sont bien reconstitués par le modèle même si celui-ci tend à les sous-estimer (erreur < 10%).

4.3.9 Sarthe intermédiaire

La chronique de débits observés pour l'UG de la Sarthe intermédiaire ne comporte des observations complètes, de qualité et validées bonne que pour les années 2009 à 2018. La chronique est issue de la station de la Sarthe à Neuville sur Sarthe. La période de calage retenue est 2009-2018, on ne retient pas de période de validation.

Le calage du modèle sur cette sous-unité de gestion permet d'obtenir une représentation cohérente de la chronique de débits influencés que ce soit pour les bas débits ou les débits moyens et des indicateurs VCN30 et QMNA.

4.3.9.1 Performance en calage (2009-2018)

Tableau 15 : Métriques d'évaluation de performance pour le modèle de calage – UG Sarthe intermédiaire

Critère de performance	Valeur atteinte	Evaluation du critère
Coefficient de Nash sur les débits mensuels	0.95	Excellent
Coefficient de Nash sur les débits mensuels estivaux	0.96	Excellent
Reconstitution du module	20.01 m ³ /s (99.6% de la valeur mesurée)	Excellent
Reconstitution du QMNA moyen	3.56 m ³ /s (106.7% de la valeur mesurée)	Excellent
Reconstitution du VCN30 moyen	3.24 m ³ /s (109.9% de la valeur mesurée)	Excellent
Reconstitution des débits mensuels interannuels	Voir fig. "Débits mensuels interannuels"	Très bon
Reconstitution des VCN30	Voir fig. VCN30	Très bon
Reconstitution des QMNA	Voir fig. QMNA	Très bon

Phase 1 | Objectif 4 : Connaître l'état des ressources sans les prélèvements et rejets afin d'identifier leur fonctionnement sans activités anthropiques

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

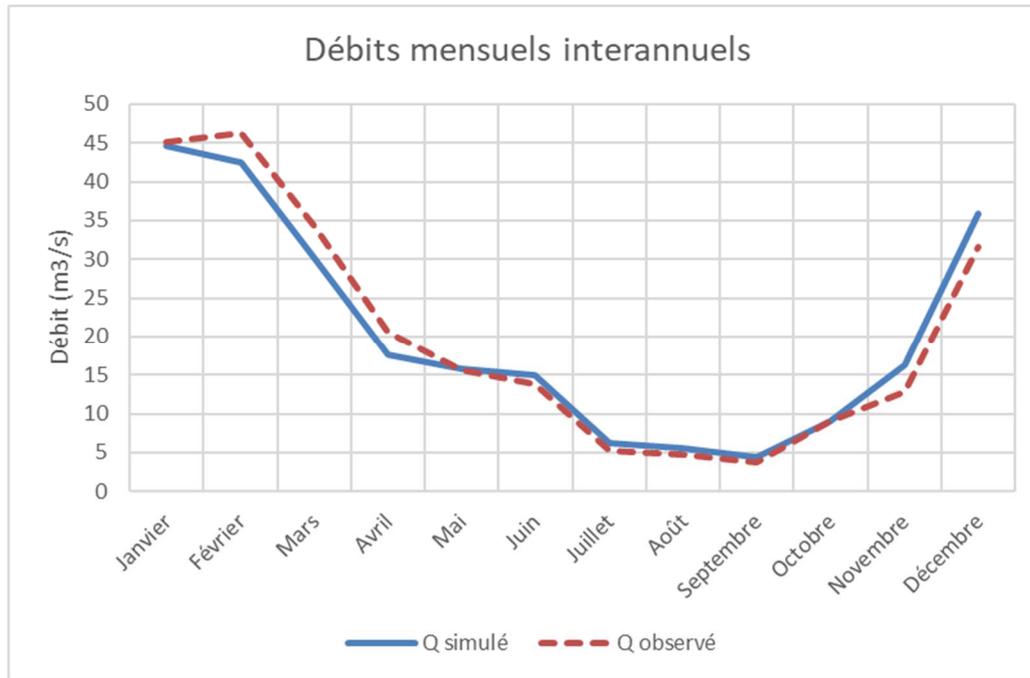


Figure 61 : Débits mensuels interannuels modélisés et observés – UG Sarthe intermédiaire

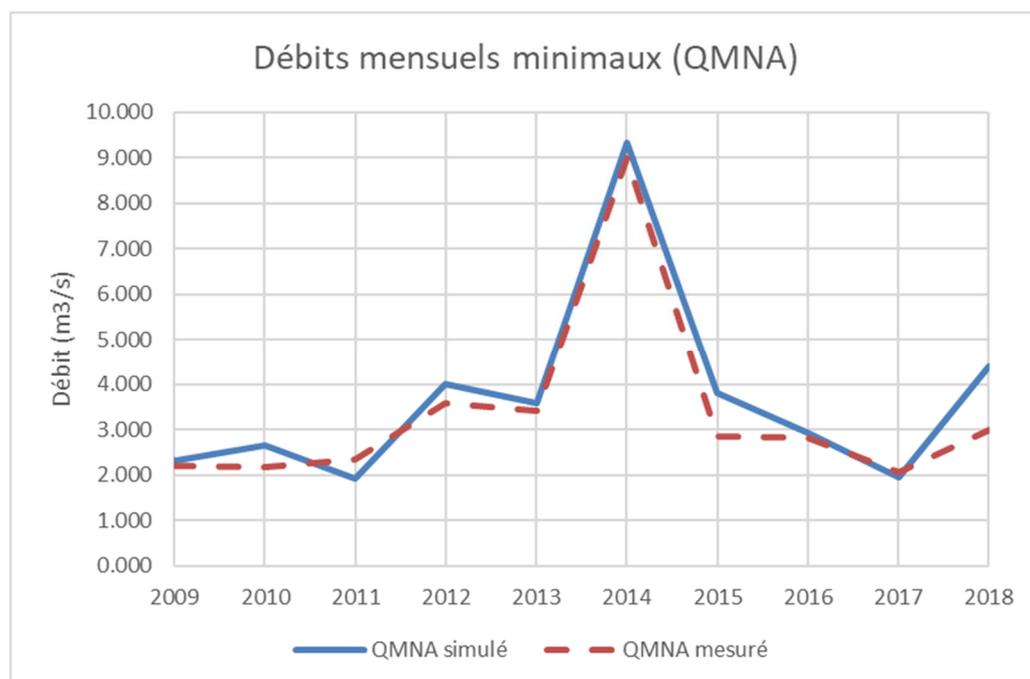


Figure 62 : QMNA modélisés et observés – UG Sarthe intermédiaire

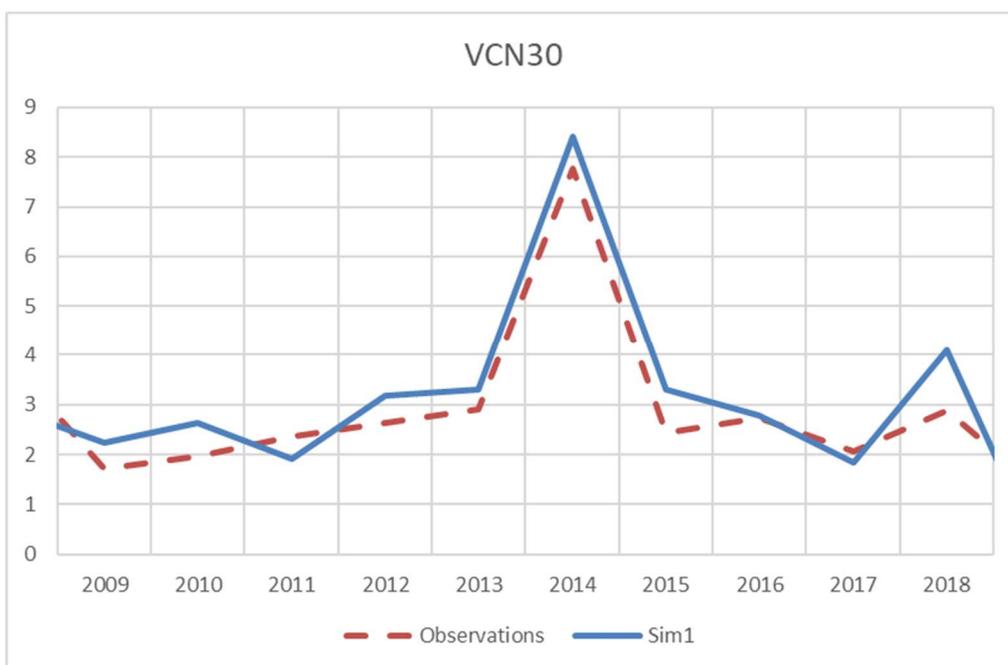


Figure 63 : VCN30 modélisés et observés – UG Sarthe intermédiaire

L'absence de suivi piézométrique au niveau de cette unité de gestion ne permet pas le calage du modèle pour les cotes piézométriques.

4.3.9.2 Synthèse modélisation de la Sarthe intermédiaire

Les résultats de modélisation sont très satisfaisants avec une évaluation générale « Très bon » à « Excellent » suivant les indicateurs.

Le critère de NASH calculés sur les débits mensuels sont supérieurs à 0.9 en période annuelle et en période estivale. On peut voir que la variabilité des débits mensuels est très bien restituée par le modèle malgré une légère sous-estimation des débits hivernaux.

Les QMNA et VCN30 sont très bien reconstitués par le modèle (erreur < 10%).

4.3.10 Biais de 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. D'après les résultats obtenus on remarque que le modèle sous-estime légèrement les débits moyens au printemps et à l'automne sur l'unité de gestion de l'Hoëne. Les débits moyens modélisés sont également légèrement inférieurs au printemps sur les unités de gestion de l'Orthe et de la Bienne. On peut remarquer que sur les unités de gestion du Merdereau, de l'Ornette et de la Vaudelle que les débits mensuels minimaux sont légèrement plus faibles lors d'une année observée très humide. Les restitutions du modèle sont cohérentes avec les observations sur le reste du territoire.

4.3.11 Synthèse sur le calage des modèles

Le tableau suivant présente les valeurs simulées des indicateurs d'étiage sur la période 2000-2019 (ou la plus longue période d'observation disponible) et leur écart aux valeurs observées sur cette même période pour chaque unité de gestion.

On observe une bonne à très bonne performance des modélisations. En effet, les modèles reproduisent bien les bas débits, tout en représentant correctement le cycle hydrologique annuel. La prise en compte du compartiment souterrain permet une bonne représentativité des processus d'échanges nappe-rivière, particulièrement déterminants en période d'étiage.

On remarque que les débits sur les années les plus sèches (2005, 2011 et 2017) sont légèrement sous évalués par les modèles des unités de gestion, de l'Hoëne, de la Sarthe amont, de l'Ornette, du Merdereau et de la Vaudelle. Cette sous-évaluation transparait notamment sur l'Ornette avec une erreur de reconstitution des bas débits supérieurs à -15% en moyenne, ceci est lié à des conditions hydrologiques particulièrement extrêmes.

Tableau 16 : Valeurs simulées et écarts par rapport aux valeurs observées sur la plus longue période disponible entre 2000 et 2019

Unité de gestion	Période de comparaison	Reconstitution du module	Reconstitution du QMNA moyen	Reconstitution du VCN30 moyen
Hoëne	2006-2012	0.46 m3/s (96.5% de la valeur mesurée)	0.2 m3/s (85.7% de la valeur mesurée)	0.2 m3/s (85.4% de la valeur mesurée)
Sarthe amont	2008-2018	6.55 m3/s (97.3% de la valeur mesurée)	0.94 m3/s (92.3% de la valeur mesurée)	0.86 m3/s (92.3% de la valeur mesurée)
Ornette	2008-2019	0.47 m3/s (96.8% de la valeur mesurée)	0.02 m3/s (82.8% de la valeur mesurée)	0.02 m3/s (80.6% de la valeur mesurée)
Merdereau	2000-2019	1.13 m3/s (96% de la valeur mesurée)	0.19 m3/s (102.6% de la valeur mesurée)	0.18 m3/s (110% de la valeur mesurée)
Vaudelle	2000-2018	0.92 m3/s (93.8% de la valeur mesurée)	0.21 m3/s (102.7% de la valeur mesurée)	0.2 m3/s (104.6% de la valeur mesurée)
Orthe	2008-2019	1.14 m3/s (93.7% de la valeur mesurée)	0.31 m3/s (92.2% de la valeur mesurée)	0.29 m3/s (91.7% de la valeur mesurée)
Bienne	2000-2018	0.66 m3/s (97.5% de la valeur mesurée)	0.14 m3/s (90.9% de la valeur mesurée)	0.13 m3/s (94.8% de la valeur mesurée)
Orne Saosnoise	2009-2019	2.99 m3/s (103.7% de la valeur mesurée)	0.5 m3/s (91% de la valeur mesurée)	0.48 m3/s (93.8% de la valeur mesurée)
Sarthe intermédiaire	2009-2018	20.01 m3/s (99.6% de la valeur mesurée)	3.56 m3/s (106.7% de la valeur mesurée)	3.24 m3/s (109.9% de la valeur mesurée)

Ecart simulé-mesuré < 5%
Ecart simulé-mesuré < 15%
Ecart simulé-mesuré > 15%

4.4 Rappel du bilan des usages

Le présent paragraphe récapitule les principales conclusions du bilan des usages réalisé dans le cadre de la présente étude.

Le présent paragraphe récapitule les principales conclusions du bilan des usages réalisé dans le cadre de la présente étude.

Le bilan global sur le périmètre du SAGE de la Creuse est composé des :

- **Prélèvements** : prélèvements AEP sur les captages du bassin + prélèvements pour l'irrigation + prélèvements pour l'abreuvement du bétail + prélèvements industriels + prélèvements dus à la sur-évaporation des plans d'eau ;
- **Restitutions** : Pertes réseau AEP + rejets d'assainissement collectif + rejets ANC + rejets industriels.

Le tableau suivant rappelle les ressources concernées par les prélèvements et les rejets.

	Usages	Ressource
Prélèvements	AEP	Principalement eau superficielle (78%)
	Irrigation	Principalement eau superficielle (87%)
	Abreuvement	Eau superficielle (100%)
	Industrie	Principalement eau superficielle (89%)
	Plans d'eau	Eau superficielle (100%)
Rejets	Pertes AEP	Eau superficielle (100%)
	AC	
	ANC	
	Industrie	

Les **volumes restitués** au milieu naturel représentent en moyenne **47% des volumes prélevés** sur la période 2000-2019 avec un volume prélevé moyen de 21 millions de m³ contre 9.9 millions de m³ restitués aux milieux.

Il est important de noter qu'au niveau infra-annuel, on observe de manière générale que **la période de plus forts prélèvements coïncide avec la période de plus faibles restitutions, sur les mois estivaux, ce qui contribue à augmenter la pression sur la ressource en eau dans une période à laquelle elle est déjà naturellement mise sous tension.**

Phase 1 | Objectif 4 : Connaître l'état des ressources sans les prélèvements et rejets afin d'identifier leur fonctionnement sans activités anthropiques



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

Tableau 17 : Bilan annuel des prélèvements d'eau actuels et futurs sur le bassin de la Sarthe amont

	AEP		Irrigation		Industrie		Surévaporation	Abreuvement	Total prélèvements		
	ESU	ESOU	ESU	ESOU	ESU	ESOU	ESU	ESU	ESU	ESOU	ESU + ESOU
2000	9 540 978	2 776 900	1 557 300	156 000	931 700	66 700	1 819 723	1 616 398	15 466 099	2 999 600	18 465 699
2001	10 381 613	2 949 100	2 242 400	286 200	1 025 900	201 200	2 801 932	1 598 373	18 050 218	3 436 500	21 486 718
2002	10 403 843	3 029 400	1 904 500	293 800	925 000	77 800	2 690 417	1 584 765	17 508 525	3 401 000	20 909 525
2003	10 116 068	3 269 600	2 868 300	399 700	1 017 200	65 600	4 324 375	1 571 148	19 897 090	3 734 900	23 631 990
2004	10 334 518	3 410 200	2 562 300	386 900	640 200	69 400	3 272 514	1 561 824	18 371 356	3 866 500	22 237 856
2005	10 002 908	3 380 300	2 292 600	436 700	476 600	63 900	3 761 395	1 543 961	18 077 464	3 880 900	21 958 364
2006	10 094 678	3 441 700	2 243 400	392 300	458 700	63 100	3 707 812	1 530 346	18 034 935	3 897 100	21 932 035
2007	9 385 793	2 981 100	1 008 000	89 200	546 800	154 200	1 797 904	1 516 774	14 255 270	3 224 500	17 479 770
2008	10 909 913	2 685 234	1 417 123	238 000	532 886	80 300	2 572 057	1 507 275	16 939 255	3 003 534	19 942 789
2009	11 861 784	2 525 455	1 709 179	286 452	514 774	56 497	3 210 439	1 489 556	18 785 733	2 868 404	21 654 137
2010	11 673 591	2 553 162	1 895 065	355 431	489 318	55 915	4 067 784	1 475 976	19 601 734	2 964 508	22 566 242
2011	10 966 645	2 412 079	2 319 803	344 248	422 041	65 495	3 552 523	1 434 876	18 695 888	2 821 822	21 517 710
2012	10 699 763	3 212 044	755 157	144 530	372 901	55 623	2 277 485	1 428 427	15 533 732	3 412 197	18 945 929
2013	10 688 484	3 245 782	1 509 842	296 213	447 010	55 486	3 250 579	1 440 306	17 336 221	3 597 481	20 933 702
2014	10 552 359	3 260 760	405 346	68 769	506 090	53 345	1 678 090	1 454 018	14 595 903	3 382 874	17 978 777
2015	10 764 006	3 068 977	1 764 251	331 429	483 645	69 800	3 528 924	1 454 777	17 995 603	3 470 206	21 465 809
2016	11 796 245	2 399 345	1 542 120	224 213	452 181	51 922	3 315 218	1 458 387	18 564 150	2 675 480	21 239 630
2017	11 803 784	2 245 069	1 737 465	219 671	413 167	51 727	3 560 499	1 432 178	18 947 093	2 516 467	21 463 560
2018	11 839 238	2 532 456	1 821 902	233 404	422 712	55 206	3 818 805	1 404 189	19 306 845	2 821 066	22 127 911
2019	12 020 771	2 541 804	1 799 941	241 306	449 199	55 576	4 451 234	1 380 690	20 101 834	2 838 686	22 940 520
2050 bas	10 681 190	1 593 900	1 676 555	226 342	439 740	650 060	3 049 273	1 122 426	16 969 182	2 470 302	19 439 484
2050 médian	11 942 841	1 791 271	1 799 941	241 306	480 490	655 576	3 049 273	1 196 689	18 469 234	2 688 153	21 157 387
2050 haut	13 358 397	2 013 945	2 096 931	281 121	480 490	655 576	3 556 774	1 498 512	20 991 104	2 950 642	23 941 747

