

Analyse HMUC et propositions d'actions pour une gestion équilibrée et durable des ressources en eau sur le bassin du Fouzon dans le cadre du SAGE Cher aval

Phase 1 –Volet Hydrologie : Analyse du fonctionnement hydro(géo)logique du bassin en régimes influencé et désinfluencé des usages anthropiques



CONSULTING

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

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

Phase 1 –**Volet Hydrologie** : Analyse du fonctionnement hydro(géo)logique du bassin en régimes influencé et désinfluencé des usages anthropiques

Analyse HMUC et propositions d'actions pour une gestion équilibrée et durable des ressources en eau sur le bassin du Fouzon dans le cadre du SAGE Cher aval

Maître d'ouvrage : Etablissement Public Loire

Numéro du projet : 19NHF012

Intitulé du projet : Analyse HMUC et propositions d'actions pour une gestion équilibrée et durable des ressources en eau sur le bassin du Fouzon dans le cadre du SAGE Cher aval

Intitulé du rapport : Phase 1 –Volet Hydrologie : Analyse du fonctionnement hydro(géo)logique du bassin en régimes influencé et désinfluencé des usages anthropiques

Version	Rédacteur	Vérificateur	Date d'envoi	Commentaires
V 1.0	Max MENTHA	Florence DAUMAS	30/11/2020	Version initiale
V2	Max MENTHA	Florence DAUMAS	24/02/2021	Version corrigée à la suite du COTECH N°3
V3	Max MENTHA / Lise ENEZIAN	Max MENTHA	22/12/2021	Vérification et reprises des calculs suite à modifications du bilan des usages Version validée par la CLE lors de la réunion du 23 juin 2022

SOMMAIRE

1..... PRÉAMBULE	14
1.1 Contexte de l'étude	14
1.2 Périmètre du territoire d'étude	14
1.3 Objectifs de la Phase 1	16
1.4 Déroulement de la mission.....	16
2..... DÉFINITIONS PRÉALABLES.....	17
3..... CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES DU BASSIN VERSANT DU FOUZON.....	20
3.1 La ressource en eau superficielle.....	20
3.1.1 Le réseau hydrographique.....	20
3.1.2 Les masses d'eau superficielles	21
3.2 La ressource en eau souterraine	22
3.2.1 Le cadre géologique	22
3.2.2 Les formations aquifères	22
3.2.3 Les masses d'eaux souterraines	23
3.3 Le contexte climatique.....	26
3.3.1 Données utilisées	26
3.3.2 Pluviométrie.....	28
3.3.3 Évapotranspiration potentielle (ETP)	31
4..... ANALYSE DU FONCTIONNEMENT HYDROLOGIQUE DU BASSIN VERSANT DU FOUZON.....	33
4.1 Analyse des chroniques de débit journalier	33
4.1.1 Stations hydrométriques.....	33
4.1.2 Description du cycle annuel.....	38
4.1.3 Débits caractéristiques et évolution	39
4.1.4 Comparaison des débits en différents points du bassin versant.....	41

4.2 Réseau d'observation des écoulements	43
4.2.1 Principe du réseau ONDE de suivi des écoulements	43
4.2.2 Stations de suivis des écoulements sur la zone d'étude et analyse des écoulements	44
4.3 Analyse des situations de crise	46
4.3.1 Cadre général.....	46
4.3.2 Zone d'application et valeurs seuils.....	47
4.3.3 Historique des arrêtés sécheresse	48
5.....ANALYSE DU FONCTIONNEMENT HYDROGÉOLOGIQUE DU BASSIN VERSANT DU FOUZON.....	51
5.1 Suivi piézométrique	51
5.1.1 Points de suivi quantitatif	51
5.1.2 Analyse des chroniques piézométriques	64
5.2 Cartes piézométriques.....	70
5.2.1 Nappe du Turonien.....	70
5.2.2 Nappe du Cénomaniens – Albiens.....	70
5.2.3 Nappe du Jurassique supérieur.....	72
5.3 Relation nappe/rivière.....	72
5.3.1 Description générale des échanges nappe rivière.....	72
5.3.2 Quantification de la contribution des nappes.....	73
6.....DÉCOUPAGE DU BASSIN VERSANT EN UNITÉS DE GESTION	78
7.....RECONSTITUTION DE L'HYDROLOGIE DÉSINFLUENCÉE SUR L'ENSEMBLE DES UNITÉS DE GESTION	80
7.1 Objectif et principes généraux	80
7.2 Méthodologie générale déployée	81
7.2.1 Stratégie de modélisation	81
7.2.2 Reconstitution des débits influencés	81
7.2.3 Reconstitution des débits désinfluencés.....	82
7.3 Modèle hydrologique de référence	83

7.3.1	Construction du modèle.....	83
7.3.2	Calage sur la période 2000 - 2008	86
7.3.3	Validation sur la période 2009 - 2018	89
7.3.4	Qualité du calage.....	91
7.4	Modèle hydrologique de chaque unité de gestion.....	95
7.4.1	Construction des modèles	95
7.4.2	Validation des modèles	98
7.4.3	Synthèse sur la conformité des modèles.....	104
7.5	Analyse de l'hydrologie désinfluencée et impact des prélèvements actuels sur la ressource	105
7.5.1	Méthodologie.....	105
7.5.2	Présentation des résultats par unité de gestion.....	105
7.5.3	Comparaison avec d'autres résultats de modèles (OFB/INRAE)	138
7.6	Niveaux piézométriques minimaux.....	141
7.7	Analyse et synthèse des résultats	141
8.....	CONCLUSION ET SUITE DE L'ÉTUDE	144
9.....	GLOSSAIRE.....	145
10...ANNEXES.....	150
10.1	Annexe 1 : Analyse de l'homogénéité de la température mesurée à Romorantin avec le reste du territoire.....	150
10.2	Annexe 2 : Description de la solution de modélisation hydrologique employée	153
10.2.1	Le modèle Mike Hydro Basin : les principes théoriques	153
10.2.2	Calage du modèle : les principes généraux.....	156
10.2.3	Mesures adoptées en cas de manque de données	157
10.3	Annexe 3 : Analyse et quantification des incertitudes	157
10.3.1	Identification et caractérisation des incertitudes	158
10.3.2	Calcul de marges d'incertitudes	159
10.4	Mise en évidence des prélèvements souterrains exclus de la modélisation.....	160

Phase 1 –**Volet Hydrologie** : Analyse du fonctionnement hydro(géo)logique du bassin en régimes influencé et désinfluencé des usages anthropiques



Analyse HMUC et propositions d'actions pour une gestion équilibrée et durable des ressources en eau sur le bassin du Fouzon dans le cadre du SAGE Cher aval

Liste des figures

Figure 1 : Localisation du bassin versant (Source : EP Loire, IGN, SUEZ Consulting 2019)	15
Figure 2 : Réseau hydrographique et masses d'eau superficielles (Sources : EP Loire, BD Carthage, SUEZ Consulting 2020)	21
Figure 3 : Contexte géologique du bassin versant du Fouzon.....	22
Figure 4 : Aquifères du bassin du Fouzon.....	23
Figure 5 : Masses d'eau souterraines libres du bassin du Fouzon	24
Figure 6 : Localisation des stations météorologiques retenues pour l'étude (Source : Météo-France, EP Loire, SUEZ Consulting 2020).....	27
Figure 7 : Cumuls pluviométriques annuels par station de 2000 à 2018 (Sources : Météo France, SUEZ Consulting 2020)	28
Figure 8 : Mise en évidence de la relation cumul de précipitations vs altitude (Sources : Météo France, SUEZ Consulting 2020)	29
Figure 9 : Précipitations moyennes mensuelles pour chaque station sur la période 2000-2018 (Sources : Météo France, SUEZ Consulting 2020)	30
Figure 10 : Cumuls mensuels de chaque année de la période d'étude à la station de Romorantin (Sources : Météo France, SUEZ Consulting 2020)	30
Figure 11 : Evolution de l'ETP annuelle à la station de Romorantin (Sources : Météo France, SUEZ Consulting 2020).....	31
Figure 12 : ETP mensuelle moyenne à la station de Romorantin (Sources : Météo France, SUEZ Consulting 2020)	32
Figure 13 : Excédent et déficit pluviométrique mensuel moyen aux stations météorologiques retenues (Sources : Météo France, SUEZ Consulting 2020)	32
Figure 14 : Localisation des stations hydrométriques de la DREAL CLV sur le bassin du Fouzon (Sources : EP Loire, Banque Hydro, SUEZ Consulting 2020)	35
Figure 15 : Localisation des stations hydrométriques du CTB Fouzon sur le bassin du Fouzon (Sources : EP Loire, SMPVB, TERRAQUA, SUEZ Consulting 2020)	37
Figure 16 Le Fouzon à Meusnes - Débits moyens mensuels interannuels (m ³ /s) (Sources : Banque Hydro, SUEZ Consulting 2020)	38
Figure 17 : Le Fouzon à Meusnes - Stationnarité des débits caractéristiques d'étiage de 1970 à 2019 (Sources : Banque Hydro, SUEZ Consulting 2020)	40
Figure 18 : Le Fouzon à Meusnes - Evolution du débit moyen annuel de 1970 à 2019 (Sources : Banque Hydro, SUEZ Consulting 2020)	41
Figure 19 : Débits moyens mensuels spécifiques au niveau des 5 stations du CTB Fouzon et de la station du Fouzon à Meusnes (Sources : SMPVB, Terraqua, Banque Hydro, SUEZ Consulting 2020)	42
Figure 20 : Evolution du débit moyen journalier en fonction de la surface drainée au niveau des 5 stations du CTB Fouzon et de la station du Fouzon à Meusnes (Sources : SMPVB, Terraqua, Banque Hydro, SUEZ Consulting 2020).....	42
Figure 21 : Débit moyen journalier (décembre 2017 – avril 2019) vs. Surface drainée au niveau des différentes station hydrométriques (sources : CTBF, Banque Hydro)	43
Figure 22 : BV Fouzon - Localisation des stations ONDE et bilan 2012-2019 des observations (Sources : EP Loire, OFB, SUEZ Consulting 2020)	45
Figure 23 : BV Fouzon – Carte des arrêtés sécheresse au 1 ^{er} des mois de juillet à novembre de 2012 à 2015 (Sources : Propluvia, SUEZ Consulting 2020)	49
Figure 24 : BV Fouzon – Carte des arrêtés sécheresse au 1 ^{er} des mois de juillet à novembre de 2016 à 2019 (Sources : Propluvia, SUEZ Consulting 2020)	50
Figure 25 : Localisation des points BSS recensés sur le bassin versant (hors ouvrages rebouchés, remblayés, et forages de recherche d'hydrocarbures).....	53
Figure 26 : Localisation des points BSS pour lesquels la nappe captée est identifiée (177 points)	54
Figure 27 : Localisation des points mesurés y compris en eau superficielle (64 ouvrages souterrains et 21 points en rivière)	55
Figure 28 : Localisation des points mesurés y compris en eau superficielle (68 ouvrages souterrains et 21 points en rivière)	56
Figure 29 : Masse d'eau FRGG109 - Nappe alluviale du Cher	58
Figure 30 : Masse d'eau FRGG093 - Aquifère des Calcaires de Beauce et points d'eau mesurés associés	59
Figure 31 : Masse d'eau FRGG085 - Aquifère du Sénonien – Turonien et points d'eau associés mesurés.....	60
Figure 32 : Masse d'eau FRGG122 / FRGG142 – Aquifères libre et captif du Cénomaniens – Albien et points associés mesurés.....	61
Figure 33 : Masse d'eau FRGG076 / FRGG073 - Aquifères libre et captif du Jurassique supérieur	62
Figure 34 : Points de mesure en eau superficielle (rivière).....	63
Figure 35 : Localisation des points de suivis piézométriques ADES	64
Figure 36 : Chroniques piézométriques des points de suivi associés à la masse d'eau FRGG085 (source : ADES) – voir Figure 37 pour le zoom sur la chronique du point BSS 04905X0053/P	65
Figure 37 : Chronique piézométrique du point BSS 04905X0053/P (source : ADES).....	66
Figure 38 : Chronique piézométrique du point de suivi associé à la masse d'eau FRGG122 (source : ADES).....	67
Figure 39 : Chroniques piézométriques des points de suivi associés.....	68

Analyse HMUC et propositions d’actions pour une gestion équilibrée et durable des ressources en eau sur le bassin du Fouzon dans le cadre du SAGE Cher aval