Phase 1 | Objectif 4 : Connaître l'état des ressources sans les prélèvements et rejets afin d'identifier leur fonctionnement sans activités anthropiques



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

Tableau 18 : Bilan annuel des rejets d'eau actuels et futurs sur le bassin de la Sarthe amont

	AEP	Assainissement collectif		ANC	Industrie	Total rejets		
	ESU	ESU	ESOU	ESU	ESU	ESU	ESOU	ESU + ESOU
2000	1 528 654	5 890 304	0	680 452	316 801	8 416 210		8 416 210
2001	1 531 350	5 932 415	0	677 968	315 761	8 457 494		8 457 494
2002	1 539 649	6 022 471	0	677 968	311 441	8 551 529		8 551 529
2003	1 547 849	5 959 737	0	677 968	317 761	8 503 315		8 503 315
2004	1 561 848	5 836 655	0	680 452	331 601	8 410 556		8 410 556
2005	1 564 424	6 151 556	0	677 968	313 121	8 707 069		8 707 069
2006	1 572 723	6 747 101	0	677 968	376 535	9 374 327		9 374 327
2007	1 579 244	7 850 222	0	677 968	370 935	10 478 369		10 478 369
2008	1 588 401	8 106 191	0	680 452	371 335	10 746 379		10 746 379
2009	1 538 323	8 108 987	0	677 968	353 752	10 679 031		10 679 031
2010	1 402 479	7 944 630	0	677 968	345 535	10 370 612		10 370 612
2011	1 243 124	7 247 726	0	677 968	372 957	9 541 775		9 541 775
2012	1 067 164	8 709 192	0	680 452	342 123	10 798 931		10 798 931
2013	1 218 073	8 557 202	0	677 968	352 206	10 805 450		10 805 450
2014	1 123 001	10 178 787	0	677 968	369 543	12 349 299		12 349 299
2015	1 126 530	7 765 037	0	677 968	395 843	9 965 378		9 965 378
2016	1 085 137	8 365 885	0	680 452	380 084	10 511 557		10 511 557
2017	988 397	7 468 449	0	677 968	362 439	9 497 253		9 497 253
2018	1 020 492	9 254 019	0	677 968	355 493	11 307 973		11 307 973
2019	1 006 269	8 700 177	0	677 968	395 554	10 779 968		10 779 968
2050 bas	744 143	7 574 415	0	627 718	438 221	9 384 497		9 384 497
2050 médian	790 739	8 291 624	0	687 156	515 554	10 285 073		10 285 073
2050 haut	832 014	9 080 627	0	752 543	515 554	11 180 739		11 180 739

Phase 1 | Objectif 4 : Connaître l'état des ressources sans les prélèvements et rejets afin d'identifier leur fonctionnement sans activités anthropiques

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

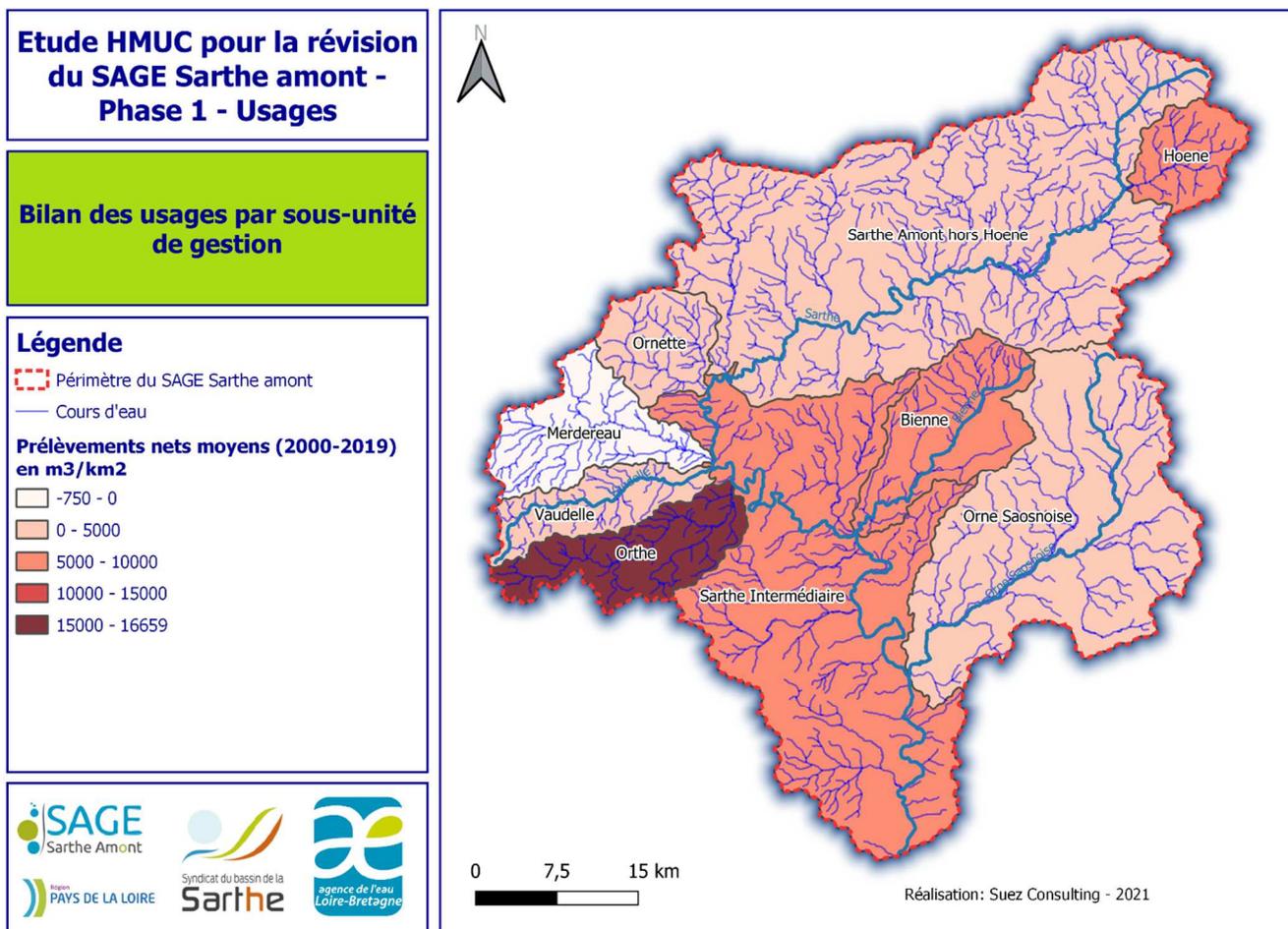


Figure 64 : Synthèse des prélèvements nets moyens sur la période 2000-2019 par sous-unité de gestion sur le périmètre du SAGE Sarthe amont (Source : Suez Consulting, 2022)

Phase 1 | Objectif 4 : Connaître l'état des ressources sans les prélèvements et rejets afin d'identifier leur fonctionnement sans activités anthropiques

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

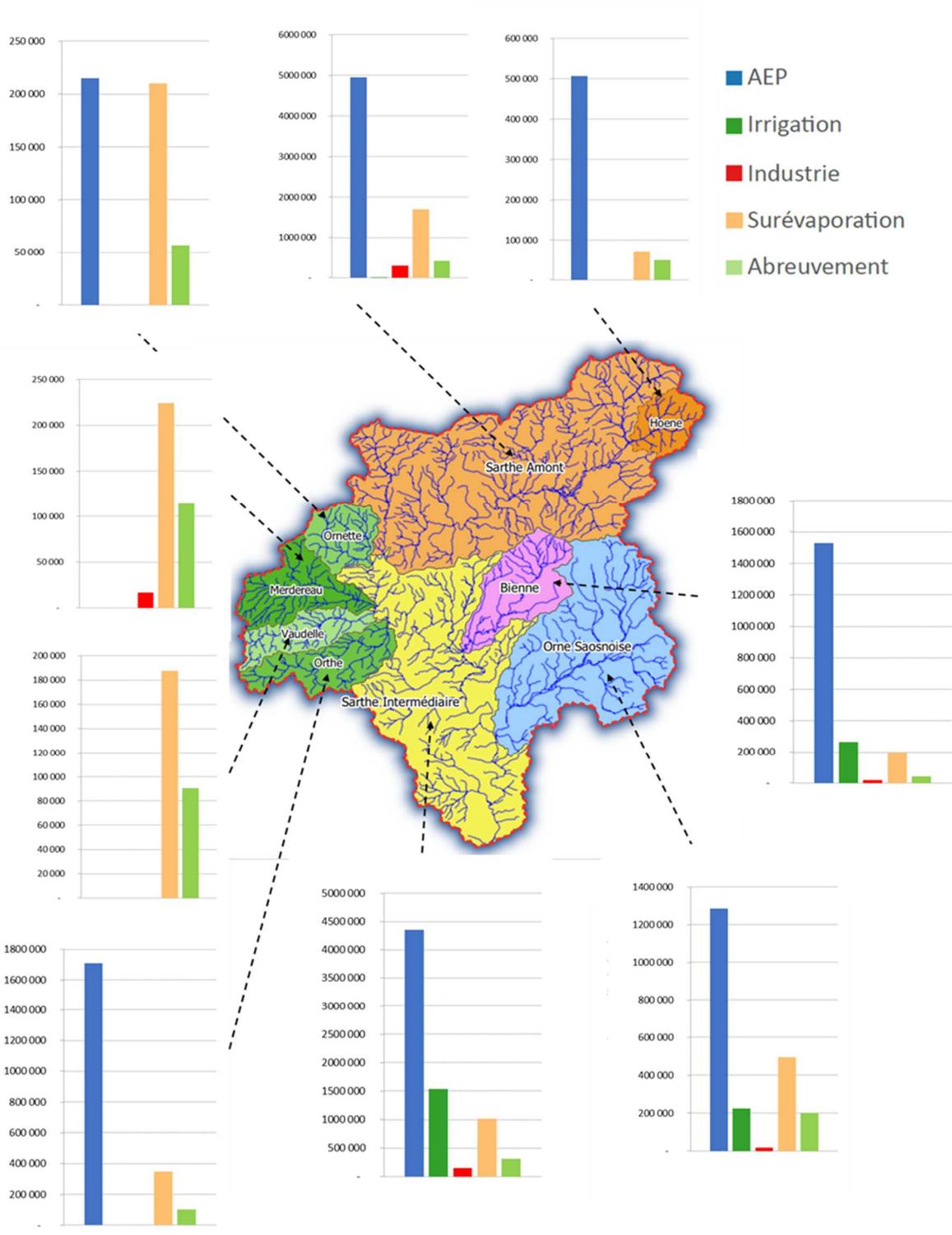


Figure 65 : Prélèvements (m3) représentés par SUG et par usages pour l'année 2019

Phase 1 | Objectif 4 : Connaître l'état des ressources sans les prélèvements et rejets afin d'identifier leur fonctionnement sans activités anthropiques

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

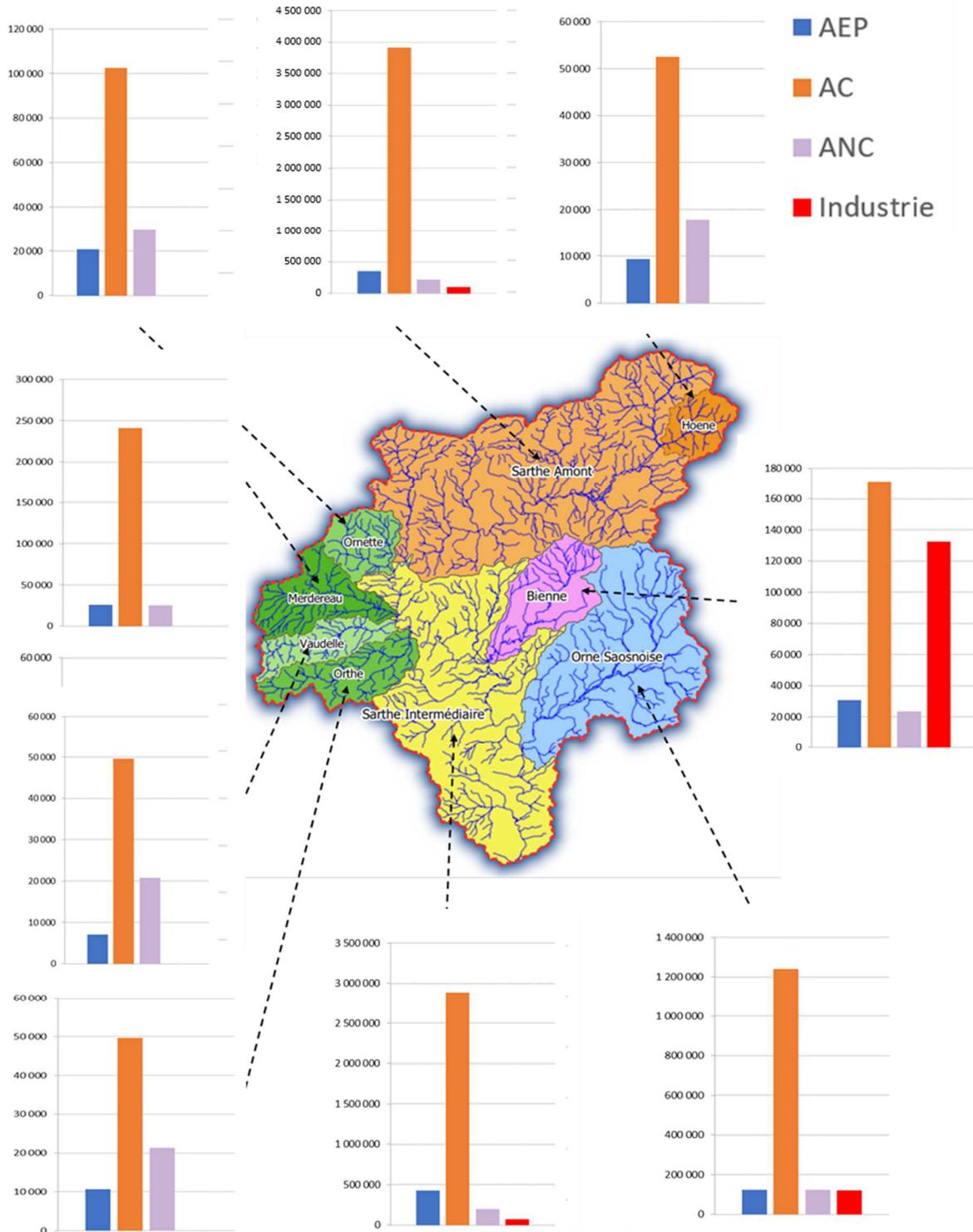


Figure 66 : Rejets (m3) représentés par SUG et par usages pour l'année 2019

4.5 Mise en perspective de l'hydrologie en régime influencé et désinfluencé et analyse des pressions

Les modèles présentés au paragraphe 4.3, calés pour chaque unité de gestion, permettent de reconstituer la chronique des débits influencés et désinfluencés.