Figure 40 : Chroniques piézométriques des points de suivi associés à la masse d’eau FRGG076 (source : ADES).....	69
Figure 41 : Carte piézométrique de la nappe du Turonien sur le secteur d’études, d’après la campagne piézométrique de septembre 2019 (basses eaux).....	70
Figure 42 : Carte piézométrique de la nappe du Cénomaniens-Albien sur le secteur d’études, d’après la campagne piézométrique de septembre 2019 (basses eaux).....	71
Figure 43 : Carte piézométrique de la nappe du Jurassique supérieur sur le secteur d’études, d’après la campagne piézométrique de septembre 2019 (basses eaux).....	72
Figure 44 : Localisation des stations hydrométriques utilisées.....	74
Figure 45 : Schéma conceptuel du filtre de Chapman.....	75
Figure 46 : Résultats de la décomposition de l’hydrogramme de débit de la station n°1 – Fouzon amont.....	76
Figure 47 : Résultats de la décomposition de l’hydrogramme de débit de la station n°5 – Renon aval.....	76
Figure 48 : Résultats de la décomposition de l’hydrogramme de débit de la station « Gué du Loup ».....	77
Figure 49 : Périmètre de l’étude et unités de gestion (Sources : EP Loire, COTECH étude HMUC, SUEZ Consulting, 2019).....	79
Figure 50 : Principe méthodologique de reconstitution des débits influencés (Sources : SUEZ Consulting, 2019).....	82
Figure 51 : Principe méthodologique de reconstitution des débits désinfluencés (Sources : SUEZ Consulting, 2019).....	82
Figure 52 : Schématisation des données d’entrée et de calage pour la modélisation hydrologique au niveau de la station hydrométrique de Meusnes (Source : DHI, SUEZ Consulting, 2020).....	84
Figure 53 : Représentation cartographique des données d’entrée et de calage de la modélisation hydrologique au niveau de la station hydrométrique de Meusnes (Sources : EP Loire, Banque Hydro, ADES, Météo France, SUEZ Consulting, 2020).....	85
Figure 54 : Comparaison des QMNA simulés et observés sur la période de calage 2000 – 2008 (Sources : Banque Hydro, SUEZ Consulting, 2020).....	87
Figure 55 : Erreur relative d’estimation des QMNA sur la période de calage (2000 – 2008) (Sources : Banque Hydro, SUEZ Consulting, 2020).....	88
Figure 56 : Comparaison de la chronique de débits moyens mensuels simulée et observée sur la période de calage (2000 - 2008) (Sources : Banque Hydro, SUEZ Consulting, 2020).....	88
Figure 57 : Comparaison de la chronique piézométrique journalière simulée et observée sur la période de calage (2000 - 2008) (Sources : ADES, SUEZ Consulting, 2020).....	89
Figure 58 : Comparaison des QMNA simulés et observés sur la période de validation (2009 - 2018) (Sources : Banque Hydro, SUEZ Consulting, 2020).....	90
Figure 59 : Erreur relative d’estimation des QMNA sur la période de validation (2009 - 2018) (Sources : Banque Hydro, SUEZ Consulting, 2020).....	90
Figure 60 : Comparaison de la chronique de débits moyens mensuels simulée et observée sur la période de validation (2009 - 2018) (Sources : Banque Hydro, SUEZ Consulting, 2020).....	91
Figure 61 : Comparaison de la chronique piézométrique journalière simulée et observée sur la période de validation (2009 - 2018) (Sources : ADES, SUEZ Consulting, 2020).....	91
Figure 62 : Comparaison des QMNA simulés et observés sur la période d’analyse complète (2000 – 2018) (Sources : Banque Hydro, SUEZ Consulting, 2020).....	93
Figure 63 : Erreur relative d’estimation des QMNA sur la période d’analyse complète (2000 – 2018) (Sources : Banque Hydro, SUEZ Consulting, 2020).....	93
Figure 64 : Comparaison des débits mensuels quinquennaux secs simulés et observés sur la période d’analyse complète (2000 – 2018) (Sources : Banque Hydro, SUEZ Consulting, 2020).....	94
Figure 65 : Comparaison de la chronique de débits moyens mensuels simulée et observée sur la période d’analyse complète (2000 – 2018) (Sources : Banque Hydro, SUEZ Consulting, 2020).....	94
Figure 66 : Comparaison de la chronique piézométrique journalière simulée et observée sur la période d’analyse complète (2000 – 2018).....	95
Figure 67 : Représentation cartographique des données d’entrée et de calage de la modélisation hydrologique au niveau des unités de gestion du territoire d’étude (Sources : EP Loire, SMPVB, ADES, Météo France, SUEZ Consulting 2020).....	97
Figure 68 : Fouzon amont - Comparaison de la chronique piézométrique journalière simulée et observée (BSS001KFUV) sur la période d’analyse complète (2000 – 2018) (Sources : ADES, SUEZ Consulting, 2020).....	98
Figure 69 : Fouzon médian - Comparaison de la chronique hydrométrique simulée et observée (station 1 CTBF) sur la période de disponibilité de mesures (déc. 2017 – déc. 2018) (Sources : SMPVD, Terraqua, SUEZ Consulting, 2020).....	99
Figure 70 : Fouzon médian - Comparaison de la chronique piézométrique simulée et observée (BSS001HTAM) sur la période d’analyse complète (2000 – 2018) (Sources : ADES, SUEZ Consulting, 2020).....	99
Figure 71 : Pozon - Comparaison de la chronique piézométrique simulée et observée (BSS001KFHD) sur la période d’analyse complète (2000 – 2018) (Sources : ADES, SUEZ Consulting, 2020).....	100
Figure 72 : Saint-Martin - Comparaison de la chronique hydrométrique simulée et observée (station 3 CTBF) sur la période de disponibilité de mesures (déc. 2017 – déc. 2018) (Sources : SMPVD, Terraqua, SUEZ Consulting, 2020).....	101
Figure 73 : Saint-Martin - Comparaison de la chronique piézométrique simulée et observée (BSS001KFHD) sur la période d’analyse complète (2000 – 2018) (Sources : ADES, SUEZ Consulting, 2020).....	101

Figure 74 : Renon - Comparaison de la chronique hydrométrique simulée et observée (station 5) sur la période de disponibilité de mesures (déc. 2017 – déc. 2018) (Sources : SMPVD, Terraqua, SUEZ Consulting, 2020).....	102
Figure 75 : Renon - Comparaison de la chronique piézométrique simulée et observée (BSS001HSRU) sur la période d’analyse complète (2000 – 2018) (Sources : ADES, SUEZ Consulting, 2020).....	102
Figure 76 : Céphons - Comparaison de la chronique hydrométrique simulée et observée (station 6) sur la période de disponibilité de mesures (déc. 2017 – déc. 2018) (Sources : SMPVD, Terraqua, SUEZ Consulting, 2020).....	103
Figure 77 : Céphons - Comparaison de la chronique piézométrique simulée et observée (BSS001LNJT) sur la période d’analyse complète (2000 – 2018).....	103
Figure 78 : Nahon - Comparaison de la chronique piézométrique simulée et observée (BSS001HSRU) sur la période d’analyse complète (2000 – 2018).....	104
Figure 79 : Fouzon amont - Débits mensuels quinquennaux secs en régimes influencé et désinfluencé (Sources : SUEZ Consulting 2020).....	107
Figure 80 : Fouzon amont – nombre moyen de jours de bas et très bas débits sur chaque mois de l’année (Sources : SUEZ Consulting 2020).....	109
Figure 81 : Fouzon médian - Débits mensuels quinquennaux secs en régimes influencé et désinfluencé (Sources : SMPVB, Terraqua, SUEZ Consulting 2020).....	111
Figure 82 : Fouzon amont – nombre moyen de jours de bas et très bas débits sur chaque mois de l’année (Sources : SUEZ Consulting 2020).....	113
Figure 83 : Pozon - Débits mensuels quinquennaux secs en régimes influencé et désinfluencé (Sources : SUEZ Consulting 2020)....	115
Figure 84 : Fouzon amont – nombre moyen de jours de bas et très bas débits sur chaque mois de l’année (Sources : SUEZ Consulting 2020).....	117
Figure 85 : Saint-Martin - Débits mensuels quinquennaux secs en régimes influencé et désinfluencé (Sources : SMPVB, Terraqua, SUEZ Consulting 2020).....	119
Figure 86 : Fouzon amont – nombre moyen de jours de bas et très bas débits sur chaque mois de l’année (Sources : SUEZ Consulting 2020).....	121
Figure 87 : Renon - Débits mensuels quinquennaux secs en régimes influencé et désinfluencé (Sources : SMPVB, Terraqua, SUEZ Consulting 2020).....	123
Figure 88 : Fouzon amont – nombre moyen de jours de bas et très bas débits sur chaque mois de l’année (Sources : SUEZ Consulting 2020).....	125
Figure 89 : Céphons - Débits mensuels quinquennaux secs en régimes influencé et désinfluencé (Sources : SMPVB, Terraqua, SUEZ Consulting 2020).....	127
Figure 90 : Fouzon amont – nombre moyen de jours de bas et très bas débits sur chaque mois de l’année (Sources : SUEZ Consulting 2020).....	129
Figure 91 : Nahon - Débits mensuels quinquennaux secs en régimes influencé et désinfluencé (Sources : SUEZ Consulting 2020)....	131
Figure 92 : Fouzon amont – nombre moyen de jours de bas et très bas débits sur chaque mois de l’année (Sources : SUEZ Consulting 2020).....	133
Figure 93 : Fouzon aval - Débits mensuels quinquennaux secs en régime influencé et désinfluencé (Sources : Banque hydro, SUEZ Consulting 2020).....	135
Figure 94 : Fouzon amont – nombre moyen de jours de bas et très bas débits sur chaque mois de l’année (Sources : SUEZ Consulting 2020).....	137
Figure 95 : Cartographie nationale des débits moyens et des débits d’étiage sur la France (Sources : INRAE, OFB, 2012).....	138
Figure 96 : Comparaison graphique des QMNA5 désinfluencés calculés par l’INRAE/OFB et par SUEZ Consulting (Sources : INRAE, OFB, SUEZ Consulting 2020).....	140
Figure 97 : Comparaison graphique des modules désinfluencés calculés par l’INRAE/OFB et par SUEZ Consulting (Sources : INRAE, OFB, SUEZ Consulting 2020).....	141
Figure 98 : BV Fouzon – Analyse des pressions de prélèvements et de rejets par unité de gestion (Sources : EP Loire, COTECH HMUC Fouzon, Banque Hydro, SMPVB, Terraqua, SUEZ Consulting 2020).....	143
Figure 99 : Comparaison entre les stations météorologiques du territoire des maxima journaliers de chaque mois de température moyennés sur plusieurs années (Sources : Météo France, EP Loire, SUEZ Consulting 2020).....	150
Figure 100 : Comparaison entre les stations météorologiques du territoire des moyennes de chaque mois de température moyennés sur plusieurs années (Sources : Météo France, EP Loire, SUEZ Consulting 2020).....	151
Figure 101 : Comparaison entre les stations météorologiques du territoire des minima journaliers de chaque mois de température moyennés sur plusieurs années (Sources : Météo France, EP Loire, SUEZ Consulting 2020).....	151
Figure 102 : Comparaison entre les stations météorologiques du territoire du nombre moyen de jours à plus de 30°C de chaque mois moyennés sur plusieurs années (Sources : Météo France, EP Loire, SUEZ Consulting 2020).....	152
Figure 103 : Comparaison entre les stations météorologiques du territoire des degrés jours unifiés de chaque mois moyennés sur plusieurs années (Sources : Météo France, EP Loire, SUEZ Consulting 2020).....	152
Figure 104 : Illustration du grand cycle de l’eau.....	154
Figure 105 : Illustration des processus pris en compte par la modélisation.....	154

Analyse HMUC et propositions d'actions pour une gestion équilibrée et durable des ressources en eau sur le bassin du Fouzon dans le cadre du SAGE Cher aval

Figure 106 : Schéma conceptuel de la modélisation hydrologique. (Processus entourés en vert = données d'entrée. Processus en rouge = variables de sortie)	155
Figure 107 : Représentation schématique de l'architecture de Mike Hydro Basin	155
Figure 108 : Localisation des points de captage AEP exclus de la modélisation hydrologique	161
Figure 109 : Localisation des points de captage d'irrigation exclus de la modélisation hydrologique.....	162

Liste des tableaux

Tableau 1 : Masses d’eau superficielles du territoire.....	21
Tableau 2 : Masses d’eau souterraine du territoire	23
Tableau 3 : Caractéristiques et périodes de mesures des stations météorologiques retenues (Sources : Météo-France).....	26
Tableau 4 : Cumul pluviométrique moyen interannuel sur la période 2000-2018 (Sources : Météo France, SUEZ Consulting 2020).....	28
Tableau 5 : Cumul pluviométrique moyen interannuel sur la période 2000-2018 et altitude des stations météorologiques (Sources : Météo France, SUEZ Consulting 2020)	29
Tableau 6 : Stations hydrométriques sur le bassin versant du Fouzon (Sources : Banque Hydro).....	33
Tableau 7 : Indicateurs de la qualité des mesures de débits à la station hydrométrique du Fouzon à Meusnes [Gué de Meusnes et Gué au Loup](Sources : Banque Hydro).....	34
Tableau 8 : Stations gérées par le SMPVB dans le cadre du Contrat territorial de Bassin du Fouzon (Sources : SMPVB, Terraqua, SUEZ Consulting 2020)	36
Tableau 9 : Débits moyens mensuels interannuels à la station hydrométrique de Meusnes sur le Fouzon (Source : Banque Hydro)	38
Tableau 10 : Le Fouzon à Meusnes - Débits caractéristiques calculés sur la période 1970 – 2020) (Sources : Banque Hydro, SUEZ Consulting 2020)	39
Tableau 11 : BV Fouzon - Stations ONDE (Sources : www.onde.eaufrance.fr).....	44
Tableau 12 : Tableau récapitulatif des stations ONDE.....	46
Tableau 13 : BV Fouzon – Stations et débits seuils de gestion de crise (Source : AP n° 36-2018-06-15-014 du 15 juin 2018)	47
Tableau 14 : Répartition des points d’eau à investiguer sur le bassin versant par aquifère	51
Tableau 15 : Répartition des points d’eau investigués sur le bassin versant par aquifère	55
Tableau 16 : Répartition des points d’eau à investiguer sur le bassin versant par aquifère	56
Tableau 17 : Répartition des points d’eau utilisés pour la carte piézométrique sur le bassin versant par aquifère.....	57
Tableau 18 : Points de suivis piézométriques ADES.....	64
Tableau 19 : Estimation de la médiane et des percentiles 20 et 80 des valeurs de « BaseFlowIndex » pour les principales stations.....	77
Tableau 20 : Présentation des critères de performance (période de calage 2000 – 2008) (Source : SUEZ Consulting, 2020)	86
Tableau 21 : Présentation des métriques de calage (période de calage 2000 – 2008) (Source : SUEZ Consulting, 2020).....	87
Tableau 22 : Présentation des critères de performance (période de validation 2009 - 2018) (Source : SUEZ Consulting, 2020)	89
Tableau 23 : Présentation des métriques de calage (période de validation 2009 - 2018) (Source : SUEZ Consulting, 2020).....	90
Tableau 24 : Présentation des critères de performance (période d’analyse complète 2000 - 2018) (Source : SUEZ Consulting, 2020).....	92
Tableau 25 : Présentation des métriques de calage (période d’analyse complète 2000 - 2018) (Source : SUEZ Consulting, 2020).....	92
Tableau 26 : Sélection des stations hydrométriques et piézométriques de validation pour chaque unité de gestion (Source : Banque Hydro, SMPVB, Terraqua, ADES, SUEZ Consulting, 2020)	96
Tableau 27 : Fouzon amont - Indicateurs d’étéage en régimes influencé et désinfluencé (Sources : SUEZ Consulting 2020).....	106
Tableau 28 : Fouzon amont - Débits mensuels quinquennaux secs en régimes influencé et désinfluencé (Sources : SUEZ Consulting 2020)	107
Tableau 29 : Fouzon médian - Indicateurs d’étéage en régimes influencé et désinfluencé (Sources : SMPVB, Terraqua, SUEZ Consulting 2020)	110
Tableau 28 : Fouzon médian - Débits mensuels quinquennaux secs en régimes influencé et désinfluencé (Sources : SUEZ Consulting 2020)	111
Tableau 30 : Pozon - Indicateurs d’étéage en régimes influencé et désinfluencé (Sources : SUEZ Consulting 2020)	114
Tableau 28 : Pozon - Débits mensuels quinquennaux secs en régimes influencé et désinfluencé (Sources : SUEZ Consulting 2020)	115
Tableau 31 : Saint-Martin - Indicateurs d’étéage en régimes influencé et désinfluencé (Sources : SMPVB, Terraqua, SUEZ Consulting 2020)	118
Tableau 28 : Saint-Martin - Débits mensuels quinquennaux secs en régimes influencé et désinfluencé (Sources : SUEZ Consulting 2020)	119
Tableau 32 : Renon - Indicateurs d’étéage en régimes influencé et désinfluencé (Sources : SMPVB, Terraqua, SUEZ Consulting 2020)	122
Tableau 28 : Renon - Débits mensuels quinquennaux secs en régimes influencé et désinfluencé (Sources : SUEZ Consulting 2020)	123
Tableau 33 : Céphons - Indicateurs d’étéage en régimes influencé et désinfluencé (Sources : SMPVB, Terraqua, SUEZ Consulting 2020)	126
Tableau 28 : Céphons - Débits mensuels quinquennaux secs en régimes influencé et désinfluencé (Sources : SUEZ Consulting 2020)	127
Tableau 34 : Nahon - Indicateurs d’étéage en régimes influencé et désinfluencé (Sources : SUEZ Consulting 2020).....	130
Tableau 28 : Nahon - Débits mensuels quinquennaux secs en régimes influencé et désinfluencé (Sources : SUEZ Consulting 2020)	131

Phase 1 –Volet Hydrologie : Analyse du fonctionnement hydro(géo)logique du bassin en régimes influencé et désinfluencé des usages anthropiques

Analyse HMUC et propositions d'actions pour une gestion équilibrée et durable des ressources en eau sur le bassin du Fouzon dans le cadre du SAGE Cher aval

Tableau 35 : Fouzon aval - Indicateurs d'étiage en régime influencé et désinfluencé (Sources : Banque hydro, SUEZ Consulting 2020)	134
Tableau 28 : Fouzon aval - Débits mensuels quinquennaux secs en régimes influencé et désinfluencé (Sources : SUEZ Consulting 2020)	135
Tableau 36 : QMNA5 désinfluencés calculés par l'INRAE/OFB et par SUEZ Consulting par unité de gestion (Sources : INRAE, OFB, SUEZ Consulting 2020)	139
Tableau 37 : Modules désinfluencés calculés par l'INRAE/OFB et par SUEZ Consulting par unité de gestion (Sources : INRAE, OFB, SUEZ Consulting 2020)	140
Tableau 38 : Nombre de jours, de jours de très bas débits (<QMNA5) et de bas débit (<QMNA2) en régime influencé et désinfluencé, sur le mois de plus faible hydraulicité, en moyenne sur la période 2000-2018	142
Tableau 39 : Identification des captages AEP exclus de la modélisation	160
Tableau 40 : Identification des captages d'irrigation exclus de la modélisation	160

Acronymes

ADES	Portail national d'Accès aux Données sur les Eaux Souterraines
AELB	Agence de l'Eau Loire-Bretagne
AEP	Alimentation en Eau Potable
ANC	Assainissement Non Collectif
AP	Arrêté Préfectoral
API 36	Association des Professionnels de l'Irrigation de l'Indre
AURELHY	Méthode d'Analyse Utilisant le RELief pour les besoins de l'HYdrométéorologie
BDD	Base de Données
BD ERU	Base de Données Eaux Résiduaires Urbaines
BD SISPEA	Base de Données de l'observatoire des données sur les services publics d'eau et d'assainissement
BUT	Besoin unitaire théorique
BV	Bassin Versant
CA 36	Chambre d'Agriculture de l'Indre
CLE	Commission Locale de l'Eau
COTECH	Comité TECHnique
CTB	Contrat territorial de bassin
DAR	Débit d'Alerte Renforcée
DCE	Directive Cadre sur l'Eau
DCR	Débit de Crise
DDCSPP	Direction Départementale de la Cohésion Sociale et de la Protection des Populations
DDT	Direction Départementale des territoires
DOE	Débit Objectif d'Etiage
DRAAF	Direction Régionale de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Forêt
DREAL	Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement
DSA	Débit Seuil d'Alerte
DSP	Délégation de Service Public
EDL	Etat des lieux
EP Loire	Etablissement Public Loire
ETP	EvapoTranspiration Potentielle
HMUC	Hydrologie Milieux Usages Climat
GDMA 36	Groupeement de Défense contre les Maladies des Animaux de l'Indre
ICPE	Installation Classée pour la Protection de l'Environnement
MESO	Masses d'eau souterraines
NAM	Nedbor – Afstromnings Model (Module MIKE Basin)
NGF	Nivellement Général de la France
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
RAD	Rapport Annuel du Délégué
RGA	Recensement Général Agricole
RPG	Registre Parcellaire Graphique
RPQS	Rapport sur le Prix et la Qualité des Services
SAGE	Schéma d'Aménagement et de Gestion de l'Eau
SDAGE	Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux
SIE	Syndicat Intercommunal des Eaux
SIAEP	Syndicat Intercommunal d'Adduction en Eau Potable
SIVOM	Syndicat Intercommunal à Vocations Multiples
UG	Unité de Gestion
VCN	Volume Consécutif miNimal
ZRE	Zone de Répartition des Eaux

1 PRÉAMBULE

1.1 Contexte de l'étude

Les cours d'eau du bassin versant du Fouzon connaissent des étiages d'une sévérité parfois marquée, constatée par les acteurs du territoire. La connaissance précise des débits n'existe qu'à l'exutoire du bassin du Fouzon ; les affluents, notamment en tête de bassin, semblent quant à eux plus fréquemment sujets à des étiages sévères (assecs et ruptures d'écoulement régulièrement observés sur le Fouzon, le Céphons et le Meunet notamment).

Ces étiages sont aggravés par la pression des prélèvements : alimentation en eau potable (AEP), activité industrielle, irrigation et abreuvement sont les principaux usages consommateurs d'eau sur le territoire. Des mesures de restriction des prélèvements d'eau (arrêtés préfectoraux) sont donc régulièrement mises en œuvre pour réduire temporairement cette pression sur les cours d'eau. Depuis quelques années, la profession agricole (en lien avec les services de l'Etat) s'est mobilisée pour mettre en place une gestion collective des prélèvements en eaux de surface, prévoyant la mise en place de tours d'eau lorsque c'est nécessaire afin de réguler cette pression dans le temps. Cependant, les crises restent récurrentes : il s'agit d'une insuffisance chronique de la ressource (superficielle et souterraine) par rapport aux usages actuels.

Les services de l'Etat ayant appelé à une réflexion de fond sur cette problématique et le SAGE semblant être le bon outil pour mener cette réflexion, la Commission Locale de l'Eau a souhaité que soit engagée une étude spécifique pour mieux comprendre le fonctionnement hydrologique du bassin versant, mieux y évaluer la disponibilité des ressources en eau et identifier les moyens pour rétablir l'équilibre entre les besoins et la ressource disponible. Cette étude est à mener conformément à la méthodologie « Hydrologie, Milieux, Usages, Climat » (dite H.M.U.C.), recommandée par la disposition 7A-2 du SDAGE Loire-Bretagne 2016-2021.

A l'issue de cette étude, dans le cadre de l'élaboration du SDAGE Loire-Bretagne 2022-2027, voire d'une révision du SAGE au sens de l'article L212-7 du code de l'environnement, la Commission Locale de l'Eau doit être en mesure de déterminer des préconisations de gestion de la ressource en eau sur le bassin versant du Fouzon : installation de stations hydrologiques pérennes, définition d'objectifs de débits complémentaires à ceux figurant dans le SDAGE ou révision des objectifs existants, réflexion sur les débits d'alerte et de crise, définition de volumes prélevables, etc.

1.2 Périmètre du territoire d'étude

Le périmètre de l'étude est le périmètre du **bassin versant du Fouzon**, cours d'eau s'écoulant sur les départements du Cher, de l'Indre et du Loir-et-Cher. D'une superficie d'environ **1 000 km²**, il se situe sur le bassin Loire-Bretagne et il englobe un **réseau hydrographique important de 610 km** (BD Hydro IGN) dont les principaux cours d'eau sont :

- ❖ Le Fouzon ;
- ❖ Ses affluents d'aval en amont :
 - Le Petit Rhône ;
 - Le Nahon ;
 - Le Renon ;
 - Le Pozon.
- ❖ Les sous-affluents suivants :
 - Le Céphons (affluent du Nahon) ;
 - Le Saint-Martin (affluent du Renon).

Le territoire concerne **dix masses d'eau superficielles et sept masses d'eau souterraines** reconnues par le contexte réglementaire (atteinte du bon état des eaux) de la Directive Cadre sur l'Eau (DCE). Les cours d'eau de ce bassin versant sont soumis aux dispositions du Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE) du Cher aval. Ce réseau hydrographique connaît des **étiages marqués** en raison de plusieurs facteurs, dont les prélèvements importants de la ressource et les modifications conséquentes de la morphologie des linéaires (recalibrage, rectification, reprofilage, ...).

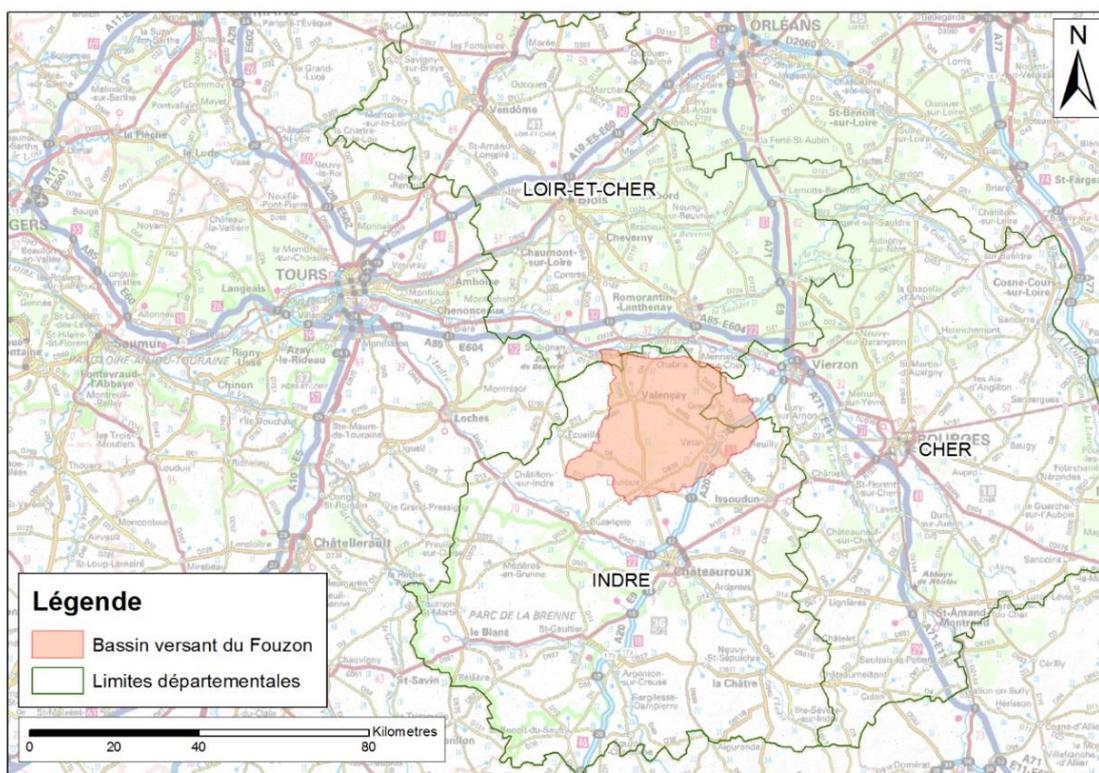


Figure 1 : Localisation du bassin versant (Source : EP Loire, IGN, SUEZ Consulting 2019)

Les communes dont la superficie sur le bassin versant du Fouzon est inférieure à 1 km² ont été retirées de l'étude : la superficie cumulée non prise en compte représente 0,2% du bassin versant.

Les communes concernées sont les suivantes :

- Villegouin (2 ha sur BV)
- St Julien-sur-Cher (4 ha sur BV)
- St Loup (5 ha sur BV)
- Dampierre-en-Graçay (8 ha sur BV)
- Villegongis (9 ha sur BV)
- Selles-sur-Cher (29 ha sur BV)
- La Champenoise (70 ha sur BV)
- Couffy (77 ha sur BV).

Ainsi, l'étude HMUC, et notamment le bilan des usages, est menée sur **57 communes**.

1.3 Objectifs de la Phase 1

L'étude détaille le **fonctionnement hydrologique et hydrogéologique du bassin**, et s'intéresse particulièrement aux relations nappes-rivières et aux usages (plans d'eau, prélèvements, ...). Elle définit des débits biologiques, qui intègrent le débit minimum d'une rivière pour garantir la vie, la circulation et la reproduction des espèces y vivant. Ces débits minimums sont établis en étiage et en période hivernale. Ces débits doivent être comparés aux débits statistiques et notamment au QMNA5.

L'étude devra répondre aux **objectifs suivants** :

- ▶ **Synthétiser, actualiser et compléter les connaissances** et analyses déjà disponibles sur le bassin versant du Fouzon, au regard des 4 volets « H.M.U.C. » ;
- ▶ **Rapprocher et croiser les 4 volets « H.M.U.C. »** afin d'établir un diagnostic hydrologique permettant de caractériser la nature et les causes des assecs relevés sur le bassin ;
- ▶ **Elaborer des propositions d'actions** pour une gestion équilibrée et durable des ressources en eau dans un contexte de changement climatique ;
- ▶ En fonction des résultats, proposer et permettre un choix explicite de la CLE sur les **adaptations possibles à apporter aux dispositions du SDAGE** (suivi hydrologique, conditions estivales de prélèvement, valeurs de DOE/DSA/DCR, etc.).

1.4 Déroulement de la mission

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

- ❖ **Phase 1 : Etat des lieux / Synthèse et actualisation des éléments « H.M.U.C. »**
 - Volet « Hydrologie / Hydrogéologie »
 - Volet « Milieux »
 - Volet « Usages »
 - Volet « Climat »
- ❖ **Phase 2 : Diagnostic / Croisement des 4 volets « H.M.U.C. »**
- ❖ **Phase 3 : Proposition d'actions et d'adaptation du SDAGE**

Le présent document constitue le rapport du volet « Hydrologie » de la Phase 1.