On présente pour chaque unité de gestion les indicateurs principaux permettant de caractériser les ressources disponibles à l'étiage et de comparer la situation influencée à la situation désinfluencée afin d'analyser l'effet des usages anthropiques sur les débits. Chaque indicateur est présenté avec les intervalles de confiance associés, calculés d'après la méthode présentée au paragraphe 4.2.3⁴. Il s'agit, pour chaque unité de gestion du :

- ❖ QMNA5 influencé et désinfluencé ;
- ❖ VCN30 de période de retour 5 et 2 ans influencé et désinfluencé ;
- ❖ QMN5 influencé et désinfluencé ;

L'impact des prélèvements et rejets sur l'hydrologie sera caractérisé selon l'échelle de comparaison suivante :

Tableau 19 : Caractérisation de l'effet des usages sur l'hydrologie d'après la comparaison des QMNA5, VCN30(5), VCN30(2) et des modules en situation influencée et désinfluencée (Source : Suez Consulting 2022)

Proximité de la situation influencée à la situation désinfluencée (Influencé en % de la situation désinfluencée)	Impact des usages sur l'hydrologie
0-5%	Négligeable
5-15%	Faible
15-30%	Modéré
30-50%	Important
>50%	Très important

L'impact des usages est d'autant plus marqué sur les très bas débits. L'écart entre le VCN30 influencé et désinfluencé est en effet plus important en période de retour 5 ans qu'en période de retour 2 ans pour toutes les unités de gestion.

En complément des indicateurs statistiques présentés aux paragraphes suivants, l'annexe 3 fournit des graphiques de comparaison des chroniques de débits journaliers influencés et désinfluencés des usages anthropiques de l'eau.

⁴ Ces intervalles ont pour vocation de donner une indication sur la précision prédictive du modèle vis-à-vis de l'indicateur considéré. Ils ne doivent cependant pas être considérés comme étant ce qu'ils ne sont pas, comme une fourchette au sein de laquelle toute valeur serait équiprobable et pourrait être retenue arbitrairement. Les valeurs modélisées qui sont proposées sont celles qui font foi.

Phase 1 | Objectif 4 : Connaître l'état des ressources sans les prélèvements et rejets afin d'identifier leur fonctionnement sans activités anthropiques

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

4.5.1 Hoëne

La comparaison des résultats obtenus pour le régime influencé et désinfluencé met en évidence que l'impact des prélèvements et rejets est négligeable pour le module et le VCN30(2) et faible pour le QMNA5 et le VCN30(5) sur l'hydrologie de l'Hoëne. Les indicateurs d'étiage en situation influencée sont réduits de 6,8% au maximum en comparaison (VCN30(5) = -12 l/s) aux indicateurs en situation désinfluencée.

Tableau 20 : Indicateurs caractéristiques d'étiage en situation influencée et désinfluencée – UG Hoëne

	Débits influencés (m3/s)	Débits désinfluencés (m3/s)	Différence Qinfluencé – Q désinfluencé (l/s)	% écart
Module	0.594 (0.592; 0.596)	0.606 (0.604; 0.608)	-12.15	-2.01%
QMNA5	0.169 (0.168; 0.171)	0.182 (0.18; 0.183)	-12.33	-6.79%
VCN30(5)	0.165 (0.163; 0.167)	0.177 (0.175; 0.179)	-12.08	-6.82%
VCN30(2)	0.253 (0.251; 0.255)	0.265 (0.263; 0.267)	-12.11	-4.57%

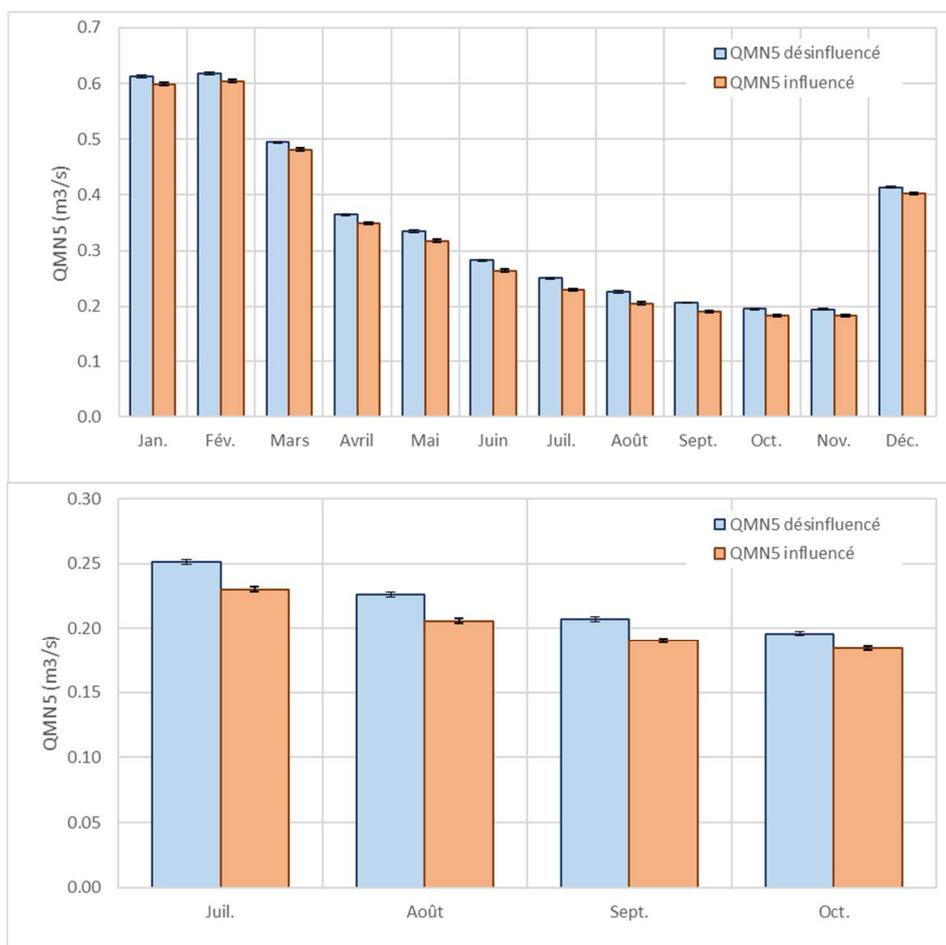


Figure 67 : Débit mensuel quinquennal sec (QMN5) en situation influencée (orange) et désinfluencée (bleu) – UG Hoëne

4.5.2 Sarthe amont

La comparaison des résultats obtenus pour le régime influencé et désinfluencé met en évidence que l'impact des prélèvements et rejets est négligeable pour le module et faible pour le VCN30(2), le QMNA5 et le VCN30(5) sur l'hydrologie de la Sarthe amont. Les indicateurs d'étiage en situation influencée sont réduits de 12% au maximum en comparaison (QMNA5 = -124 l/s) aux indicateurs en situation désinfluencée.

Tableau 21 : Indicateurs caractéristiques d'étiage en situation influencée et désinfluencée – UG Sarthe amont

	Débits influencés (m3/s)	Débits désinfluencés (m3/s)	Différence Qinfluencé – Q désinfluencé (l/s)	% écart
Module	8.365 (8.323; 8.406)	8.44 (8.398; 8.481)	-74.9	-0.89%
QMNA5	0.904 (0.868; 0.939)	1.028 (0.993; 1.063)	-124.32	-12.09%
VCN30(5)	0.842 (0.805; 0.878)	0.95 (0.914; 0.986)	-108.42	-11.41%
VCN30(2)	1.306 (1.265; 1.346)	1.418 (1.379; 1.457)	-112.33	-7.92%

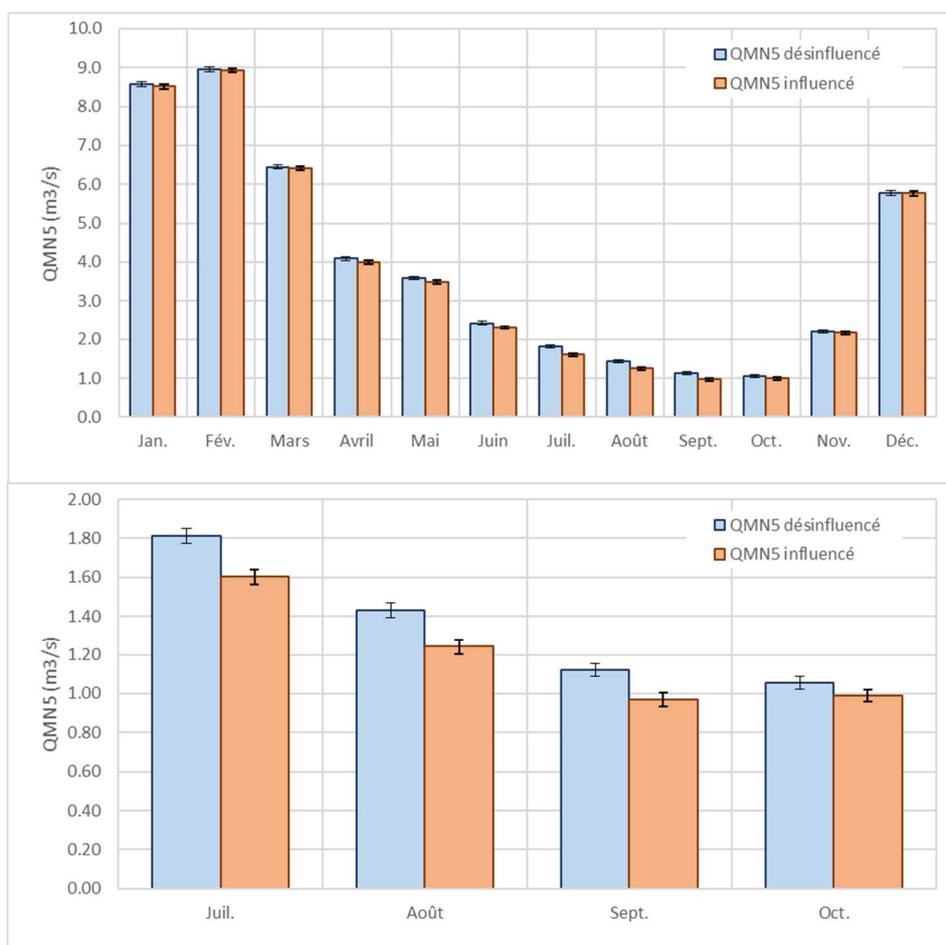


Figure 68 : Débit mensuel quinquennal sec (QMNS) en situation influencée (orange) et désinfluencée (bleu) – UG Sarthe amont

4.5.3 Ornette

La comparaison des résultats obtenus pour le régime influencé et désinfluencé met en évidence que l'impact des prélèvements et rejets est négligeable pour le module et très important pour le VCN30(2), le QMNA5 et le VCN30(5) sur l'hydrologie de l'Ornette. Les indicateurs d'étiage en situation influencée sont réduits de 84,4% au maximum en comparaison (VCN30(5) = -15 l/s) aux indicateurs en situation désinfluencée.

Tableau 22 : Indicateurs caractéristiques d'étiage en situation influencée et désinfluencée – UG Ornette

	Débits influencés (m3/s)	Débits désinfluencés (m3/s)	Différence Qinfluencé – Q désinfluencé (l/s)	% écart
Module	0.821 (0.818; 0.823)	0.829 (0.827; 0.832)	-8.73	-1.05%
QMNA5	0.004 (0.003; 0.005)	0.022 (0.021; 0.024)	-18.9	-84.27%
VCN30(5)	0.003 (0.002; 0.004)	0.018 (0.016; 0.019)	-14.84	-84.40%
VCN30(2)	0.015 (0.013; 0.018)	0.036 (0.033; 0.038)	-21.03	-59.10%

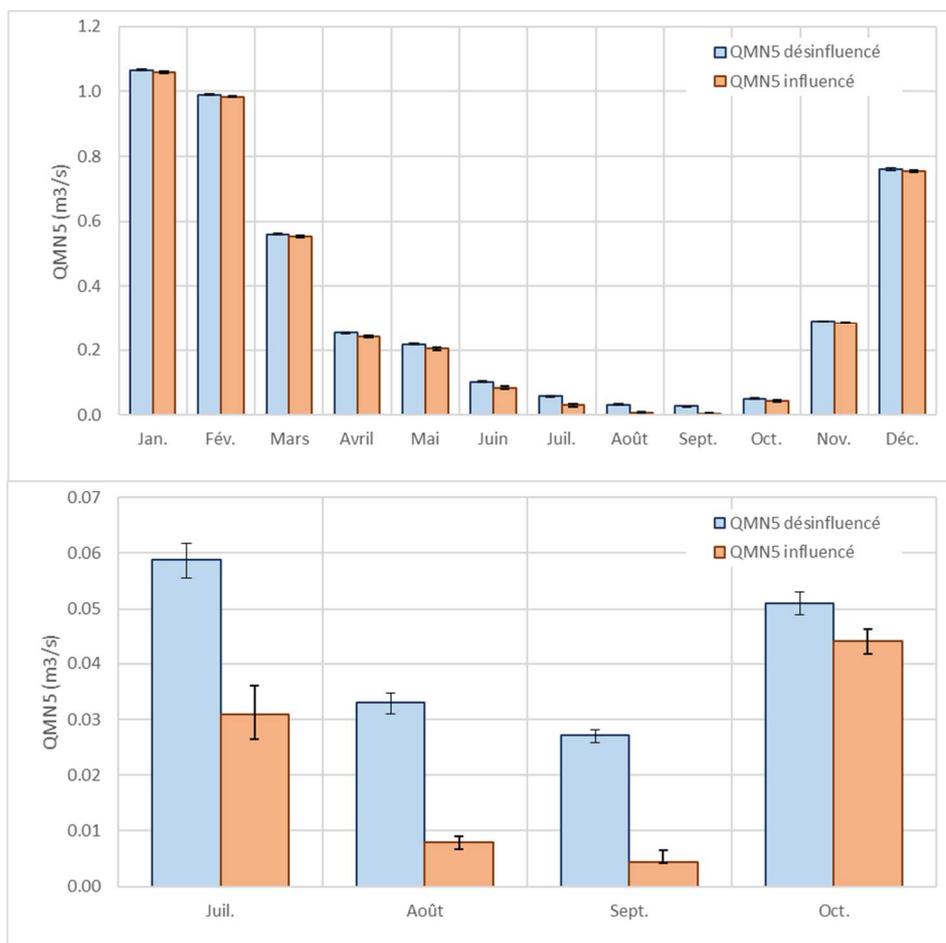


Figure 69 : Débit mensuel quinquennal sec (QMNS) en situation influencée (orange) et désinfluencée (bleu) – UG Ornette

4.5.4 Merdereau

La comparaison des résultats obtenus pour le régime influencé et désinfluencé met en évidence que l'impact des prélèvements et rejets est négligeable pour tous les indicateurs sur l'hydrologie du Merdereau. Les indicateurs d'étiage en situation influencée sont réduits de 1% au maximum en comparaison (QMNA5 = -1 l/s) aux indicateurs en situation désinfluencée.

Tableau 23 : Indicateurs caractéristiques d'étiage en situation influencée et désinfluencée – UG Merdereau

Module	Débits influencés (m3/s)	Débits désinfluencés (m3/s)	Différence Qinfluencé – Q désinfluencé (l/s)	% écart
Module	1.404 (1.4; 1.408)	1.404 (1.4; 1.408)	-0.29	-0.02%
QMNA5	0.111 (0.107; 0.114)	0.112 (0.109; 0.115)	-1.36	-1.21%
VCN30(5)	0.101 (0.098; 0.104)	0.101 (0.097; 0.104)	0.39	0.38%
VCN30(2)	0.177 (0.173; 0.18)	0.177 (0.173; 0.181)	-0.2	-0.12%

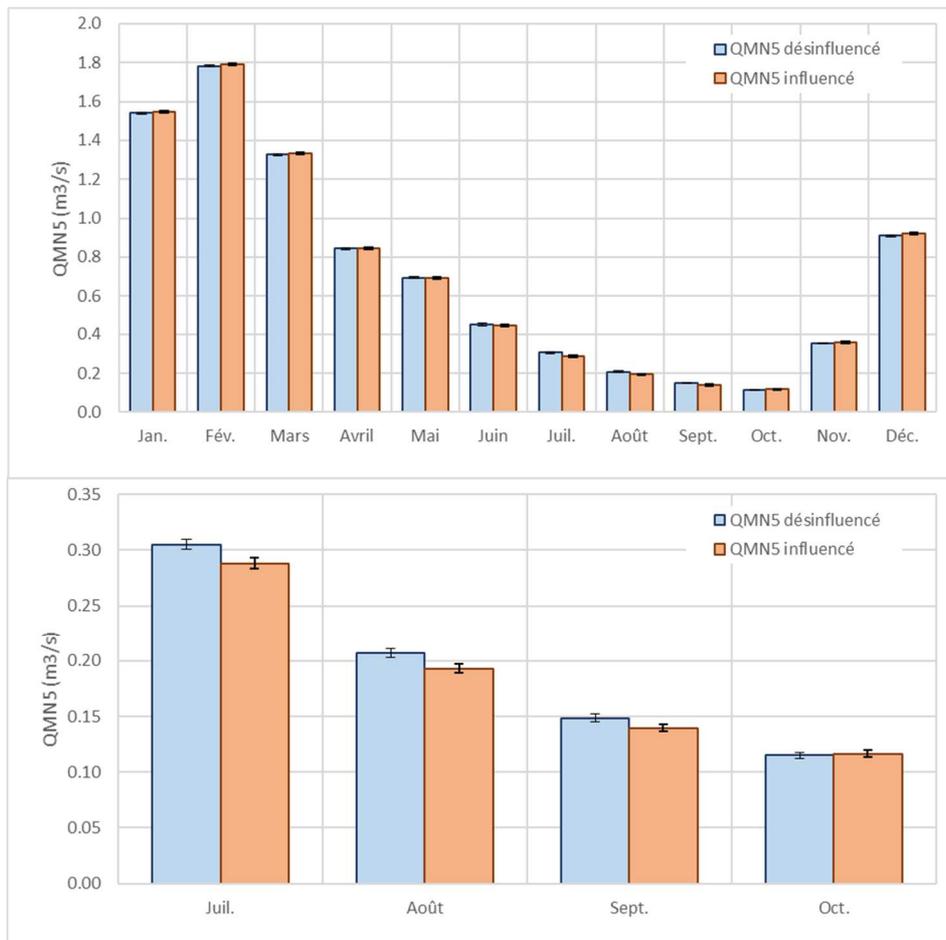


Figure 70 : Débit mensuel quinquennal sec (QMNS) en situation influencée (orange) et désinfluencée (bleu) – UG Merdereau

4.5.5 Vaudelle

La comparaison des résultats obtenus pour le régime influencé et désinfluencé met en évidence que l'impact des prélèvements et rejets est négligeable pour tous les indicateurs sur l'hydrologie de la Vaudelle. Les indicateurs d'étiage en situation influencée sont réduits de 2,5% au maximum en comparaison (QMNA5 = -3 l/s) aux indicateurs en situation désinfluencée.