L'objectif de ce volet est de :

- ⇒ **Caractériser la ressource en eau actuelle ainsi que le fonctionnement hydrologique du bassin versant ;**
- ⇒ **Reconstituer l'hydrologie désinfluencée des usages anthropiques de l'eau et la comparer à l'hydrologie influencée.**

2 DÉFINITIONS PRÉALABLES¹

❖ **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 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.

❖ **Basses eaux**

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

❖ **Etiage**

D'après les sources consultées, une certaine ambiguïté subsiste quant à la définition du terme « étiage ». Ces dernières convergent toutefois vers les notions suivantes :

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

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

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.

¹ Sources :

- <http://www.glossaire-eau.fr/>
- Claire Lang Delus, « Les étiages : définitions hydrologique, statistique et seuils réglementaires », Cybergeog : 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

❖ **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**

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

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

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

- Le QMNA de l'année 2010 correspond au débit mensuel (calendaire) le plus bas de l'année 2010 ;

- Le VCN10 de l'année 2011 correspond au plus bas débit calculé sur 10 jours consécutifs de l'année 2011.

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

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

Dans le cadre de la présente étude, une gamme de débits caractéristiques d'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.

3 CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES DU BASSIN VERSANT DU FOUZON

3.1 La ressource en eau superficielle

3.1.1 Le réseau hydrographique

D'une superficie d'environ **1 000 km²**, le bassin versant du Fouzon est drainé par un **réseau hydrographique important de 610 km** (BD Hydro IGN) réparti principalement en rive gauche de ce dernier.

L'axe principal, le Fouzon, prend sa source à Nohant-en-Graçay, dans le Cher. Après un parcours de près de 60 km à travers les départements du Cher et de l'Indre, le Fouzon conflue avec le Cher en rive gauche de ce dernier, entre les communes de Couffy et de Châtillon-sur-Cher, dans le Loir-et-Cher.

80 km plus en aval, le Cher rejoint la Loire en rive gauche de cette dernière dans la commune de Villandry, dans le département d'Indre-et-Loire, juste à l'Ouest de Tours.

Le Fouzon ne fait pas partie du domaine public fluvial navigable.

Les autres principaux cours d'eau du bassin versant d'amont en aval sont :

- Le Pozon : il prend sa source dans la commune de Vatan et se jette en rive gauche du Fouzon 18 km plus loin entre les communes de Graçay et de Saint-Outrille ;
- Le Renon : prenant sa source dans la commune de Liniez, il constitue le deuxième plus grand affluent du Fouzon avec une longueur de 32 km. Il se jette dans le Fouzon en rive gauche de ce dernier entre les communes de Sembleçay et de Val Fouzon ;
- Le Nahon : il s'agit du plus long affluent du Fouzon. Il prend sa source dans la commune de Heugnes et rejoint le Fouzon 42 km plus loin entre les communes de Val-Fouzon et Menetou-sur-Nahon, en rive gauche de ce dernier ;
- Le Petit Rhône : d'une longueur de 6 km, le petit Rhône prend sa source dans la commune de Fontguenand et se jette dans le Fouzon en rive gauche de ce dernier dans la commune de la Vernelle.

Parmi les cours d'eau secondaires, peuvent être cités :

- Le Céphons (affluent rive droite du Nahon) ;
- Le Saint-Martin (affluent rive droite du Renon).

3.1.2 Les masses d’eau superficielles

Le bassin versant comporte 10 masses superficielles présentées dans le tableau suivant :

Tableau 1 : Masses d’eau superficielles du territoire

Code masse d’eau superficielle	Libellé masse d’eau superficielle
FRGR0344	Le Fouzon et ses affluents depuis sa source jusqu’à la confluence avec le Renon
FRGR0345	Le Fouzon depuis sa confluence du Renon jusqu’à sa confluence avec le Cher
FRGR0346	Le Renon et ses affluents depuis la source jusqu’à la confluence avec le Fouzon
FRGR0347a	Le Nahon et ses affluents depuis Langé jusqu’à Valençay
FRGR0347b	Le Nahon depuis Valençay jusqu’à la confluence avec le Fouzon
FRGR1545	Le Nahon et ses affluents depuis la source jusqu’à Langé
FRGR1546	La Céphons et ses affluents depuis la source jusqu’à la confluence avec le Nahon
FRGR1548	Le Pozon et ses affluents depuis la source jusqu’à la confluence avec le Fouzon
FRGR2074	Le Saint-Martin et ses affluents depuis la source jusqu’à la confluence avec le Renon
FRGR2126	Le Petit Rhône et ses affluents depuis la source jusqu’à la confluence avec le Fouzon

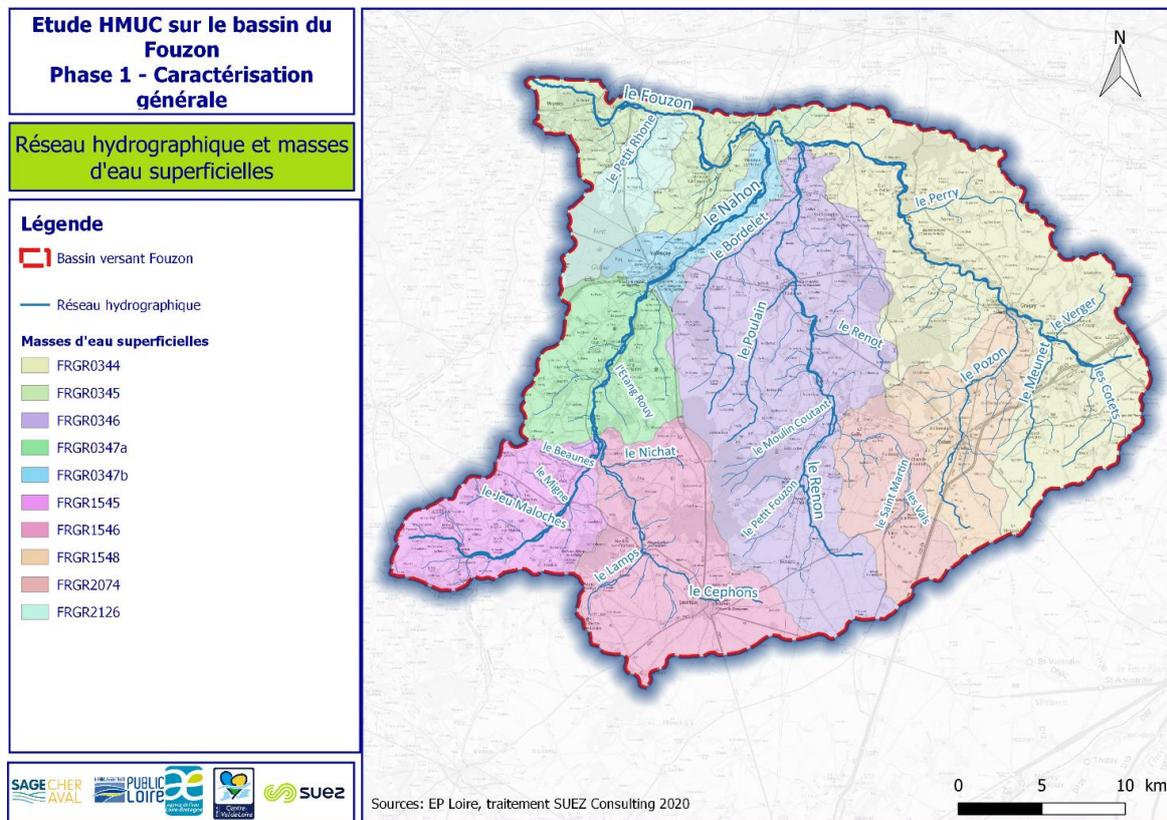


Figure 2 : Réseau hydrographique et masses d’eau superficielles (Sources : EP Loire, BD Carthage, SUEZ Consulting 2020)

3.2 La ressource en eau souterraine

3.2.1 Le cadre géologique

Le bassin versant du Fouzon se situe au Sud du bassin parisien.

Sur certaines parties du bassin versant, notamment en aval, affleurent encore les terrains du tertiaire (en jaune sur la Figure 3).

La partie amont du bassin versant est caractérisée par la limite d'affleurement des terrains du Crétacé (en vert sur la Figure 3), laissant affleurer les terrains du jurassique en tête de bassin versant (en bleu sur la Figure 3).

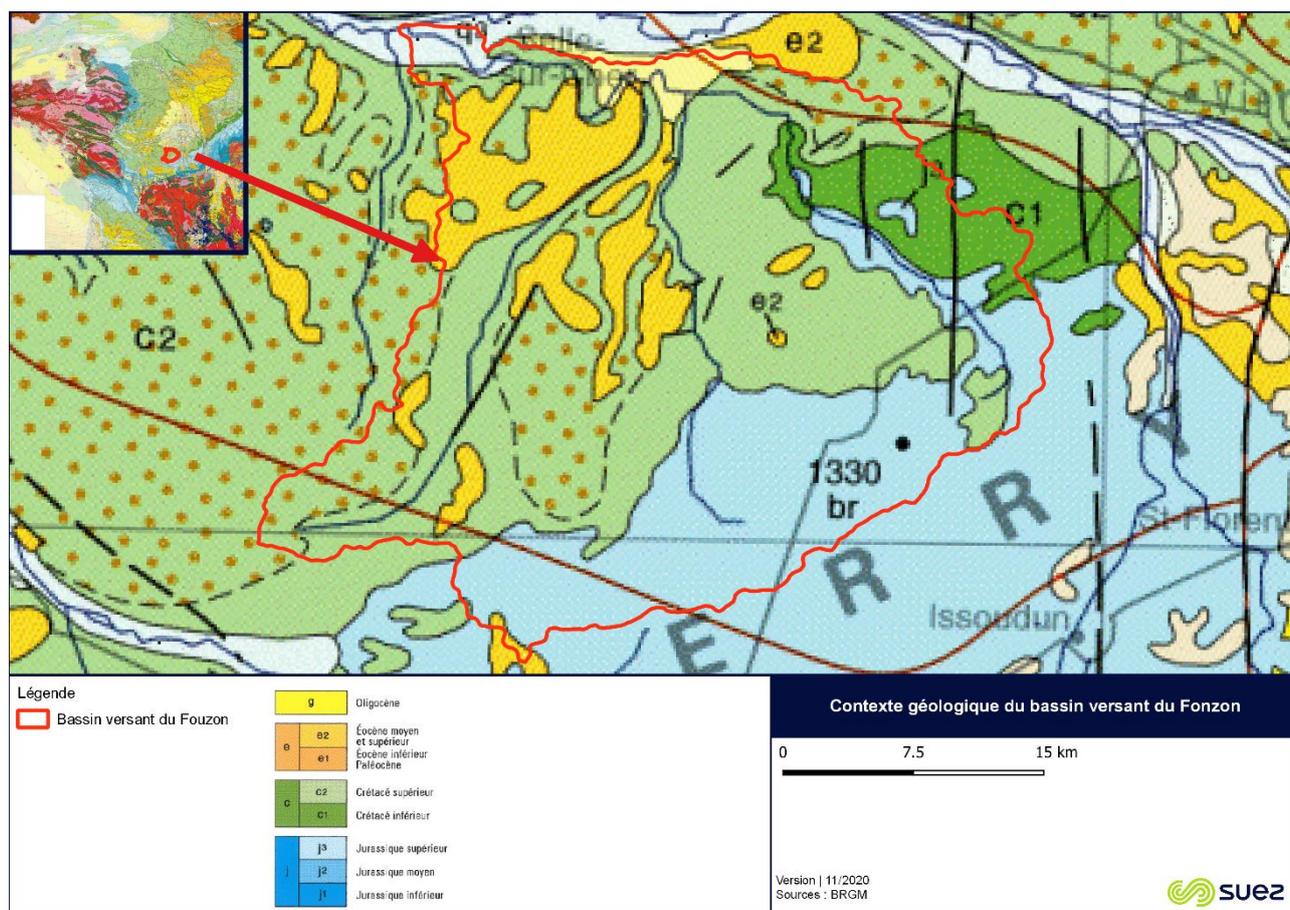


Figure 3 : Contexte géologique du bassin versant du Fouzon

La variété et la succession de ces horizons géologiques engendre une diversité des nappes présentes sur le secteur d'études. Les différents aquifères présents au niveau du bassin versant du Fouzon sont présentés dans le sous-chapitre suivant.