Tableau 24 : Indicateurs caractéristiques d'étiage en situation influencée et désinfluencée – UG Vaudelle

Module	Débits influencés (m3/s)	Débits désinfluencés (m3/s)	Différence Qinfluencé – Q désinfluencé (l/s)	% écart
Module	0.907 (0.905; 0.909)	0.91 (0.908; 0.912)	-3.35	-0.37%
QMNA5	0.113 (0.111; 0.114)	0.115 (0.114; 0.117)	-2.77	-2.41%
VCN30(5)	0.105 (0.103; 0.106)	0.107 (0.105; 0.108)	-1.85	-1.74%
VCN30(2)	0.167 (0.165; 0.169)	0.17 (0.168; 0.172)	-2.44	-1.44%

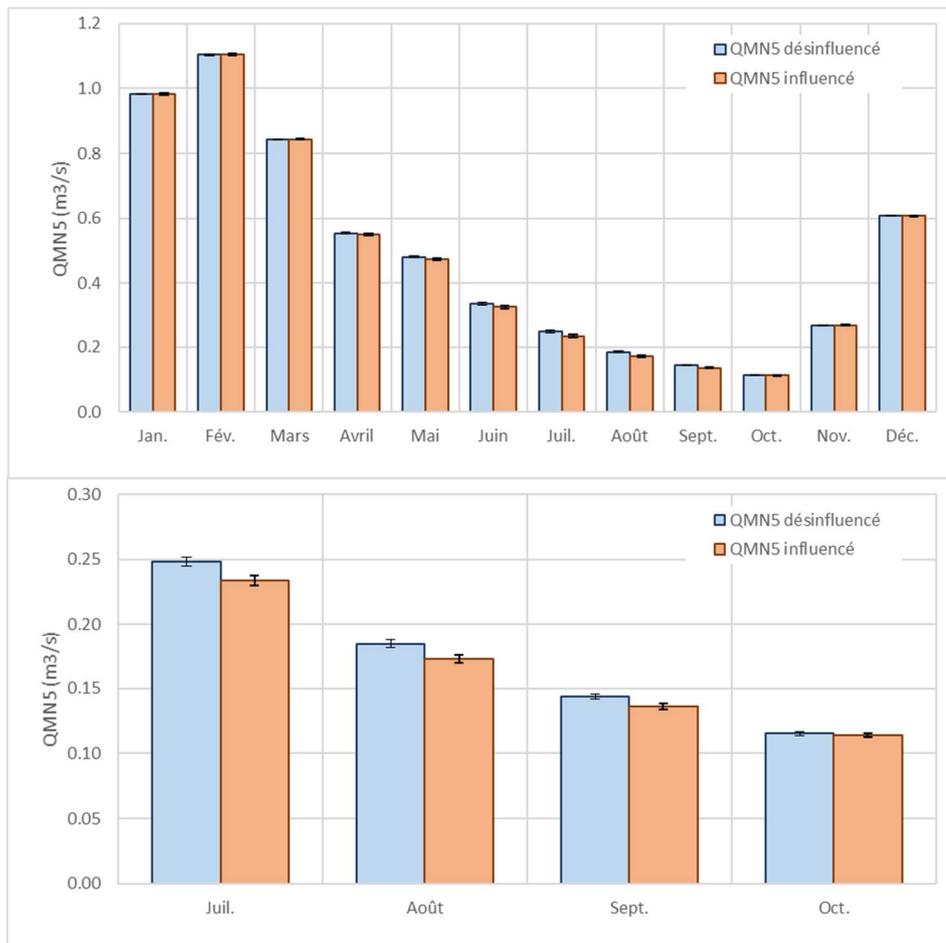


Figure 71 : Débit mensuel quinquennal sec (QMNS) en situation influencée (orange) et désinfluencée (bleu) – UG Vaudelle

4.5.6 Orthe

La comparaison des résultats obtenus pour le régime influencé et désinfluencé met en évidence que l'impact des prélèvements et rejets est faible pour le module et modéré pour le VCN30(2), le QMNA5 et le VCN30(5) sur l'hydrologie de l'Orthe. Les indicateurs d'étiage en situation influencée sont réduits de 28,8% au maximum en comparaison (VCN30(5) = -76 l/s) aux indicateurs en situation désinfluencée.

Tableau 25 : Indicateurs caractéristiques d'étiage en situation influencée et désinfluencée – UG Orthe

	Débits influencés (m3/s)	Débits désinfluencés (m3/s)	Différence Qinfluencé – Q désinfluencé (l/s)	% écart
Module	1.186 (1.181; 1.192)	1.257 (1.251; 1.263)	-70.79	-5.63%
QMNA5	0.199 (0.192; 0.205)	0.278 (0.273; 0.284)	-79.76	-28.65%
VCN30(5)	0.189 (0.183; 0.195)	0.265 (0.26; 0.271)	-76.36	-28.76%
VCN30(2)	0.288 (0.281; 0.294)	0.367 (0.361; 0.373)	-79.51	-21.66%

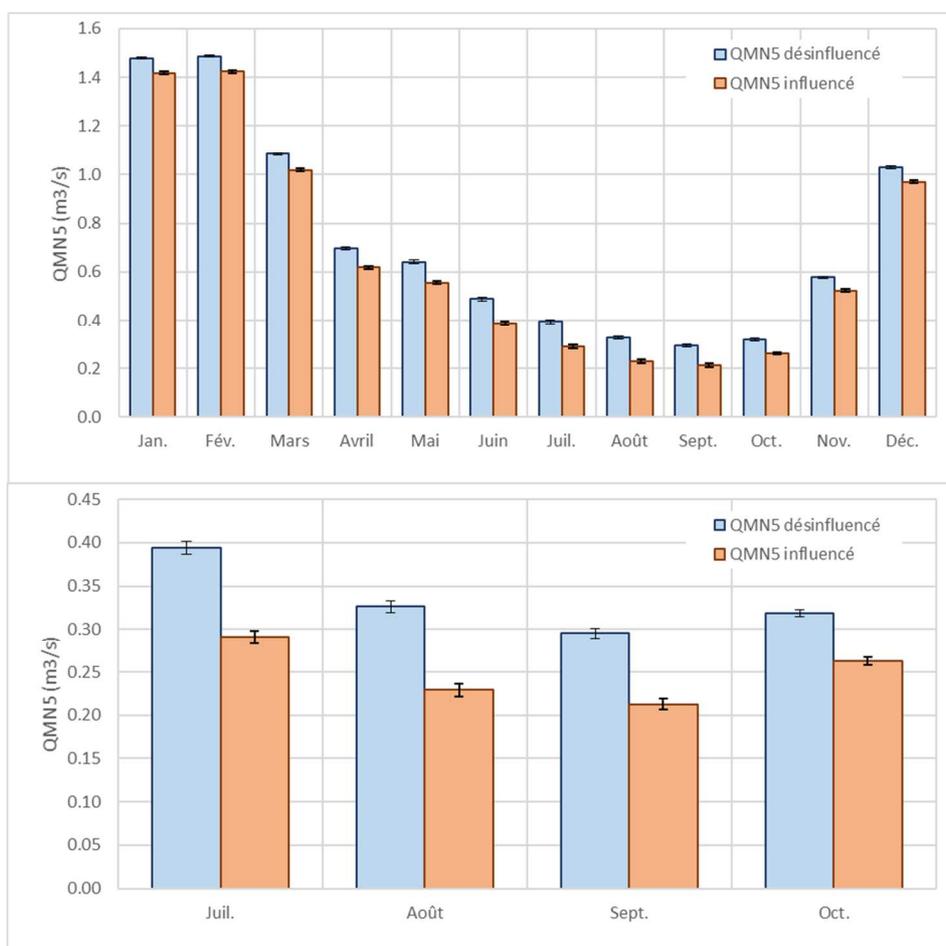


Figure 72 : Débit mensuel quinquennal sec (QMNS) en situation influencée (orange) et désinfluencée (bleu) – UG Orthe

4.5.7 Bienne

La comparaison des résultats obtenus pour le régime influencé et désinfluencé met en évidence que l'impact des prélèvements et rejets est négligeable pour le module, modéré pour le VCN30(2) et important pour le QMNA5 et le VCN30(5) sur l'hydrologie de la Bienne. Les indicateurs d'étiage en situation influencée sont réduits de 41% au maximum en comparaison (QMNA5 = -88 l/s) aux indicateurs en situation désinfluencée.

Tableau 26 : Indicateurs caractéristiques d'étiage en situation influencée et désinfluencée – UG Bienne

	Débits influencés (m3/s)	Débits désinfluencés (m3/s)	Différence Qinfluencé – Q désinfluencé (l/s)	% écart
Module	0.982 (0.976; 0.989)	1.033 (1.027; 1.039)	-50.35	-4.88%
QMNA5	0.124 (0.113; 0.135)	0.212 (0.207; 0.218)	-87.94	-41.42%
VCN30(5)	0.123 (0.112; 0.134)	0.206 (0.201; 0.211)	-82.81	-40.23%
VCN30(2)	0.189 (0.178; 0.199)	0.268 (0.262; 0.273)	-79.04	-29.54%

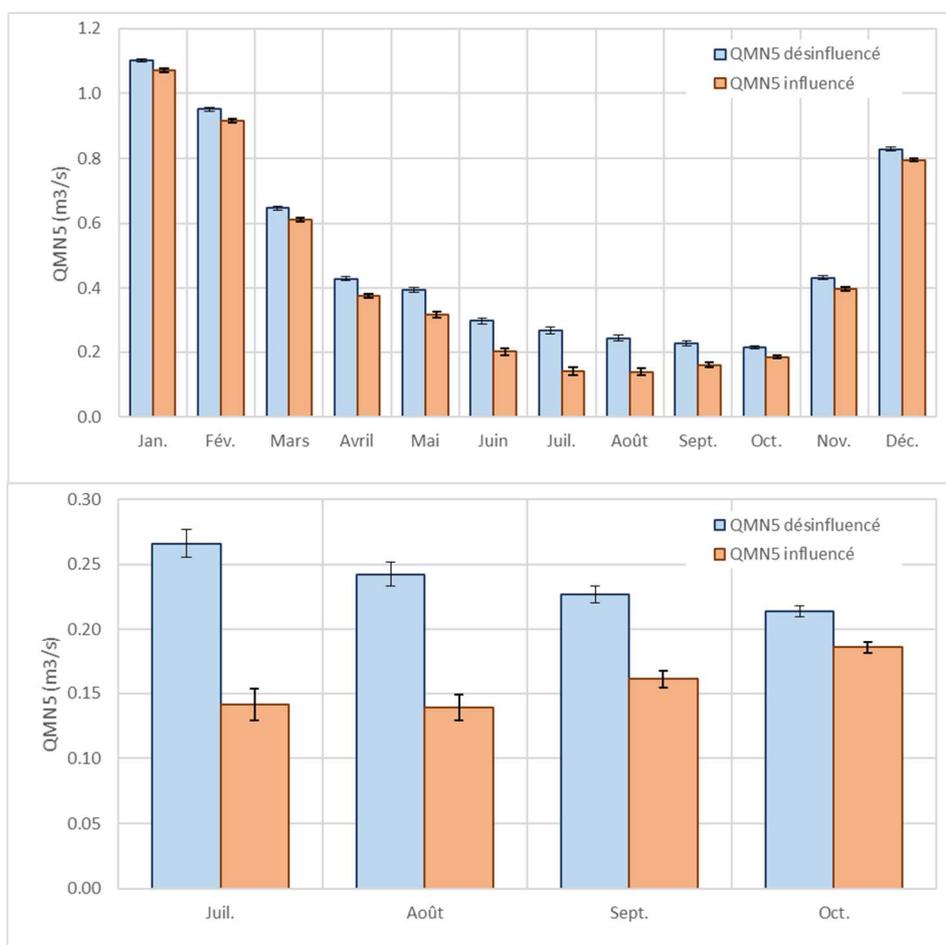


Figure 73 : Débit mensuel quinquennal sec (QMNS) en situation influencée (orange) et désinfluencée (bleu) – UG Bienne

4.5.8 Orne Saosnoise

La comparaison des résultats obtenus pour le régime influencé et désinfluencé met en évidence que l'impact des prélèvements et rejets est négligeable pour le module et faible pour le VCN30(2), le QMNA5 et le VCN30(5) sur l'hydrologie de l'Orne Saosnoise. Les indicateurs d'étiage en situation influencée sont réduits de 10% au maximum en comparaison (QMNA5 = -38 l/s) aux indicateurs en situation désinfluencée.

Tableau 27 : Indicateurs caractéristiques d'étiage en situation influencée et désinfluencée – UG Orne Saosnoise

	Débits influencés (m3/s)	Débits désinfluencés (m3/s)	Différence Qinfluencé – Q désinfluencé (l/s)	% écart
Module	3.06 (3.046; 3.074)	3.086 (3.072; 3.1)	-25.77	-0.84%
QMNA5	0.329 (0.314; 0.344)	0.367 (0.355; 0.38)	-38.33	-10.43%
VCN30(5)	0.328 (0.313; 0.342)	0.357 (0.345; 0.37)	-29.76	-8.33%
VCN30(2)	0.492 (0.476; 0.507)	0.52 (0.507; 0.534)	-28.32	-5.44%

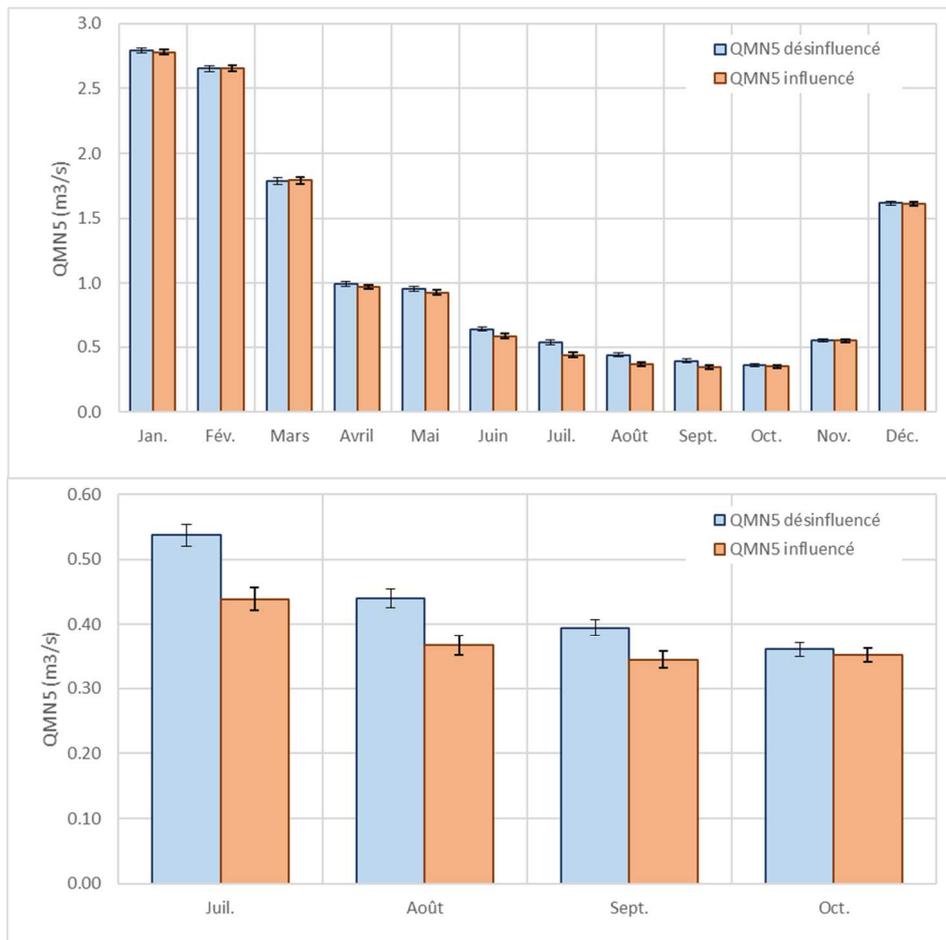


Figure 74 : Débit mensuel quinquennal sec (QMNS) en situation influencée (orange) et désinfluencée (bleu) – UG Orne Saosnoise

4.5.9 Sarthe intermédiaire

La comparaison des résultats obtenus pour le régime influencé et désinfluencé met en évidence que l'impact des prélèvements et rejets est négligeable pour le module, faible pour le VCN30(2) et modéré pour le QMNA5 et le VCN30(5) sur l'hydrologie de la Sarthe intermédiaire. Les indicateurs d'étiage en situation influencée sont réduits de 21% au maximum en comparaison (QMNA5 = -525 l/s) aux indicateurs en situation désinfluencée.