3.2.2 Les formations aquifères

Les réservoirs présents sur le bassin versant du Fouzon, correspondant à notre zone d'étude, peuvent se classer en cinq ensembles (Figure 4) :

- L'aquifère alluvial du Cher
- L'aquifère des calcaires de Beauce
- L'aquifère de la craie et des truffeaux (Sénonien-Turonien)

Analyse HMUC et propositions d’actions pour une gestion équilibrée et durable des ressources en eau sur le bassin du Fouzon dans le cadre du SAGE Cher aval

- L’aquifère des sables cénomaniens et albiens
- L’aquifère des calcaires du jurassique supérieur

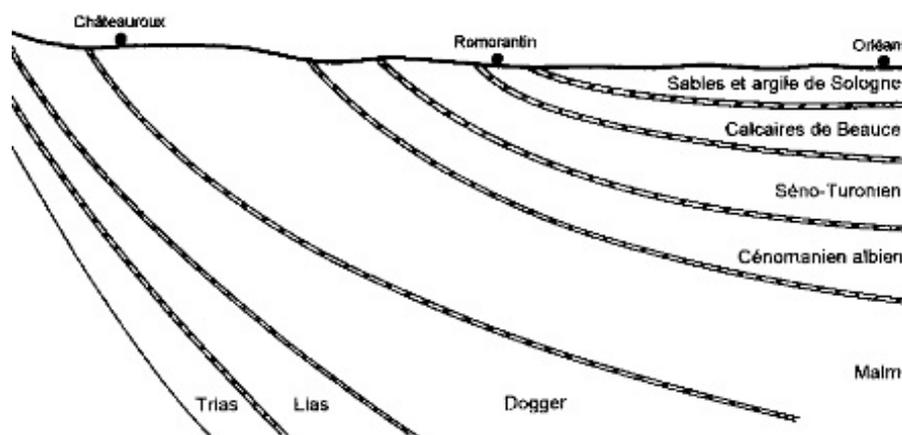


Figure 4 : Aquifères du bassin du Fouzon

3.2.3 Les masses d’eaux souterraines

Ces aquifères sont décomposés en 7 masses d’eau souterraine DCE sur le territoire, présentées dans le Tableau 2 et sur la Figure 5 :

Tableau 2 : Masses d’eau souterraine du territoire

Aquifère	Code masse d’eau souterraine	Libellé masse d’eau souterraine
Aquifère alluvial du Cher	FRGG109	Alluvions du Cher
Calcaires de Beauce	FRGG093	Calcaires tertiaires de Beauce et en Sologne libres
Sénonien-Turonien	FRGG085	Craie du Séno-Turonien du bassin versant du Cher libre
Cénomaniens – Albien	FRGG122	Sables et grès du Cénomaniens unité de la Loire libres
	FRGG142	Sables et grès du Cénomaniens du bassin versant de la Loire captifs au sud de la Loire
Jurassique supérieur	FRGG076	Calcaires et marnes du Jurassique supérieur du bassin versant du Cher libres
	FRGG073	Calcaires du Jurassique supérieur captifs

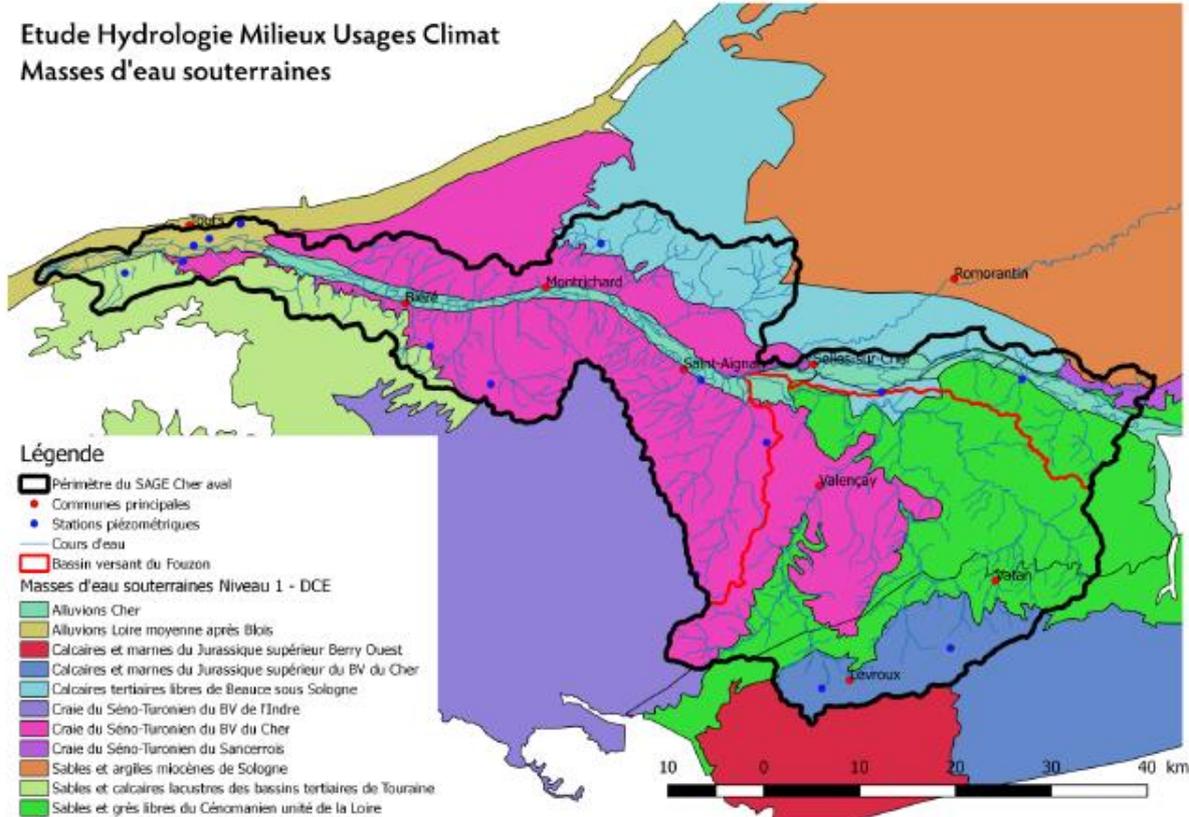


Figure 5 : Masses d’eau souterraines libres du bassin du Fouzon

Les masses d’eau présentes sur le secteur du bassin versant du Fouzon et indiquées dans le SDAGE Loire-Bretagne 2016-2021 comme les nappes faisant partie de celles « à réserver dans le futur à l’alimentation en eau potable », inscrites au registre des zones protégées (disposition 6E-1 du SDAGE) sont les suivantes :

- FRGG085 : Craie séno-turonienne,
- FRGG142 : Cénomaniens - Albien captif,
- FRGG073 pour partie : Jurassique supérieur captif.

Pour ces nappes, les implications sont présentées dans la disposition 6E-2 du SDAGE, rappelées ci-dessous :

Disposition 6E-2 du SDAGE Loire-Bretagne 2016-2021



Des schémas de gestion peuvent être élaborés pour les masses d'eau des nappes à réserver pour l'alimentation en eau potable afin de préciser les prélèvements, autres que ceux pour l'alimentation en eau potable par adduction publique, qui peuvent être permis à l'avenir. Les prélèvements pour les usages autres doivent nécessiter un haut degré d'exigence en termes de qualité d'eau (eau de process agroalimentaire ou d'industries spécialisées) ou répondre aux besoins d'abreuvement des animaux en l'absence de solutions alternatives, ou encore doivent être motivés par des raisons de sécurité civile. Les schémas analyseront également l'évolution prévisible des prélèvements et leur impact à moyen terme sur l'équilibre quantitatif de la nappe.

En l'absence de schéma de gestion de ces nappes :

- ❖ les prélèvements supplémentaires sur des ouvrages existants ou nouveaux ne pourront être acceptés que pour l'alimentation en eau potable par adduction publique ;
- ❖ des prélèvements nouveaux pour un autre usage seront possibles uniquement en remplacement de prélèvements existants dans le même réservoir et le même secteur, et en l'absence de déficit quantitatif de la nappe concernée.

Les schémas de gestion sont élaborés suivant les cas :

- ❖ par la commission locale de l'eau si les masses d'eau concernées sont situées sur le périmètre d'un Sage ;
- ❖ par une commission inter-Sage si les masses d'eau concernées sont situées sur plusieurs Sage ;
- ❖ par les services des préfets si les masses d'eau concernées sont hors d'un périmètre de Sage ou en partie seulement sur un périmètre de Sage et dans ce dernier cas avec la commission locale de l'eau.

La disposition 7C-5 du SDAGE concerne la gestion de la nappe du Cénomani en fonction des zones géographiques.

Le Plan d'Aménagement et de Gestion Durable de la ressource en eau et des milieux aquatiques du SAGE Cher aval (octobre 2018) rappelle que « l'aquifère des sables du Cénomani, qui constitue un aquifère stratégique pour le bassin Loire-Bretagne, est classé en zone de répartition des eaux (ZRE). Ce classement vise par différentes mesures à limiter et contrôler les prélèvements d'eau afin de restaurer l'équilibre entre la ressource et les prélèvements. »

L'analyse du fonctionnement hydrogéologique du bassin versant du Fouzon est présenté dans le chapitre 5.

3.3 Le contexte climatique

La zone d'étude se situe dans une région caractérisée par un **climat océanique altéré**². Ce dernier présente des hivers plutôt doux et des étés plutôt frais (bien que cette tendance soit moins forte que dans les régions de climat océanique). La pluviométrie y est généralement plus faible qu'en bord de mer et qu'en zone montagneuse. Elle est plus importante à proximité des zones de relief que dans les zones plates.

3.3.1 Données utilisées

Dans le cadre de la présente étude, la connaissance de la pluviométrie et de l'évapotranspiration potentielle sera requise pour mener à bien :

- La modélisation hydrologique ;
- L'estimation de l'évaporation des plans d'eau ;
- L'estimation du besoin en eau des plantes.

Pour la **pluviométrie**, on s'appuie sur la base de données **AURELHY** de Météo France et sur les **hauteurs de précipitation quotidiennes** mesurées au niveau des stations météorologiques.

Pour l'**évapotranspiration**, on s'appuie sur les **mesures décennales** réalisées au niveau de stations météorologiques.

Parmi les **stations météorologiques** situées sur et à proximité du territoire d'étude, celles présentant simultanément des données de précipitations, d'évapotranspiration et de température³ sur la période d'étude (2000-2018) ont été identifiées. Les plus représentatives d'entre elles ont été retenues, et sont présentées en suivant dans les Tableau 3 et Figure 6.

Tableau 3 : Caractéristiques et périodes de mesures des stations météorologiques retenues (Sources : Météo-France)

Nom station	Code	Précipitations quotidiennes	ETP décennale mesuré	ETP décennale calculé au point de grille le plus proche	Température moyenne
Guilly	36085001	1993-2018	1996-1999	2004-2018	1994-2018
Levroux	36093002	1994-aujourd'hui	-	2004-aujourd'hui	1994-aujourd'hui
Lye	36107001	1992-aujourd'hui	-	2004-aujourd'hui	1993-aujourd'hui
Romorantin	41097001	1953-aujourd'hui	1991-2016	2004-aujourd'hui	1976-aujourd'hui

² D'après la carte Météo France des climats de Métropole : <http://www.meteofrance.fr/climat-passe-et-futur/climat-en-france/le-climat-en-metropole>

³ Paramètre qui sera nécessaire pour l'estimation de l'évapotranspiration future

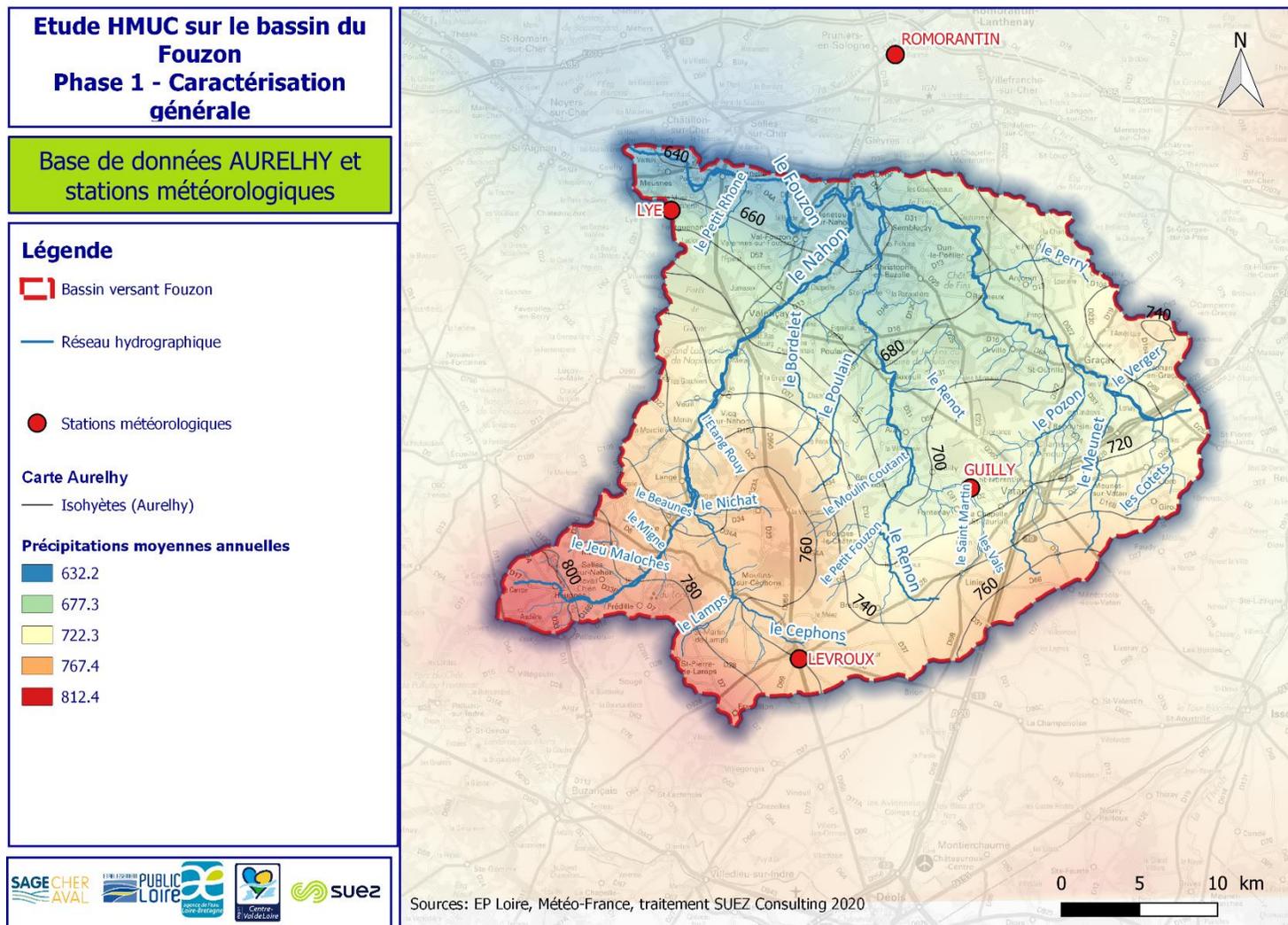


Figure 6 : Localisation des stations météorologiques retenues pour l’étude (Source : Météo-France, EP Loire, SUEZ Consulting 2020)

3.3.2 Pluviométrie

3.3.2.1 Evolution des cumuls annuels sur la période d’étude

Les cumuls pluviométriques annuels mesurés aux 4 stations météorologiques sont présentés Figure 7 sur la période 2000-2018. Leur moyenne interannuelle sur la période considérée est calculée Tableau 4.