Tableau 28 : Indicateurs caractéristiques d'étiage en situation influencée et désinfluencée – UG Sarthe intermédiaire

Module	Débits influencés (m3/s)	Débits désinfluencés (m3/s)	Différence Qinfluencé – Q désinfluencé (l/s)	% écart
Module	22.759 (22.654; 22.865)	23.113 (23.008; 23.218)	-353.66	-1.53%
QMNA5	1.968 (1.875; 2.061)	2.493 (2.405; 2.581)	-525.38	-21.07%
VCN30(5)	1.884 (1.79; 1.978)	2.325 (2.237; 2.413)	-441.35	-18.98%
VCN30(2)	2.884 (2.78; 2.988)	3.377 (3.279; 3.474)	-492.76	-14.59%

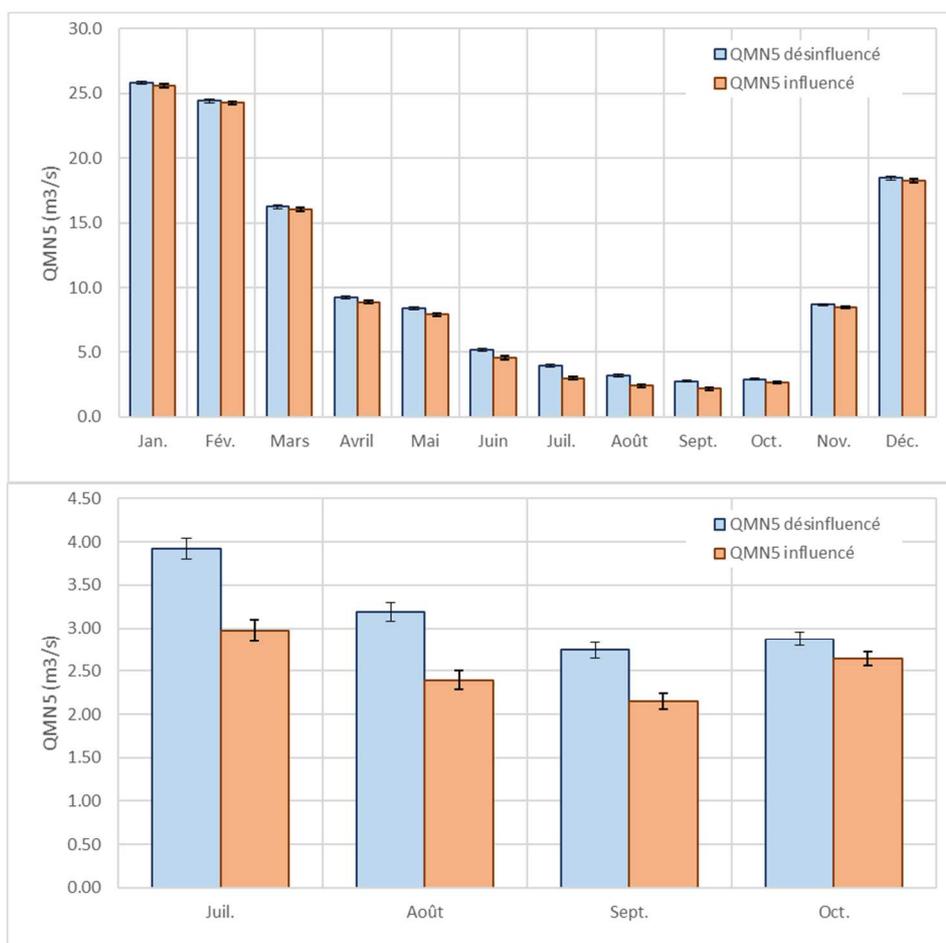


Figure 75 : Débit mensuel quinquennal sec (QMNS) en situation influencée (orange) et désinfluencée (bleu) – UG Sarthe intermédiaire

4.6 Synthèse

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 76 et le Tableau 29 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.

Phase 1 | Objectif 4 : Connaître l'état des ressources sans les prélèvements et rejets afin d'identifier leur fonctionnement sans activités anthropiques



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

Tableau 29 : Comparaison de l'effet des usages sur l'hydrologie pour chaque unité de gestion⁵ (Source : Suez Consulting, 2022)

	Module (m3/s)			QMNAS (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%

⁵Les valeurs entre crochet représentent les intervalles de confiance. Les valeurs entre parenthèses sont les débits spécifiques. L'échelle de couleur utilisée permet d'identifier les unités de gestion les plus impactée, selon l'indicateur présenté. Les prélèvements nets présentés impliquent non seulement les usages superficiels, mais également souterrains.

Phase 1 | Objectif 4 : Connaître l'état des ressources sans les prélèvements et rejets afin d'identifier leur fonctionnement sans activités anthropiques

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

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

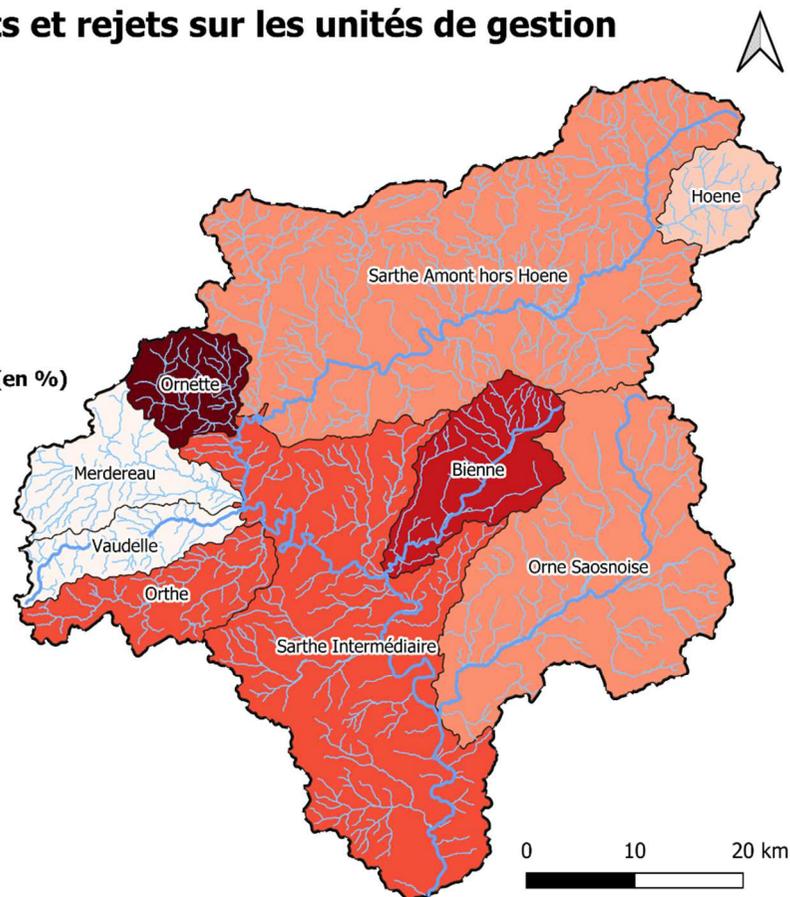


Figure 76 : Comparaison du QMNA5 influencé au QMNA5 désinfluencé sur les unités de gestion du bassin versant de la Sarthe amont (Source : Suez Consulting, 2022)

5 CONCLUSIONS ET SUITE DE L'ETUDE

Une modélisation hydrologique par unité de gestion a été construite et calée, afin d'appréhender l'impact des pressions anthropiques sur la ressource en eau (prise en compte explicite des usagers et reconstitution de l'hydrologie désinfluencée). Le calage réalisé est très satisfaisant sur la plupart des modèles et permet dans l'ensemble de réaliser des analyses robustes, un effort particulier ayant été fourni pour la bonne reproduction des bas débits.

L'analyse des modélisations hydrologiques ainsi réalisées a permis de quantifier l'impact des pressions anthropiques (prélèvements et rejets) sur le débit des cours d'eau au niveau des différentes unités de gestion. On retrouve des débits généralement plus faibles en situation influencée qu'en situation désinfluencée, de manière concordante avec le constat général du bilan des usages qui met en évidence un prélèvement net positif sur la plupart des cours d'eau (en particulier en période estivale) à l'exception du Merdereau.

L'Ornette présente le plus fort écart entre son régime influencé et désinfluencé. Ceci s'associe à une hydrologie naturellement faible en période estivale et à une forte pression d'usages. En effet on retrouve des tensions quantitatives actuelles déjà sévères sur ce sous-bassin (voir conclusions du rapport objectif 1).

La Bienne et l'Orthe présente également un impact important des usages anthropiques sur leurs hydrologies respectives à l'étiage. Dans une moindre mesure, la Sarthe intermédiaire présente également un impact conséquent des prélèvements et rejets sur l'hydrologie.

L'Hoëne, la Sarthe amont et l'Orne Saosnoise sont moins impactées par les usages que les unités de gestion précédentes même si la sensibilité aux prélèvements y est visible.

En ce qui concerne le Merdereau et la Vaudelle, ces deux unités de gestion présentent un très faible écart entre leurs hydrologies influencée et désinfluencée, principalement en raison des très forts rejets pour le Merdereau.

La suite de l'étude HMUC permettra de croiser ces résultats avec le besoin des milieux aquatiques et les tendances d'évolution futures, ce qui permettra à terme de proposer des préconisations de gestion de la ressource en eau appropriées sur l'ensemble du territoire d'étude.

Les évolutions futures des ressources en eau seront évaluées dans le volet « climat » à l'aide des modèles construits dans le cadre du présent rapport.

6 GLOSSAIRE

Les définitions présentées ci-dessous proviennent des sites <http://www.glossaire-eau.fr/glossaire>, <https://www.sandre.eaufrance.fr/>, <http://www.hydro.eaufrance.fr/glossaire.php> et du SDAGE Loire-Bretagne 2016-2021.

- ❖ **Affluent** : Se dit d'un cours d'eau qui rejoint un autre cours d'eau, généralement plus important, en un lieu appelé confluence ;
- ❖ **Amont** : Partie d'un cours d'eau qui, par rapport à un point donné, se situe entre ce point et sa source ;
- ❖ **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, ...) ;
- ❖ **Assec** : Assèchement temporaire d'un cours d'eau ou d'un tronçon de cours d'eau ou d'un plan d'eau ;
- ❖ **Aval** : Partie d'un cours d'eau qui, par rapport à un point donné, se situe après ce point, dans le sens de l'écoulement de l'eau ;
- ❖ **Banque hydro** (<http://www.hydro.eaufrance.fr/>) : Service français d'accès à des données hydrologiques fournies par des services de l'Etat (Direction régionale de l'environnement, de l'aménagement et du logement - DREAL, Voies navigables de France - VNF) et d'autres producteurs ;
- ❖ **Basses eaux** : Cf. §2 Définitions préalables ;
- ❖ **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. ;
- ❖ **Courbe de tarage** : Courbe décrivant la relation expérimentale entre les hauteurs d'eau et les débits correspondants d'un cours d'eau ou d'un canal, établie à partir de mesures de vitesses à travers une section de référence ;
- ❖ **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 caractéristique d'étiage** : Cf. §2 Définitions préalables ;
- ❖ **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'Etiage (DOE)** : 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

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

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 mensuel quinquennal sec** : Cf. §2 Définitions préalables ;
- ❖ **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 ;
- ❖ **Désinfluencée (hydrologie)** : L'hydrologie désinfluencée englobe l'ensemble des processus hydrologiques qui auraient lieu en l'absence d'actions anthropiques de prélèvements et de rejets d'eau dans le milieu naturel ;
- ❖ **Etiage** : Cf. §2 Définitions préalables ;
- ❖ **Evapotranspiration** : 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 ;
- ❖ **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 ;
- ❖ **Influencée (hydrologie)** : L'hydrologie influencée englobe l'ensemble des processus hydrologiques qui ont lieu en présence d'actions anthropiques de prélèvements et de rejets d'eau dans le milieu naturel. Il s'agit des processus hydrologiques ayant réellement lieu ;
- ❖ **Isohyète** : Une isohyète est, sur une carte météorologique, une ligne reliant des points d'égale quantité de précipitations tombées en une période déterminée ;
- ❖ **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

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

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) ;
- ❖ **Module** : Cf. §2 Définitions préalables ;
- ❖ **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** : 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 ;
- ❖ **QMNA** : Cf. §2 Définitions préalables ;
- ❖ **QMNA5** : Cf. §2 Définitions préalables ;
- ❖ **Recharge de nappe ou d'aquifère** : La réalimentation des aquifères ou infiltration résulte naturellement d'un processus hydrologique par lequel les eaux de surface percolent à travers le sol et s'accumulent sur le premier horizon imperméable rencontré ;
- ❖ **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 ;
- ❖ **Station limnimétriques** : Un limnimètre ou station limnimétriques est un équipement qui permet l'enregistrement et la transmission de la mesure de la hauteur d'eau (en un point donné) dans un cours d'eau. Les hauteurs sont souvent exprimées soit en mètres, soit en centimètres ;
- ❖ **Stationnarité** : Une des grandes questions dans l'étude de séries temporelles (ou chronologiques) est de savoir si celles-ci suivent un processus stationnaire. On entend par là le fait que la structure du processus sous-jacent supposé évolue ou non avec le temps. Si la structure reste la même, le processus est dit alors stationnaire ;
- ❖ **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 ;
- ❖ **Tension de vapeur** : La pression de vapeur saturante est la pression à laquelle la phase gazeuse d'une substance est en équilibre avec sa phase liquide ou solide à une température donnée dans un système fermé ;
- ❖ **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 ;
- ❖ **VCNd** : Cf. §2 Définitions préalables ;
- ❖ **Volume prélevable** : le volume prélevable est le volume que le milieu est capable de fournir dans des conditions écologiques satisfaisantes, pour satisfaire tous les usages ;

7 ANNEXES

7.1 Annexe 1 : Description de la solution de modélisation hydrologique employée

7.1.1 Le modèle Mike Hydro Basin : les principes théoriques

La modélisation hydrologique est réalisée à l'aide du logiciel **Mike Hydro Basin**, développé par DHI (Danish Hydraulic Institute). Ce dernier permet de réaliser des modélisations :

- **Globales**, c'est-à-dire que le bassin versant analysé est représenté comme une entité spatiale homogène et ne permet pas de décrire le débit en tout point de son emprise, mais uniquement au niveau de son exutoire. Cela se justifie par le fait que l'on cherche à obtenir des résultats au niveau d'un point unique, le point de référence ;
- **Conceptuelles**, ce qui signifie qu'elles cherchent à représenter les processus physiques de relations pluie-débit-eau souterraine (qui diffère des modélisations empiriques ou « boîte noire » dont l'architecture ne correspond pas à une représentation des processus physiques intervenant dans la transformation pluie-débit) ;
- **Intégrant les usages de l'eau**, qu'ils soient surfaciques ou souterrains⁶ ;
- Prenant en compte le stockage de nappe et les échanges et relations nappe-rivière, qui sont particulièrement marqués sur le territoire étudié.

Pour (re)constituer les débits nécessaires aux analyses, la modélisation employée s'appuie sur des données liées :

- Au **climat** (Précipitations, température et évapotranspiration) ;
- Aux **usages de l'eau** (prélèvements et rejets surfaciques et/ou souterrains).

⁶ La prise en compte des prélèvements et rejets souterrains de la modélisation permet de reproduire de manière plausible les effets de ces derniers sur la ressource en eau superficielle.