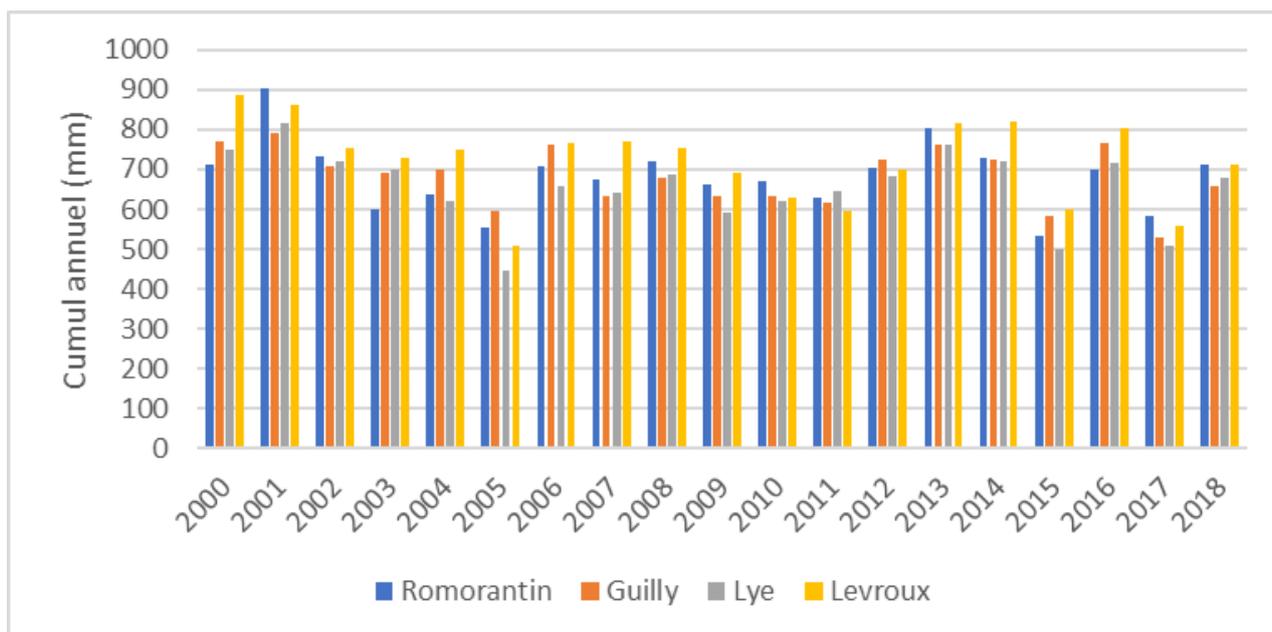


Figure 7 : Cumuls pluviométriques annuels par station de 2000 à 2018 (Sources : Météo France, SUEZ Consulting 2020)

Tableau 4 : Cumul pluviométrique moyen interannuel sur la période 2000-2018 (Sources : Météo France, SUEZ Consulting 2020)

Station météorologique	Cumul annuel moyen 2000-2018 (mm)
Romorantin	683
Guilly	682
Lye	656
Levroux	722

A partir de ces éléments, plusieurs constats peuvent être faits :

- Le cumul pluviométrique moyen interannuel sur la période 2000-2018 varie **entre 650 mm (Lye) et 720 mm (Levroux)** et présente des variations inférieures à 100 mm par an entre les 4 stations ;
- Les années **2005, 2015 et 2017** apparaissent particulièrement **sèches** avec des cumuls pluviométriques inférieurs à la moyenne la plus faible sur la période 2000-2018 ;
- A l’inverse, les années **2000, 2001, 2013, 2014 et 2016** ressortent comme **pluvieuses** avec un cumul pluviométrique annuel supérieur à 720 mm pour la majorité des stations météorologiques.

3.3.2.2 Relation entre la pluviométrie et l’altitude

La base de données AURELHY de Météo France donne, à l’échelle de la France, les normales de précipitations sur la période 1971-2000 à la maille du km². Les données AURELHY sur la zone d’étude sont présentées sur la Figure 6.

On observe une bonne corrélation entre l’altitude et la pluviométrie, le cumul de précipitations étant d’environ **800 mm par an sur les parties élevées** du bassin et de **640 mm sur les parties les plus basses**.

Les données des stations météorologiques présentées au paragraphe précédent confirment la corrélation observée à l’aide de la base de données AURELHY entre l’altitude et les cumuls précipités. Seule la station de **Romorantin** fait exception, ce qui peut s’expliquer par son positionnement géographique : elle est située hors du bassin versant étudié, de l’autre côté de la vallée du Cher où le **relief est moins marqué**.

Ainsi, la partie **aval du Fouzon** est caractérisée par des **précipitations plus faibles** que l’ensemble du bassin, tandis que les secteurs des **sources du Nahon, du Céphons et du Pozon** reçoivent les **cumuls les plus importants**.

Tableau 5 : Cumul pluviométrique moyen interannuel sur la période 2000-2018 et altitude des stations météorologiques (Sources : Météo France, SUEZ Consulting 2020)

Station météorologique	Cumul annuel moyen 2000-2018 (mm)	Altitude de la station (m. NGF)
Romorantin	683	83
Guilly	682	135
Lye	656	130
Levroux	722	169

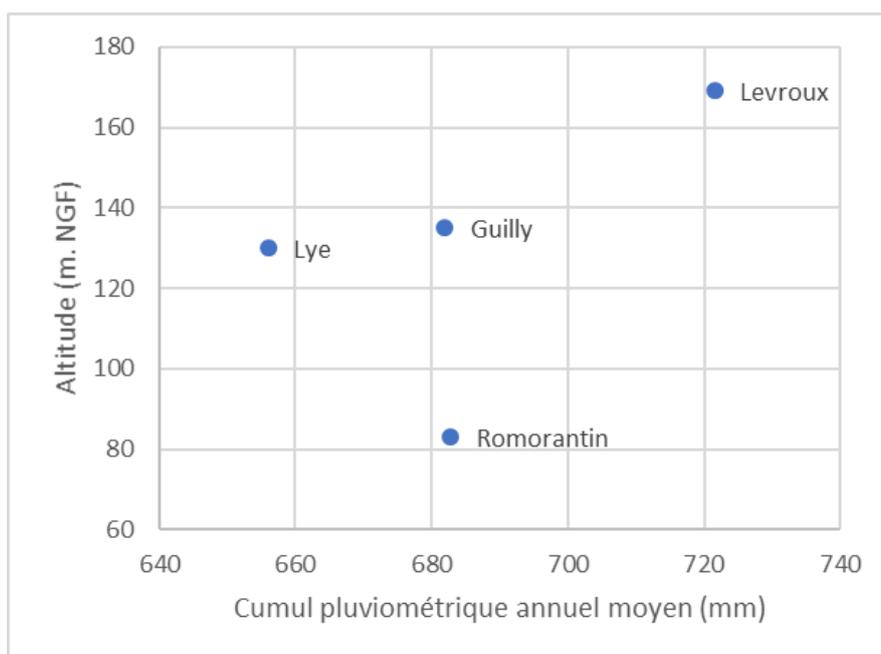


Figure 8 : Mise en évidence de la relation cumul de précipitations vs altitude (Sources : Météo France, SUEZ Consulting 2020)

3.3.2.3 Cycle pluviométrique annuel

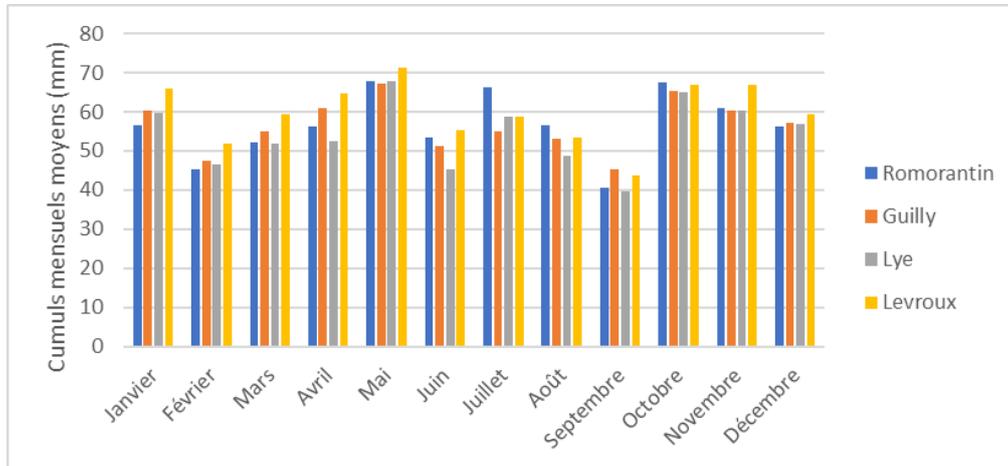


Figure 9 : Précipitations moyennes mensuelles pour chaque station sur la période 2000-2018 (Sources : Météo France, SUEZ Consulting 2020)

Les **variations inter-mensuelles** de la pluviométrie sont relativement **constantes d’une station à une autre**, ce qui témoigne d’une certaine **homogénéité des précipitations** sur l’ensemble du bassin versant.

En revanche, ces variations sont relativement **irrégulières** et aucune tendance claire d’évolution infra-annuelle de la pluviométrie ne semble se dégager. Le mois de septembre est le mois le moins arrosé de l’année avec une moyenne d’environ 40 mm, suivi par les mois de février (45 mm), juin (50mm) et août (50 mm). Les mois cumulant le plus de précipitations sont les mois de mai et d’octobre avec plus de 65 mm/mois.

L’analyse simultanée des cumuls mensuels sur chaque année de la période 2000-2018 confirme cette absence de tendance (cf. Figure 10), chaque année se distinguant fortement des autres.

On peut donc en conclure que globalement, aucun mois n’est susceptible d’être plus pluvieux qu’un autre sur une année donnée.

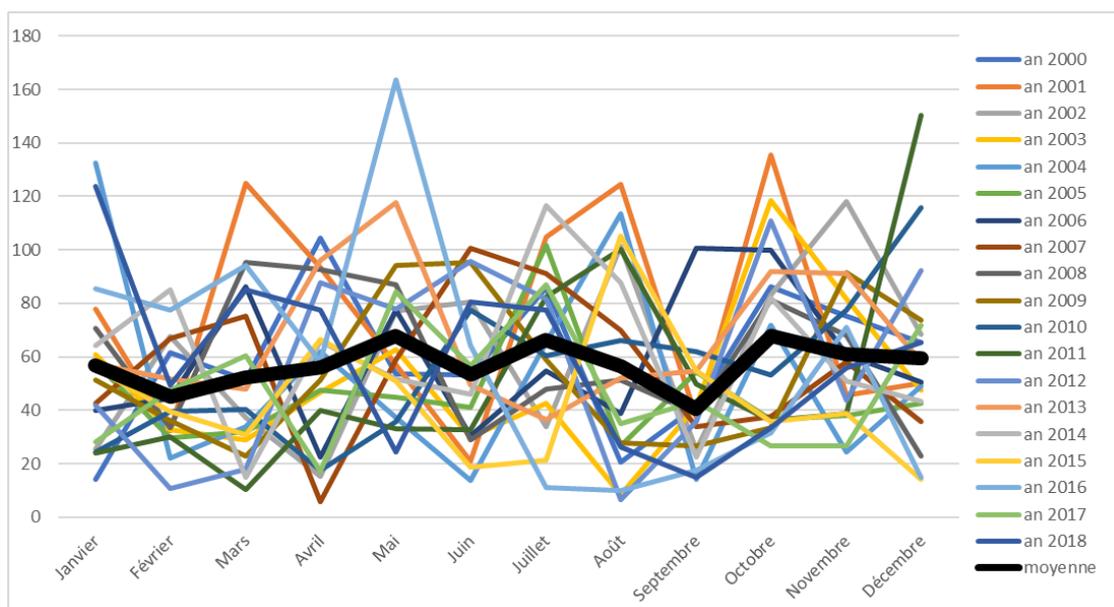


Figure 10 : Cumuls mensuels de chaque année de la période d’étude à la station de Romorantin (Sources : Météo France, SUEZ Consulting 2020)

3.3.3 Évapotranspiration potentielle (ETP)

Comme indiqué dans le Tableau 3, seule la station météorologique de Romorantin permet de disposer d'une mesure de l'ETP sur l'ensemble de la période d'étude 2000-2018. Cette donnée est disponible au pas de temps décadaire. Afin de vérifier la pertinence de son utilisation, une analyse de l'homogénéité des données de températures (l'un des principaux facteurs déterminants de l'ETP) de Romorantin avec celles de l'ensemble du bassin versant est fournie en annexe 1.

Pour rappel, le calcul de l'ETP tient compte :

- De la température minimale et maximale ;
- De la vitesse moyenne du vent ;
- De la tension de vapeur moyenne ;
- De la durée d'ensoleillement ;
- Et du rayonnement global.

3.3.3.1 Evolution des cumuls annuels sur la période d'étude

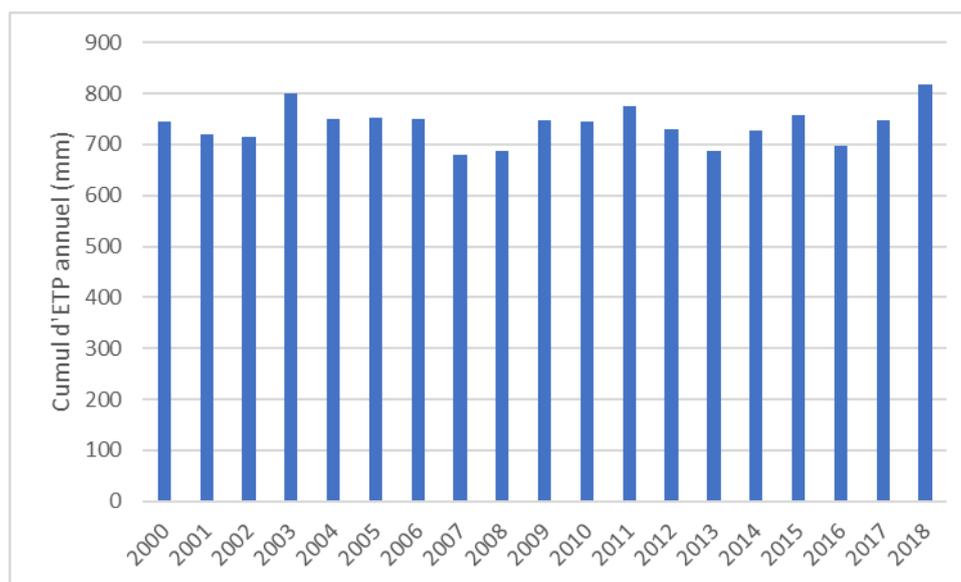


Figure 11 : Evolution de l'ETP annuelle à la station de Romorantin (Sources : Météo France, SUEZ Consulting 2020)

On observe que le **cumul annuel d'ETP** reste relativement **stable** sur l'ensemble de la période d'étude. Il oscille **entre 680 mm et 815 mm** avec une **moyenne de 740 mm par an**.