Phase 1 | Objectif 4 : Connaître l'état des ressources sans les prélèvements et rejets afin d'identifier leur fonctionnement sans activités anthropiques

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

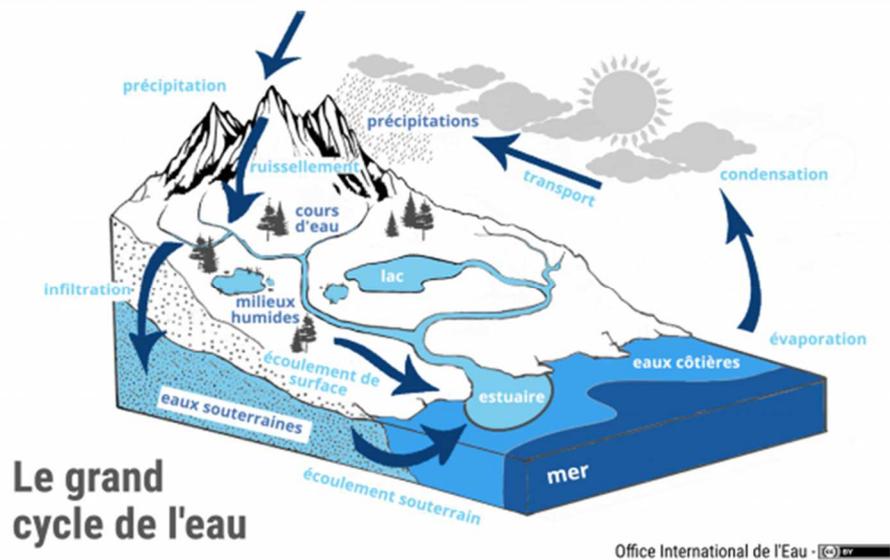


Figure 77 : Illustration du grand cycle de l'eau

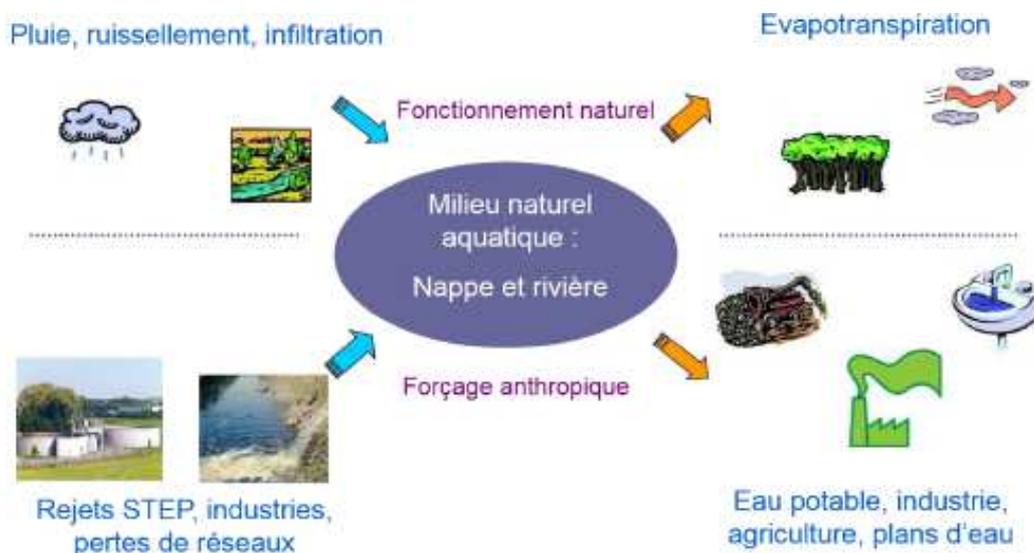


Figure 78 : Illustration des processus pris en compte par la modélisation

Le schéma conceptuel suivant indique la manière dont le modèle caractérise les processus cités ci-dessus.

Phase 1 | Objectif 4 : Connaître l'état des ressources sans les prélèvements et rejets afin d'identifier leur fonctionnement sans activités anthropiques

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

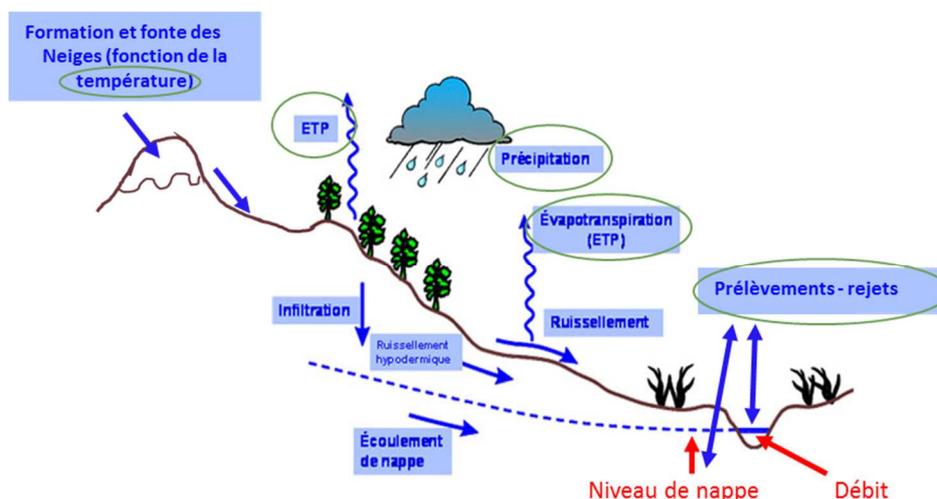


Figure 79 : Schéma conceptuel de la modélisation hydrologique. (Processus entourés en vert = données d'entrée. Processus en rouge = variables de sortie valorisées)

Concrètement, Mike Hydro Basin se décompose en différents compartiments fonctionnels interconnectés par l'architecture du logiciel :

- **Compartiment surfacique** : tous les phénomènes surfaciques, en addition du ruissellement hypodermique sont décrits par une modélisation NAM (module intégré au logiciel) ;
- **Compartiment souterrain** : les phénomènes souterrains sont décrits par un modèle de réservoir linéaire ;
- **Compartiment anthropique** : les prélèvements et rejets sont associés, selon qu'ils sont surfaciques ou souterrains, à l'un ou l'autre de ces modèles.

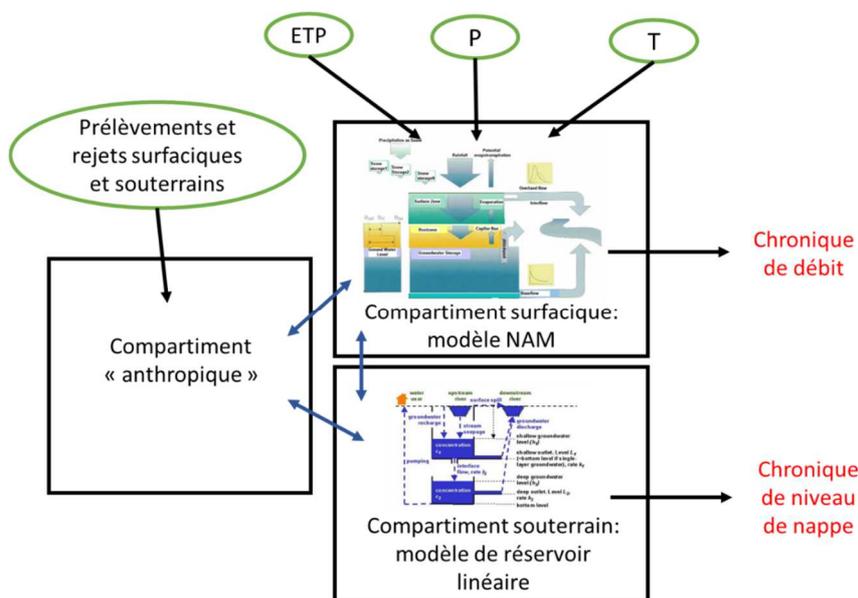


Figure 80 : Représentation schématique de l'architecture de Mike Hydro Basin

7.1.2 Calage du modèle : les principes généraux

Les **chroniques disponibles de mesure de débit** et de **niveau de nappe** sont utilisées pour **ajuster les valeurs des différents paramètres** du modèle. Le travail consiste à ajuster ces paramètres jusqu'à ce que les chroniques de débit et les chroniques de niveau de nappe simulées par le modèle puissent être considérées comme étant suffisamment proches de celles observées. Pour évaluer cette adéquation, divers indicateurs sont utilisés :

- La bonne reproduction du **module interannuel** observé ;
- La bonne reproduction du QMNA5, du VCN10 de période de retour 5 ans et du VCN3 de période de retour 5 ans observés⁷ ;
- La bonne reproduction des **QMNA** sur l'ensemble de la chronique de calage ;
- Un **coefficient de Nash**⁸ suffisamment élevé pour (par exemple) :
 - ▶ Les débits moyens mensuels (annuels et estivaux) ;
 - ▶ Les débits moyens décennaux (annuels et estivaux) ;
 - ▶ Les débits moyens sur une période de 3 jours consécutifs (annuels et estivaux) ;
 - ▶ Les débits journaliers (annuels et estivaux) ;
 - ▶ L'inverse des débits journaliers qui met l'accent sur les bas débits (annuels et estivaux).
- Une reproduction cohérente des **fluctuations de niveau de nappe**⁹.

Le **coefficient de Nash** est utilisé en modélisation pour indiquer le degré d'ajustement du modèle et évaluer sa capacité prédictive :

$$\text{Nash} = - \frac{\sum_{t=1}^T (Q_{obs}(t) - Q_{sim}(t))^2}{\sum_{t=1}^T (Q_{obs}(t) - Q_{obs})^2} ;$$

avec :

- T le nombre d'observations,

⁷ Uniquement dans les cas où l'on dispose de chroniques de calage d'au moins 25 années

⁸ Le coefficient de Nash est un indicateur communément employé pour indiquer le degré d'ajustement du modèle et évaluer la capacité prédictive des modèles hydrologiques.

⁹ Le modèle de nappe étant ici simplifié (réservoirs « vides » plutôt qu'une matrice poreuse), il conviendra de vérifier la vraisemblance des évolutions du niveau de nappe entre les chroniques piézométriques et les sorties du modèle numérique. L'objectif est de bien reproduire les variations d'amplitude et les dynamiques de montée-descente du niveau de la nappe, tel que représenté au niveau d'un piézomètre pouvant être considéré représentatif du territoire étudié. Le modèle souterrain étant conceptuel et simplifié, on se limite à l'utilisation d'un piézomètre, ce qui suffit généralement à reproduire les tendances observées sur l'ensemble du bassin versant, sauf dans les cas éventuels présentant une grande hétérogénéité hydrogéologique, ce qui n'est pas le cas du présent territoire d'étude.

Phase 1 | Objectif 4 : Connaître l'état des ressources sans les prélèvements et rejets afin d'identifier leur fonctionnement sans activités anthropiques

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

- Q_{obs} la chronique des débits observés (et $\overline{Q_{obs}}$ sa moyenne)
- Q_{sim} la chronique des débits simulés.

Ces indicateurs sont sélectionnés dans une perspective d'optimisation de la qualité de la modélisation sur les faibles débits. On s'intéresse particulièrement :

- Au **pas de temps mensuel** car c'est celui qui sera utilisé pour la définition de débits objectifs d'étiage ;
- Aux **métriques de la période estivale**, car ce sont celles qui permettent de qualifier le calage sur la période d'étiage.

Par la suite, on vérifie, sur une portion de la chronique disponible n'ayant pas été utilisée lors du processus de calage, que les valeurs restituées par le modèle correspondent toujours bien aux valeurs observées (de débit et de niveau de nappe). Il s'agit de l'étape de **validation du modèle**, qui permet de garantir que ce dernier est à même de représenter correctement les débits sur une chronique différente de celle sur laquelle il a été calé. Cette étape est cruciale pour pouvoir s'assurer de la robustesse du modèle et pour écarter l'éventualité d'occurrence d'un « sur calage » ou overfitting¹⁰.

Selon la longueur de la chronique disponible, cette étape n'est pas toujours réalisable. En effet, si cette dernière est courte, il sera préférable de l'utiliser dans son intégralité pour le calage afin d'éviter que le modèle ne soit uniquement représentatif de phénomènes particuliers à quelques années et non au comportement du bassin versant sur une période prolongée.

Lorsque le modèle est calé et, si possible, validé, on considère que les paramètres du modèle représentent de manière satisfaisante les processus physiques du bassin versant, ce qui permet d'estimer le débit journalier qui aurait lieu :

- Lors de périodes au cours desquelles aucune mesure n'est disponible ;
- Dans d'autres conditions de climat et d'usage de l'eau.

7.1.3 Mesures adoptées en cas de manque de données

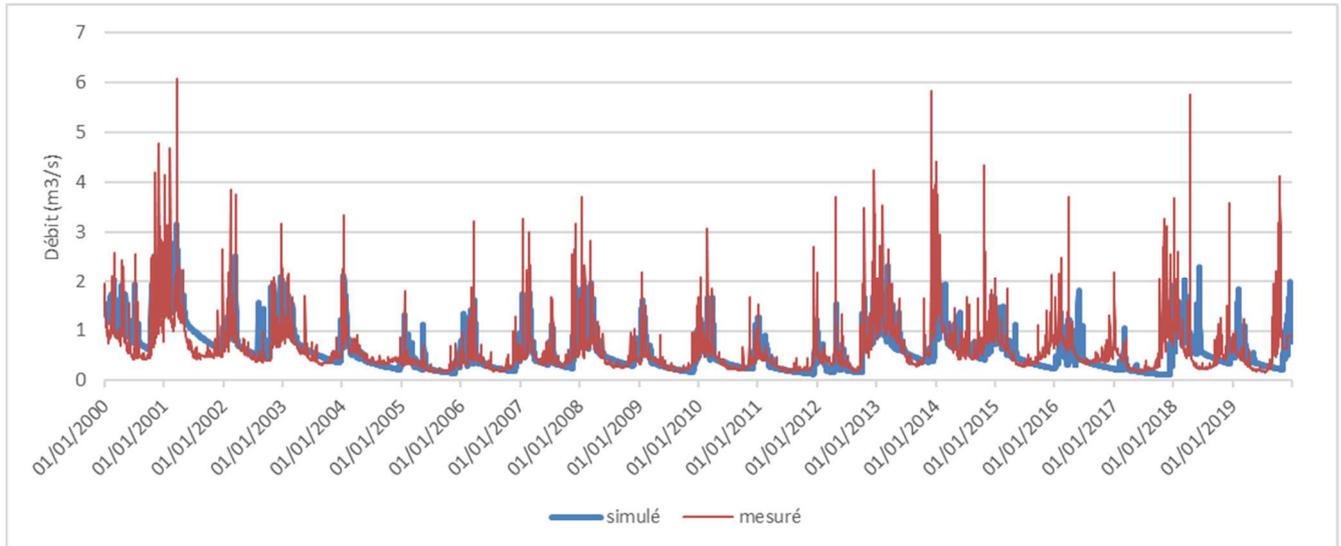
Il arrive que l'on ne dispose pas des données nécessaires pour caler un modèle (manque de données de débit et/ou de piézométrie). Dans ces cas-là, plusieurs solutions sont envisageables :

- **En cas de données insuffisantes** : reprise d'un calage effectué sur un bassin versant proche et similaire à celui que l'on souhaite modéliser, puis ajustement fin du calage pour s'approcher des valeurs des données disponibles ;
- **En cas d'absence totale de données** : réutilisation du calage effectué sur un modèle représentant un bassin versant proche et similaire à celui que l'on souhaite modéliser.

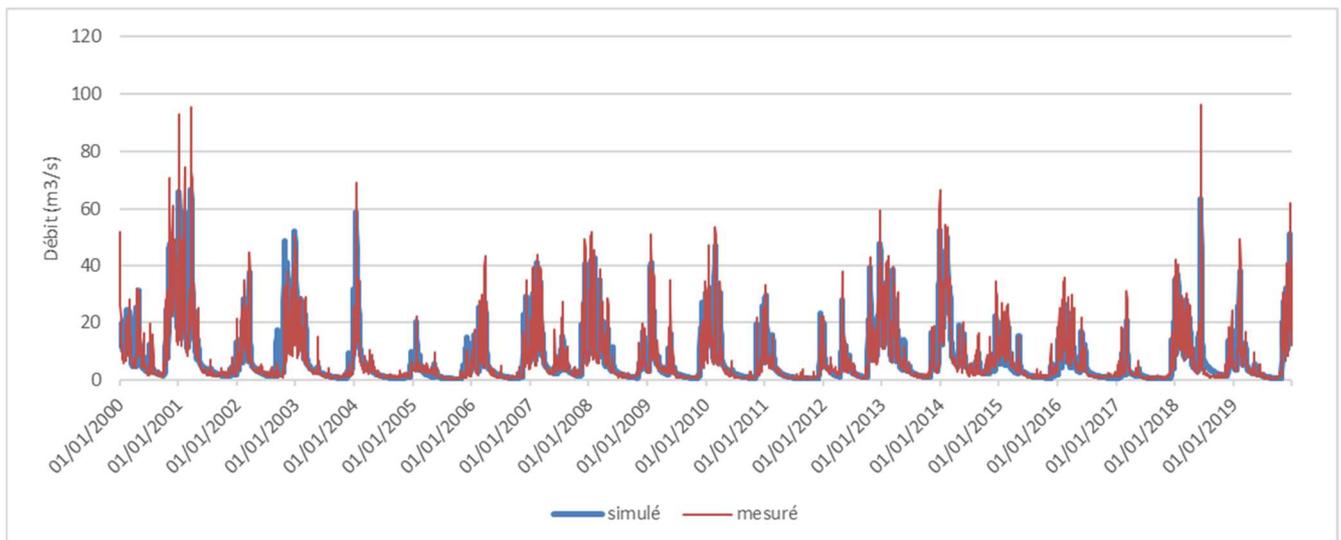
¹⁰ Terme caractérisant un modèle dont le calage permet de représenter très bien la chronique sur lequel il a été effectué, mais donnant des résultats médiocres en dehors de cette chronique.