3.3.3.2 Cycle annuel de l'ETP

Au cours de l'année, l'ETP mensuelle suit une croissance continue de décembre à juillet pour atteindre un **maximum à 130 mm** et suit ensuite une décroissance également continue de juillet à décembre pour atteindre un **minimum de 10 mm** (cf. Figure 12).

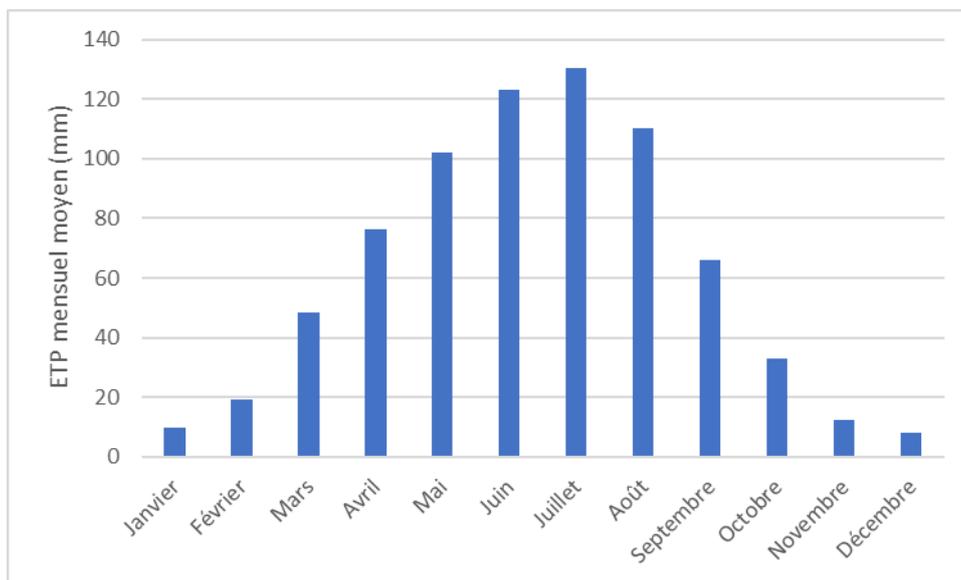


Figure 12 : ETP mensuelle moyenne à la station de Romorantin (Sources : Météo France, SUEZ Consulting 2020)

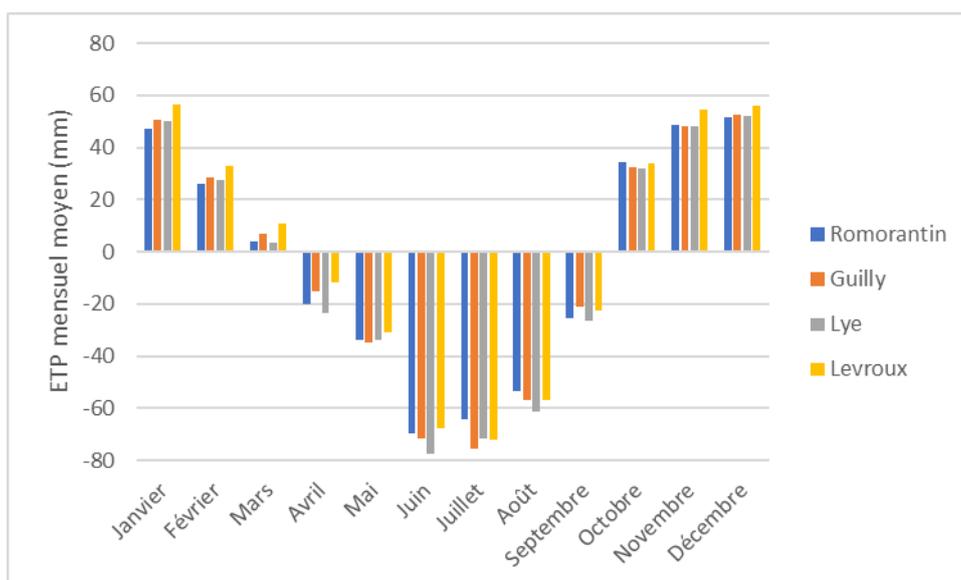


Figure 13 : Excédent et déficit pluviométrique mensuel moyen aux stations météorologiques retenues (Sources : Météo France, SUEZ Consulting 2020)

En comparant les cumuls mensuels de précipitations et d'ETP, il apparaît que la **période avril-septembre** est en **déficit pluviométrique**, c'est-à-dire que le cumul d'ETP est supérieur au cumul de précipitations. Ce déficit est compris entre 55 mm et 75 mm pour les mois de juin, juillet et août, mois les plus « sensibles » en période d'été.

4 ANALYSE DU FONCTIONNEMENT HYDROLOGIQUE DU BASSIN VERSANT DU FOUZON

4.1 Analyse des chroniques de débit journalier

4.1.1 Stations hydrométriques

4.1.1.1 Stations hydrométriques issues du réseau de mesure français (DREAL)

Sur le bassin versant du Fouzon, **3 stations hydrométriques** gérées par la DREAL Centre Val-de-Loire permettent de suivre l’hydrométrie du bassin versant (cf. Figure 14).

- ❖ La **station K6520020** sur le Fouzon à **Dun-le-Poëlier** a été mise en service au début de l’année 2020 et ne présente pas encore de données valorisables pour la présente étude.
- ❖ Les 2 autres stations sur le Fouzon à **Meusnes** présentent une grande proximité géographique. En effet, la station K6593020 au Gué du Loup a remplacé la station K6593010 au Gué de Meusnes après sa mise hors service en 2008. La mise en commun des chroniques de débit de ces deux stations permet donc de disposer d’une chronique ininterrompue sur la période d’analyse 2000 – 2018. La station sur le **Fouzon à Meusnes au Gué du Loup** est le **point nodal du SDAGE** Loire-Bretagne 2016-2021.

Nota : il a été souligné en COTECH n°1 du 07/10/2019 que les débits de cette station pourraient être soumis à l’influence de la nappe alluviale du Cher. Les informations suivantes ont été apportées :

- ▶ Effectivement la station est bien influencée par les remous du Cher en crue pour des débits > 350 m³/s environ mais pas à priori du fait de la nappe alluviale ;
- ▶ Il n’y pas non plus d’influence en étiage en raison de la cote du Cher et de sa nappe d’accompagnement généralement plus basse à l’étiage ;
- ❖ A souligner l’existence d’une 4^{ème} station sur le bassin : la station **K6593000** sur le Fouzon à **Mennetou-sur-Nahon**, station limnimétrique, qui n’a été active que de 2005 à 2014 et ne procure **pas de valeurs de débits**. Aucune donnée de jaugeage ni de courbe de tarage ne sont disponibles sur cette station, qui a toujours été une **station de hauteur seule**, au régime fortement influencé, destinée à l’annonce des crues. Ainsi, **ces données ne seront pas valorisées** dans le cadre de la présente étude.

Tableau 6 : Stations hydrométriques sur le bassin versant du Fouzon (Sources : Banque Hydro)

Code hydro	Nom	Période disponible (débits)	Bassin versant drainé (km ²)
K6520020	Le Fouzon à Dun-le-Poëlier	2020 – aujourd’hui	257 km ²
K6593010	Le Fouzon à Meusnes [Le gué de Meusnes]	1970-2007	1002 km ²
K6593020	Le Fouzon à Meusnes [Gué au loup]	2003- aujourd’hui	1002 km ²

Analyse HMUC et propositions d’actions pour une gestion équilibrée et durable des ressources en eau sur le bassin du Fouzon dans le cadre du SAGE Cher aval

En conclusion, l’analyse des chroniques de débit sur la période d’analyse 2000-2018, issues du réseau de mesures de la DREAL CLV, ne pourra se faire que sur le **Fouzon à la station de Meusnes**.

On notera sur cette station que :

- ▶ Durant l’année **2000**, une **interruption de 6 jours de la station** a eu lieu entre le 26 et le 31 août. Une interpolation linéaire des débits entre ces deux dates a donc été réalisée pour combler cette lacune ;
- ▶ Les débits mesurés **entre 2001 et 2003** sont qualifiés de « **validés douteux** » sur le portail de la Banque Hydro ;
- ▶ Les débits mesurés **entre 2003 et 2009** sont qualifiés de « **provisoires** » sur le portail de la Banque Hydro ;
- ▶ Toutes les **autres mesures** de débits sont considérées « **validées bonnes** ».

Tableau 7 : Indicateurs de la qualité des mesures de débits à la station hydrométrique du Fouzon à Meusnes [Gué de Meusnes et Gué au Loup](Sources : Banque Hydro)

Annee	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Débit									XXX			
Hauteur												

Annee	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Débit	XXX															
Hauteur					XXX			XXX		XXX	XXX					

Débits journaliers

- : absents
- : provisoires
- : invalidés
- : validés douteux
- : validés bons

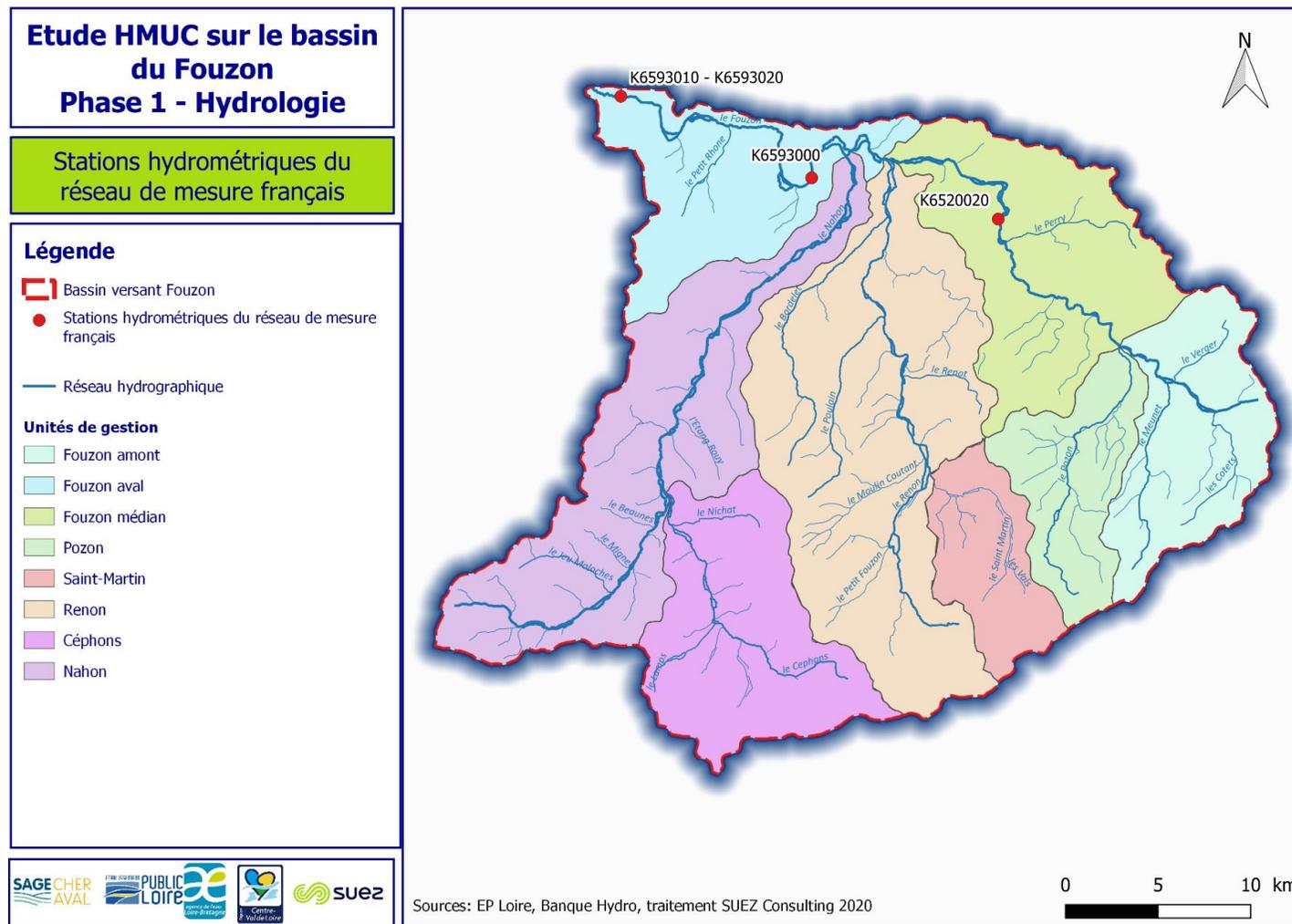


Figure 14 : Localisation des stations hydrométriques de la DREAL CLV sur le bassin du Fouzon (Sources : EP Loire, Banque Hydro, SUEZ Consulting 2020)

4.1.1.2 Autres stations hydrométriques (CTB Fouzon)

6 stations de mesure ont été installées dans le cadre du Contrat Territorial de Bassin du Fouzon (CTB Fouzon) **en novembre 2017**. Ce sont des stations **limnimétriques**, c'est-à-dire des échelles ne mesurant que la hauteur d'eau du cours d'eau.

Le Syndicat Mixte du Pays de Valençay en Berry (SMPVB) indique que ces stations ne sont **pas encore totalement calées** : les courbes de tarage sont en cours de construction (en octobre 2019, 4 campagnes de jaugeage sur 10 ont été effectuées). Les **chroniques journalières de hauteurs et de débits** associés ont été collectées **de novembre 2017 à octobre 2020**.

A noter que la **station installée sur le Pozon** à Graçay a été **déplacée en 2019** à cause de l'influence du clapet d'alimentation de l'étang communal. La couche cartographique des stations du SMPVB tient compte de ce déplacement (cf. Figure 15).

Tableau 8 : Stations gérées par le SMPVB dans le cadre du Contrat territorial de Bassin du Fouzon (Sources : SMPVB, Terraqua, SUEZ Consulting 2020)

Nom station	Période disponible
Station 1 - Fouzon médian [Sembleçay]	23/11/2017 - 07/10/2020
Station 2 – Pozon [Graçay]	15/01/2019 – 07/10/2020
Station 3 - Saint-Martin [Guilly]	28/11/2017 - 11/12/2019
Station 4 - Renon amont [Rouvres-les-Bois]	28/11/2017 - 07/10/2020
Station 5 - Renon aval [Sembleçay]	30/11/2017 - 07/10/2020
Station 6 – Céphons [Langé]	24/11/2017 - 07/10/2020

On note que la période de mesure de ces stations est courte (moins de 3 ans) et caractérisée par des étés secs.