7.2 Annexe 2 : Comparaison des chroniques de débits journaliers simulés et observés

7.2.1 Hoëne



7.2.2 Sarthe amont

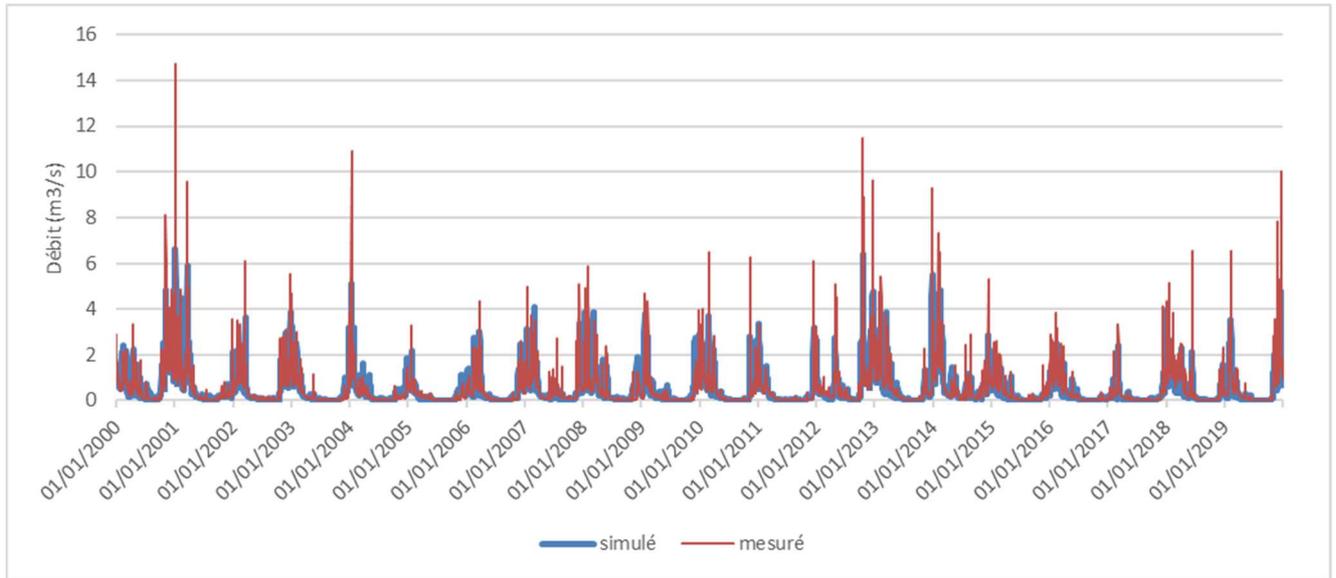


Phase 1 | Objectif 4 : Connaître l'état des ressources sans les prélèvements et rejets afin d'identifier leur fonctionnement sans activités anthropiques

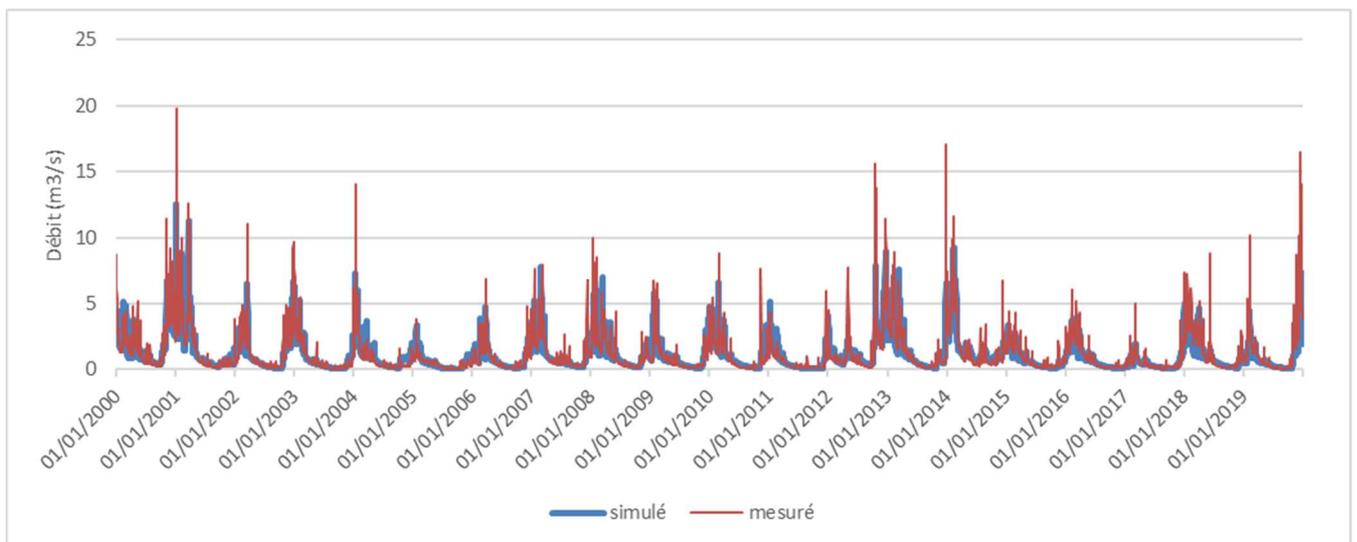


Etude sur la gestion quantitative des ressources en eau du bassin Sarthe amont et élaboration de programmes d'actions dans le cadre de la révision du SAGE

7.2.3 Ornette



7.2.4 Merdereau

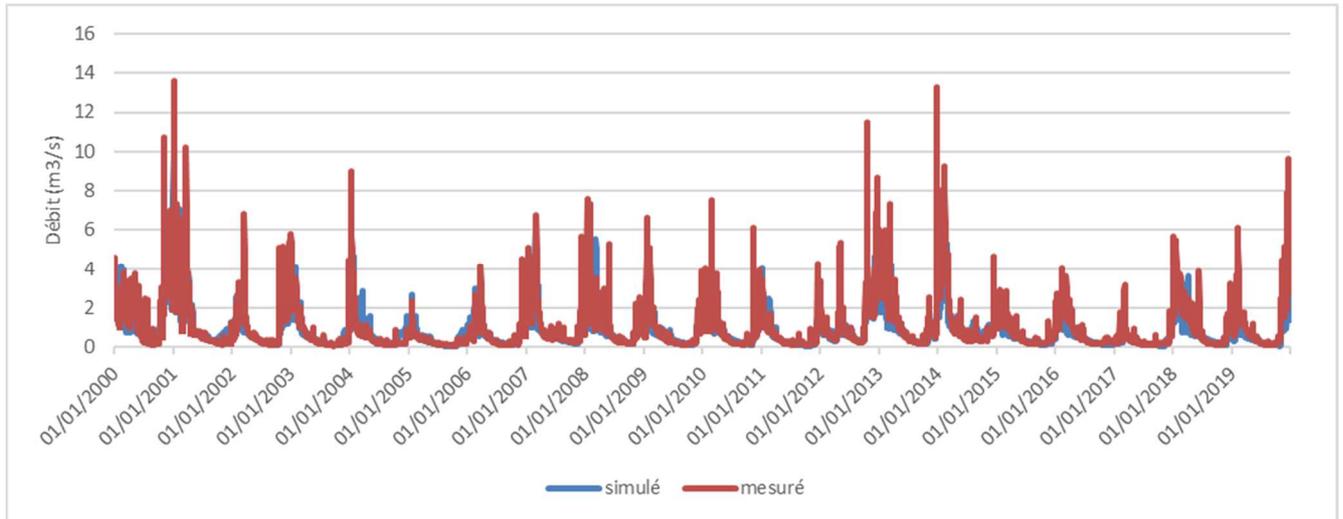


Phase 1 | Objectif 4 : Connaître l'état des ressources sans les prélèvements et rejets afin d'identifier leur fonctionnement sans activités anthropiques

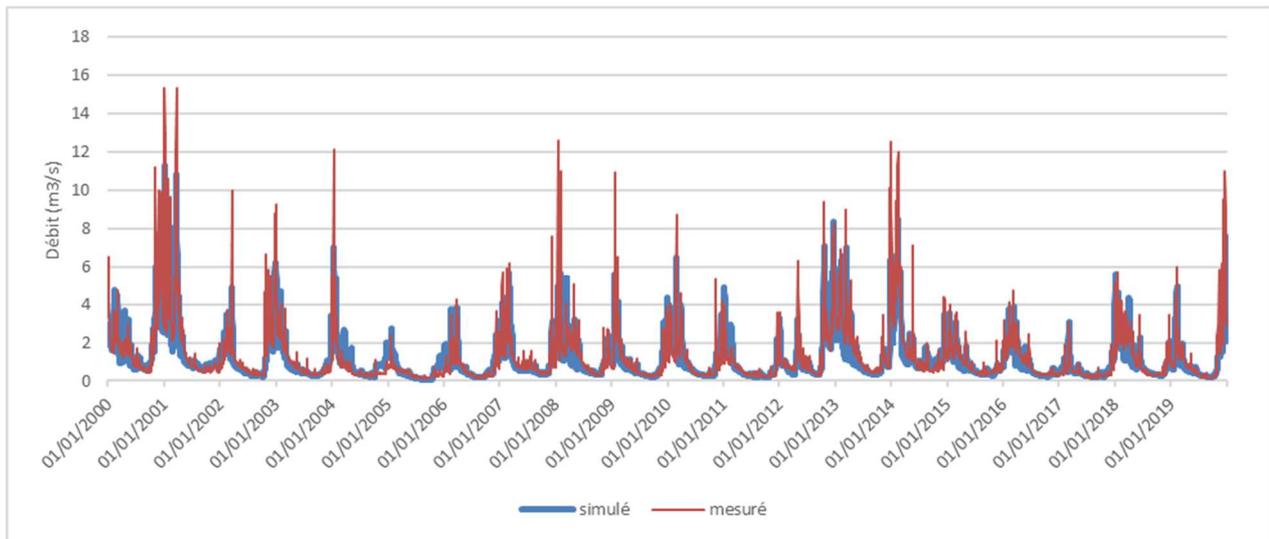


Etude sur la gestion quantitative des ressources en eau du bassin Sarthe amont et élaboration de programmes d'actions dans le cadre de la révision du SAGE

7.2.5 Vaudelle



7.2.6 Orthe

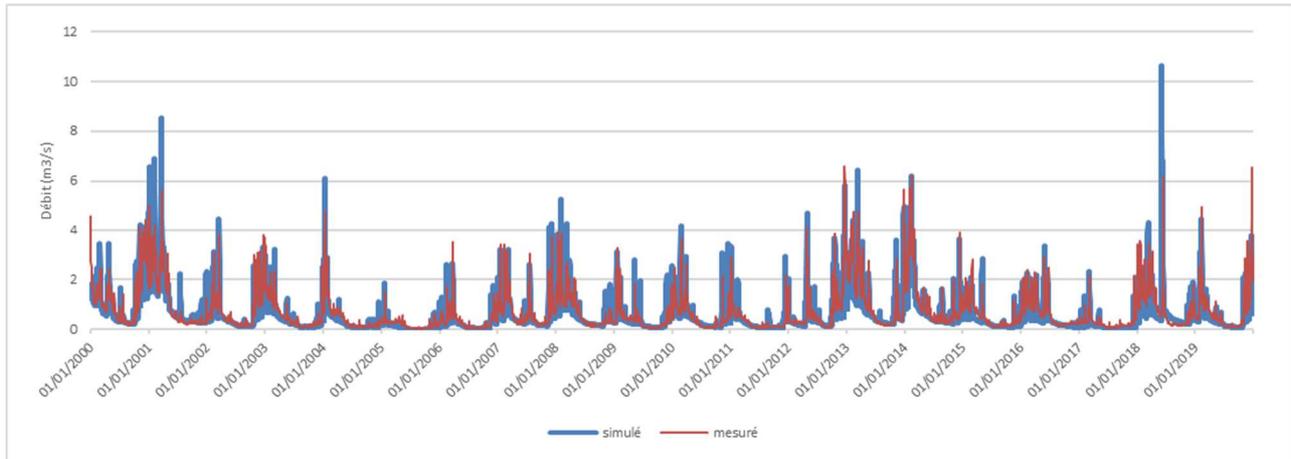


Phase 1 | Objectif 4 : Connaître l'état des ressources sans les prélèvements et rejets afin d'identifier leur fonctionnement sans activités anthropiques

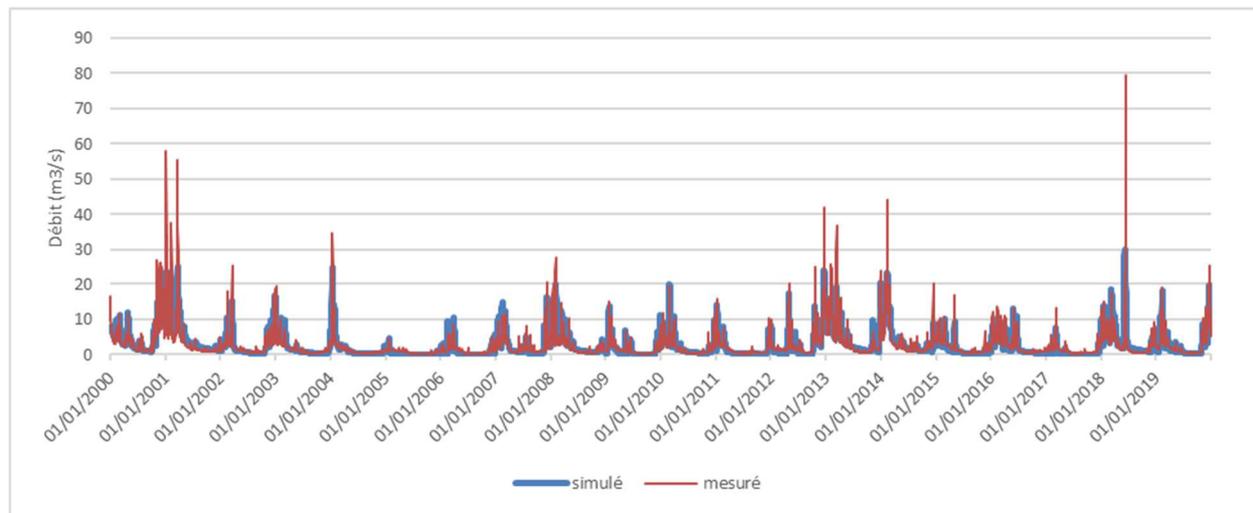


Etude sur la gestion quantitative des ressources en eau du bassin Sarthe amont et élaboration de programmes d'actions dans le cadre de la révision du SAGE

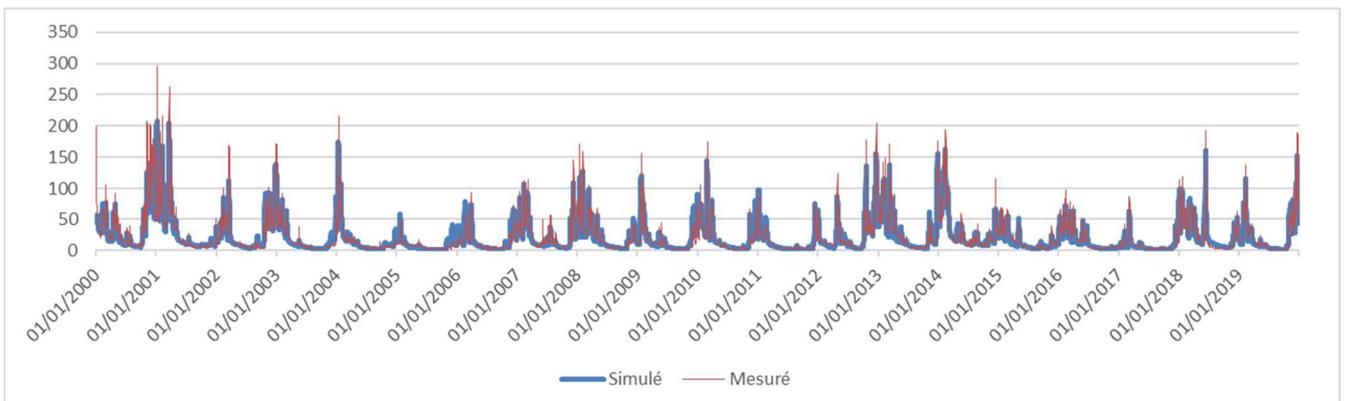
7.2.7 Bienne



7.2.8 Orne Saosnoise

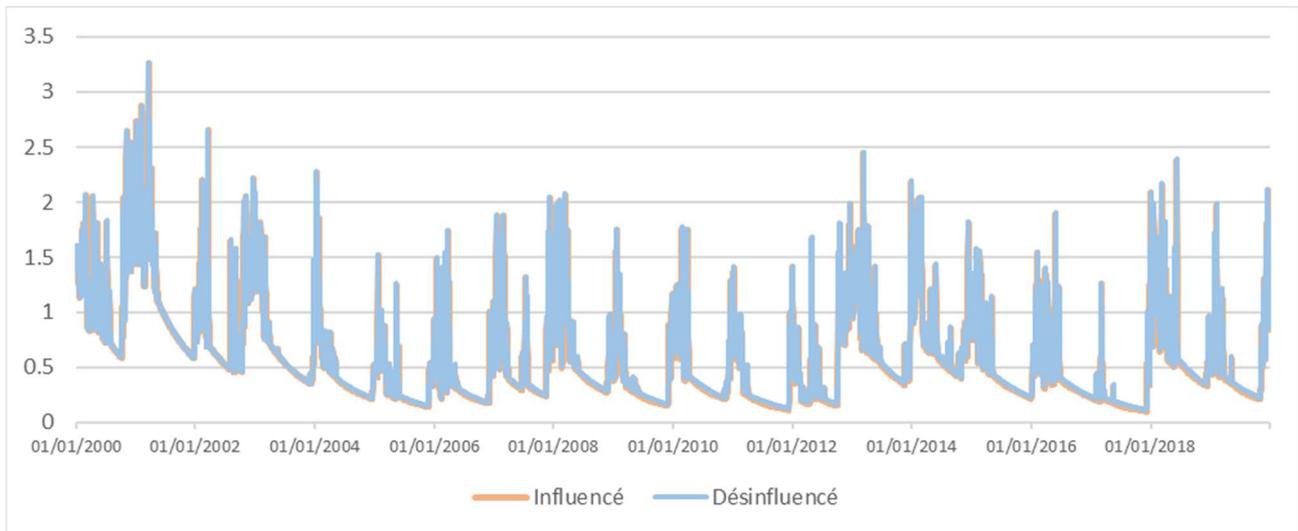


7.2.9 Sarthe intermédiaire

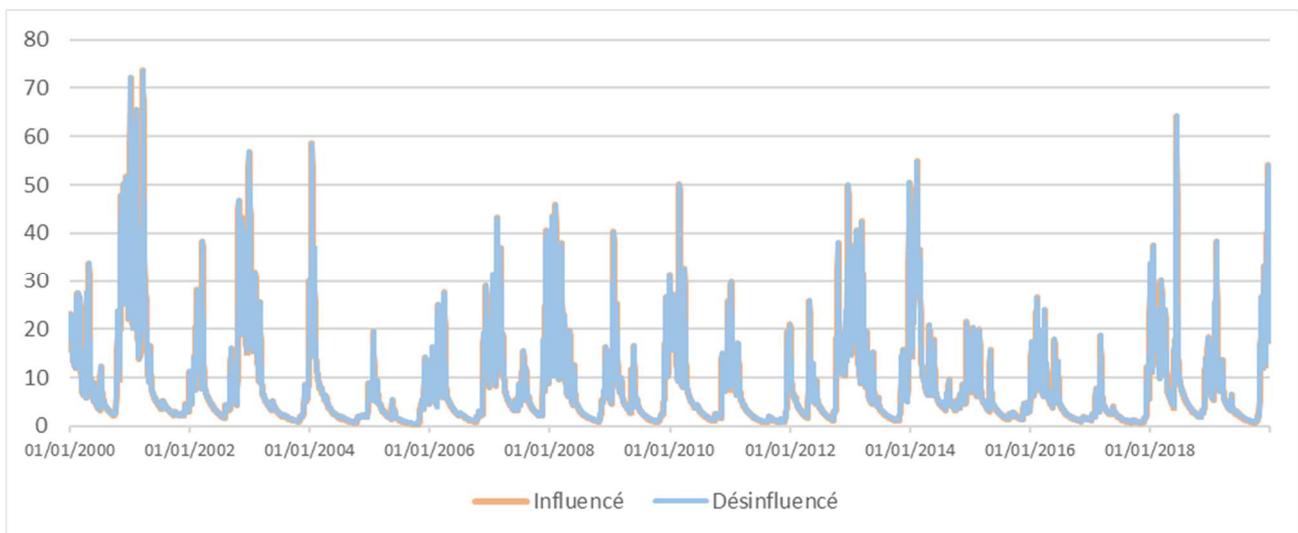


7.3 Annexe 3 : Comparaison des chroniques de débits journaliers influencés et désinfluencés

7.3.1 Hoëne



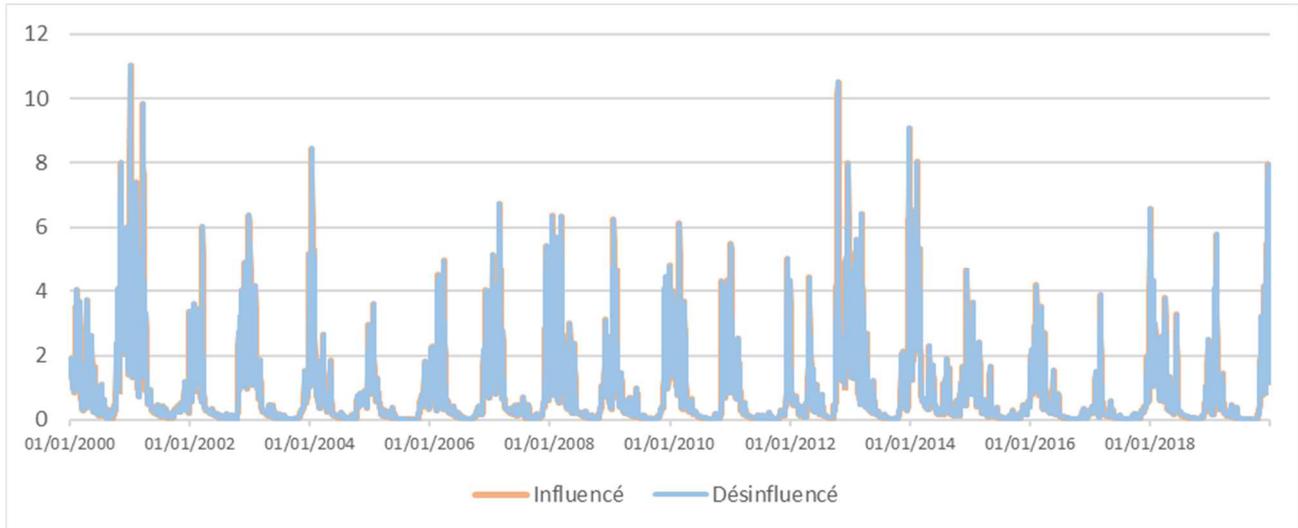
7.3.2 Sarthe amont



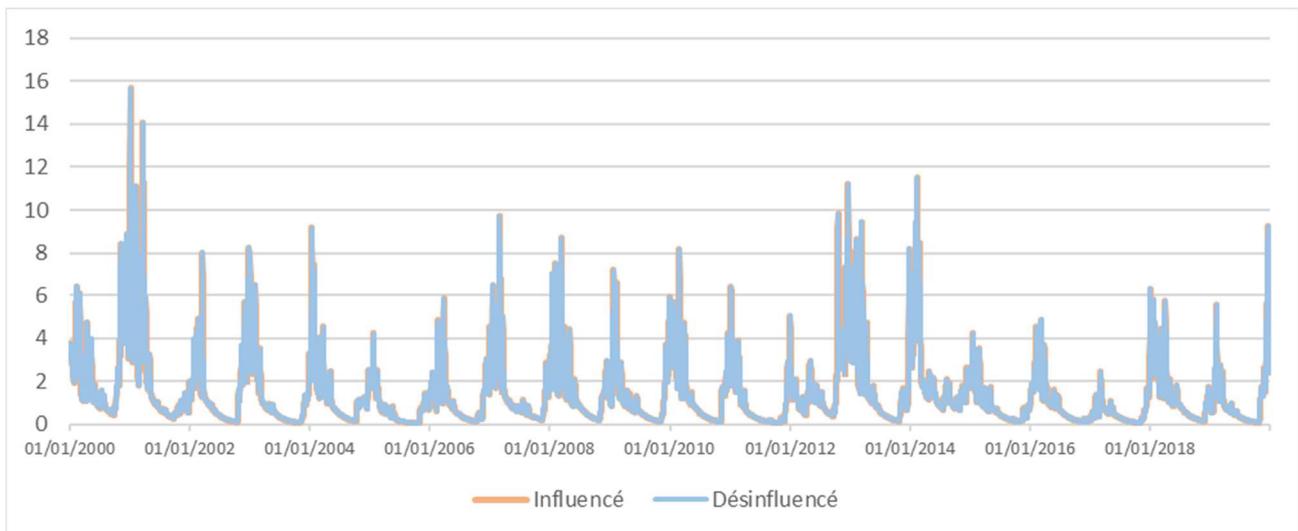
Phase 1 | Objectif 4 : Connaître l'état des ressources sans les prélèvements et rejets afin d'identifier leur fonctionnement sans activités anthropiques

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

7.3.3 Ornette



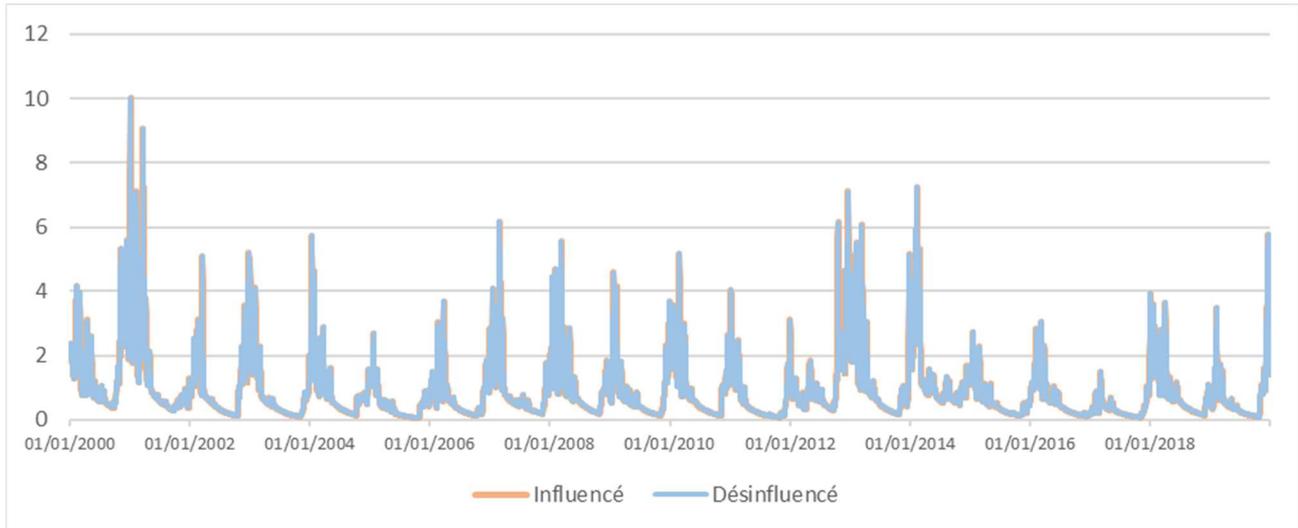
7.3.4 Merdereau



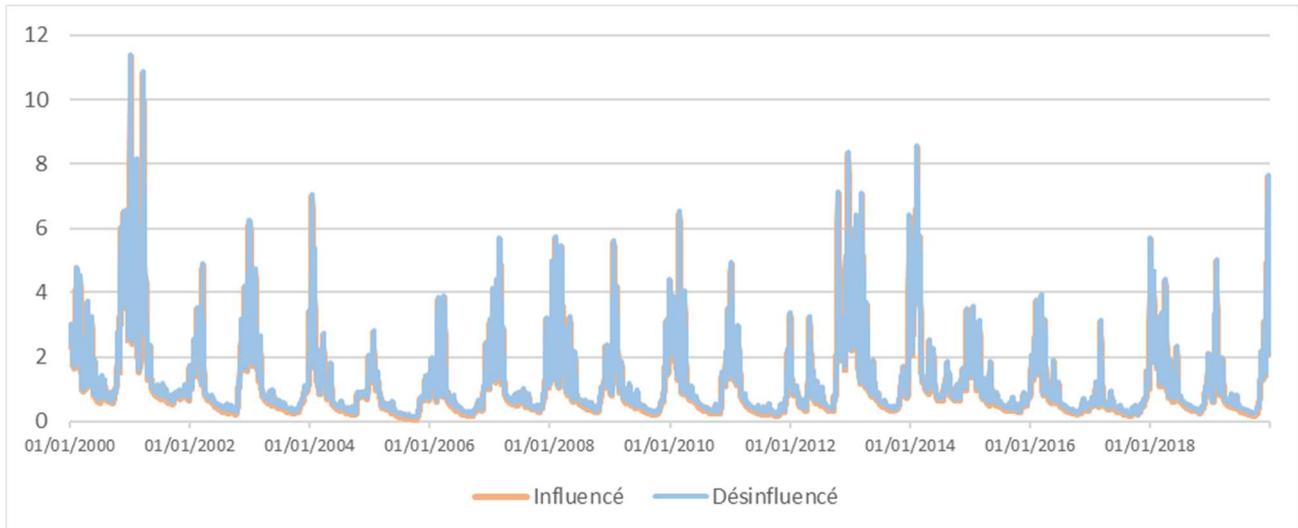
Phase 1 | Objectif 4 : Connaître l'état des ressources sans les prélèvements et rejets afin d'identifier leur fonctionnement sans activités anthropiques

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

7.3.5 Vaudelle



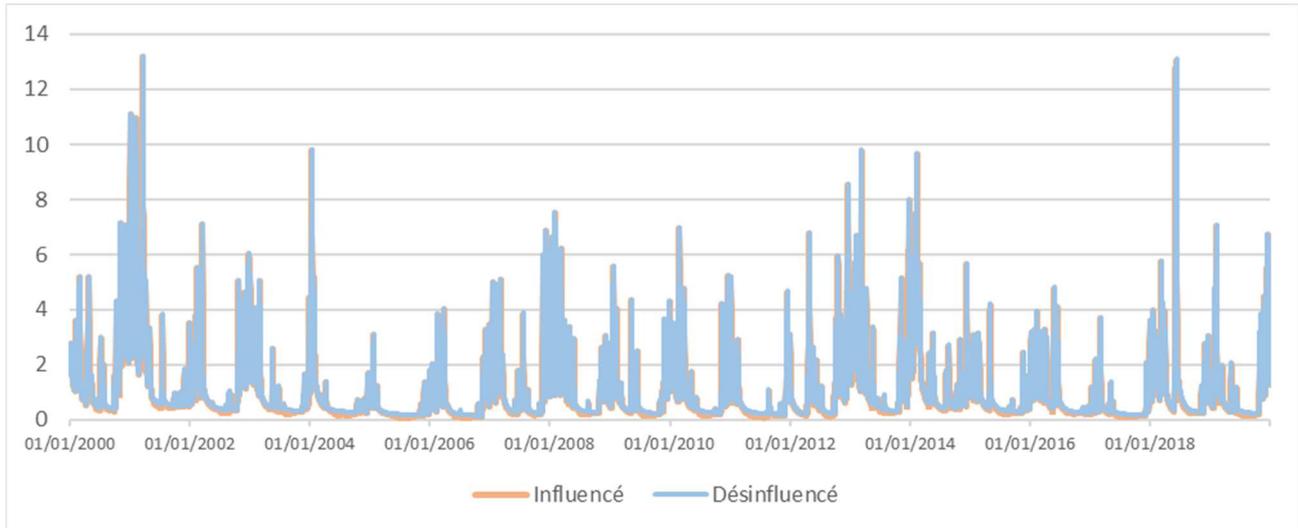
7.3.6 Orthe



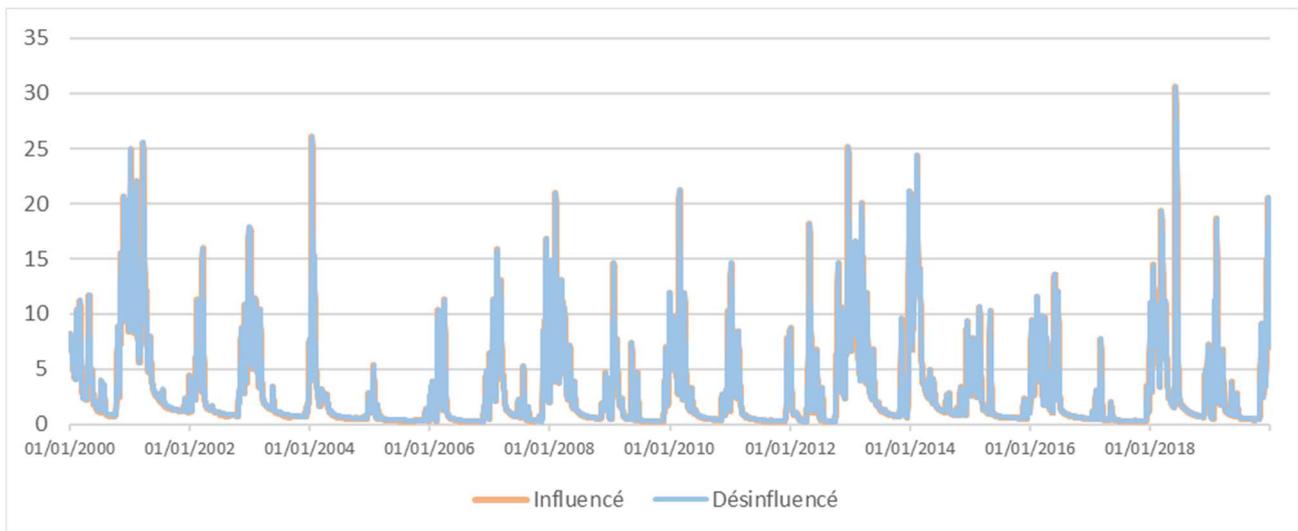
Phase 1 | Objectif 4 : Connaître l'état des ressources sans les prélèvements et rejets afin d'identifier leur fonctionnement sans activités anthropiques

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

7.3.7 Bienne



7.3.8 Orne Saosnoise



7.3.9 Sarthe intermédiaire