Ces chroniques sont trop courtes pour faire l'objet d'une analyse statistique (qui nécessite au moins 10 ans de données). Elles seront valorisées sur l'intervalle décembre 2017 – décembre 2018 (période de recouvrement avec la période d'étude) dans le cadre de la validation des modèles hydrologiques qui seront construits pour reconstituer l'hydrologie désinfluencée.

4.1.1.3 Synthèse

A ce stade, seule la station hydrométrique de Meusnes sur le Fouzon, au Gué de Meusnes jusqu’en 2003 puis au Gué du Loup, permet d’analyser les différentes caractéristiques du régime hydrologique pour l’ensemble du bassin versant.

Afin de fournir tout de même quelques indications sur le fonctionnement hydrologique de points particuliers du territoire d’étude, une comparaison des débits mesurés aux stations du CTB Fouzon sur l’ensemble du bassin versant, est réalisée sur la période 2018-2019.

L’analyse sera complétée avec l’appui des modélisations hydrologiques construites au paragraphe 7.

4.1.2 Description du cycle annuel

La caractérisation du cycle annuel permet d’appréhender le fonctionnement du bassin versant du Fouzon sur l’ensemble de l’année (hautes-eaux et basses eaux).

Le tableau et la figure présentés ci-dessous donnent les débits moyens mensuels (bruts et spécifiques) enregistrés au droit de la station de Meusnes⁴. Ces derniers ont été calculés à partir d’une chronique de 51 ans, ce qui garantit une analyse statistique robuste. A noter que ces deux métriques présentent un facteur 1000 entre leurs valeurs, qui correspond à la surface du bassin versant drainée à Meusnes (1002 km²).

Tableau 9 : Débits moyens mensuels interannuels à la station hydrométrique de Meusnes sur le Fouzon (Source : Banque Hydro)

Métrique	Janv.	Févr.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct.	Nov.	Déc	Qmax/Qmin
Débit moyen mensuel interannuel spécifique (l/km ² /s)	9.37	12.28	9.92	7.14	5.83	3.31	1.6	1.45	1.44	2.05	3.51	6.68	8.53
Débit moyen mensuel interannuel (m ³ /s)	9.39	12.3	9.94	7.15	5.84	3.32	1.6	1.45	1.44	2.05	3.52	6.69	8.54

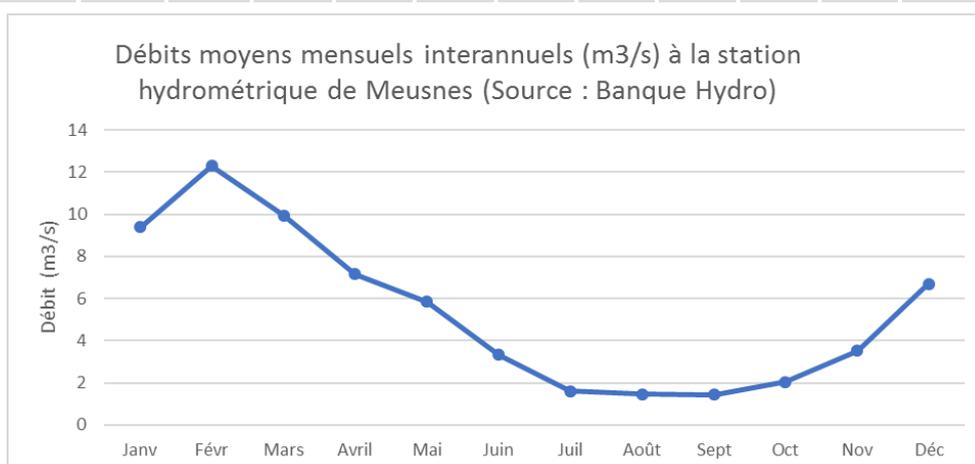


Figure 16 Le Fouzon à Meusnes - Débits moyens mensuels interannuels (m³/s) (Sources : Banque Hydro, SUEZ Consulting 2020)

⁴ Compilation des données de la station K6593010 aujourd’hui fermée avec celles de la station K6593020.

Le cycle annuel du bassin versant du Fouzon correspond à un **régime pluvial simple** caractérisé par une **période de basses-eaux de juillet à octobre**, et de **hautes eaux de janvier à mars**. L’écart de débit le plus important s’observe entre les mois de **février** et de **septembre**. La **variabilité saisonnière est faible** (le débit mensuel moyen maximum est seulement neuf fois plus élevé que le débit mensuel moyen minimum), ce qui peut témoigner d’un **phénomène de soutien des nappes** au cours d’eau important⁵.

Les débits spécifiques restant en tout temps supérieurs à 1 l/s/km², les **étiages** ne sont **pas particulièrement sévères** au niveau de cette station hydrométrique.

4.1.3 Débits caractéristiques et évolution

Le tableau suivant présente les débits caractéristiques du Fouzon à Meusnes calculés sur la période 1970 – 2020 (source : Banque Hydro).

Tableau 10 : Le Fouzon à Meusnes - Débits caractéristiques calculés sur la période 1970 – 2020)⁶ (Sources : Banque Hydro, SUEZ Consulting 2020)

Métrique	Unité	
	Débit mesuré (m ³ /s)	Débit spécifique (l/s/km ²)
Module interannuel	5.33 [4.61 - 6.06]	5.32 [4.6 - 6.05]
QMNA2	0.79 [0.65 - 0.97]	0.79 [0.64 - 0.97]
QMNA5	0.46 [0.35 - 0.56]	0.46 [0.35 - 0.56]
VCN30(5)	0.39 [0.29 - 0.48]	0.39 [0.29 - 0.48]
VCN10(5)	0.32 [0.23 - 0.4]	0.31 [0.23 - 0.4]
VCN5(5)	0.29 [0.21 - 0.37]	0.29 [0.21 - 0.37]

Afin d’étudier l’évolution des débits caractéristiques d’étiage, une **analyse simplifiée de la stationnarité** de ces débits a été menée (cf. Figure 17).

L’objectif de cette analyse est de s’assurer de la **représentativité des débits caractéristiques d’étiage** obtenus par ajustement statistique par rapport aux écoulements actuels et au régime hydrologique du cours d’eau.

L’analyse a porté sur les QMNA. Les résultats sont présentés dans un graphique synthétisant les QMNA sur l’ensemble de la période disponible (cf. Figure 17).

- Le QMNA5 de référence calculé par la Banque Hydro.
- Les QMNA5 calculés sur une période de 10 ans, glissée de 5 ans.

Toutefois, les résultats doivent être analysés avec précaution car il s’agit ici d’une simple observation de l’évolution d’une variable statistique (le QMNA) sur la période disponible. Si elle ne permet pas de se positionner formellement sur la stationnarité des débits (et de la vitesse d’évolution en cas de non stationnarité), elle permet de visualiser graphiquement les principales évolutions des débits d’étiage.

⁵ A titre d’exemple, les variabilités saisonnières peuvent atteindre un facteur 40 à 50 sur certains secteurs reposant sur du socle (absence de lien nappe/rivière) et entre 1 et 15 sur des secteurs où le soutien de nappe est important.

⁶ Les débits statistiques d’étiage ont été calculés à l’aide d’une loi de Galton ou loi log-normale, car c’est celle qui fournit le meilleur ajustement statistique sur ce bassin versant (il est requis de choisir, entre la loi de Gauss et de Galton, celle qui représente le mieux les données avant de réaliser tout calcul statistique sur les débits d’étiage)

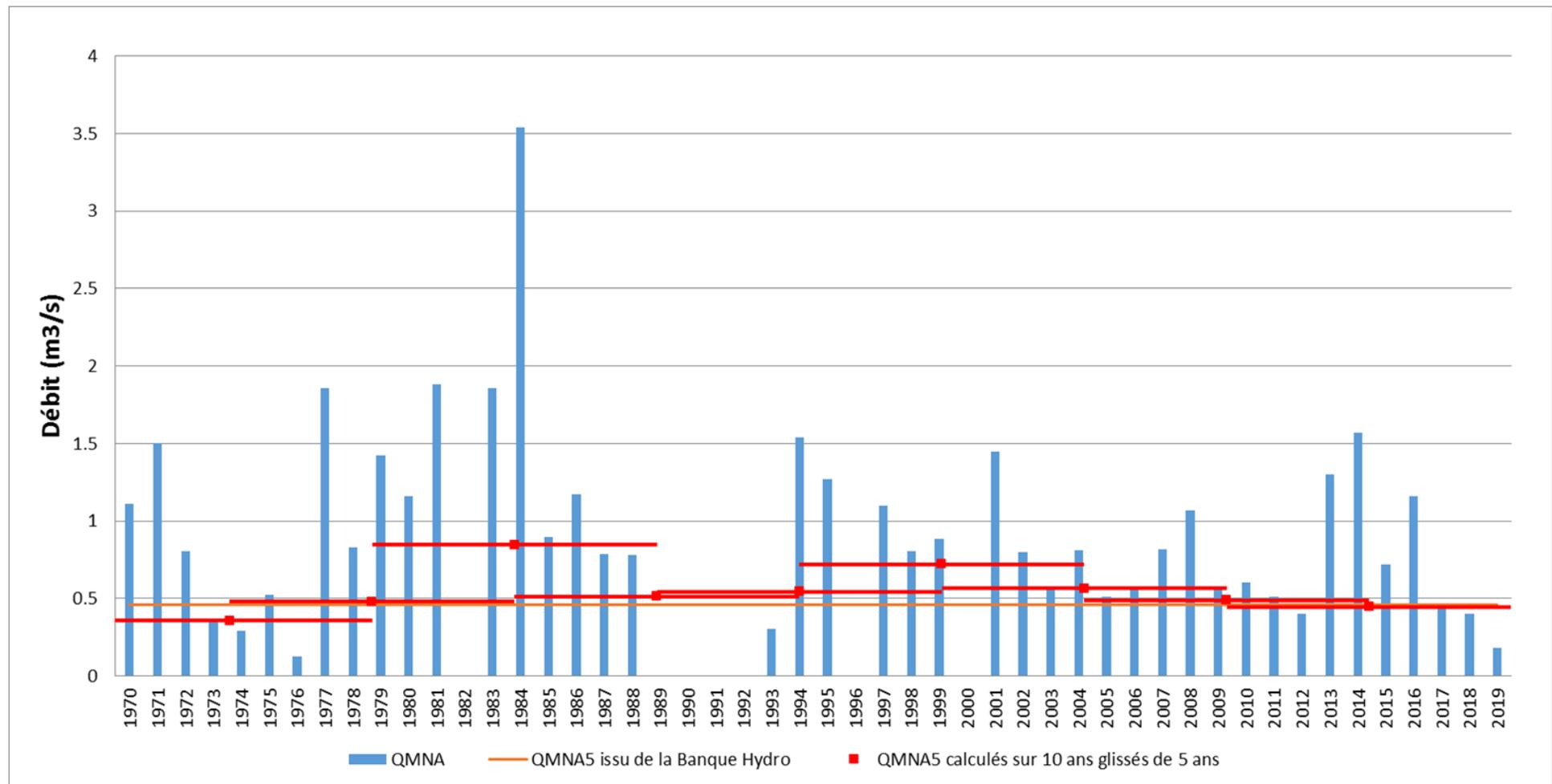


Figure 17 : Le Fouzon à Meusnes - Stationnarité des débits caractéristiques d'étiage de 1970 à 2019 (Sources : Banque Hydro, SUEZ Consulting 2020)

On observe une importante variabilité des valeurs annuelles de QMNA de 0.13 m³/s en 1976 à 3.54 m³/s en 1984, qui est pondérée par une stationnarité relativement bonne de l'indicateur statistique qu'est le QMNA5. A noter cependant une tendance à la baisse du QMNA5 depuis les années 2000 dont les origines peuvent être multiples : dégradation des conditions naturelles et climatiques, augmentation des pressions de prélèvements....

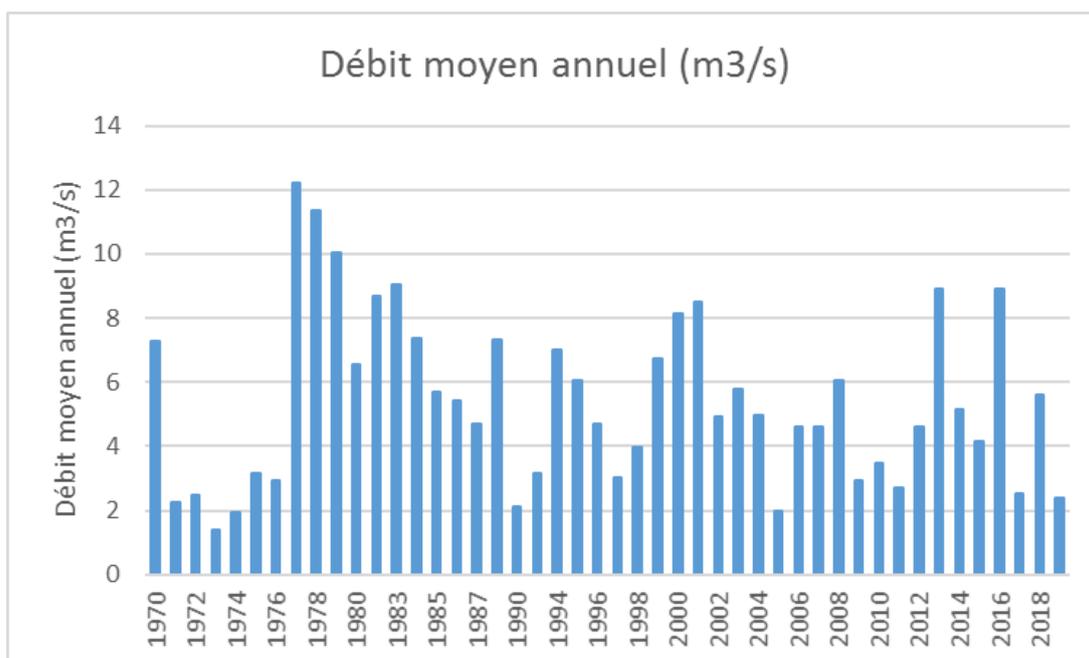


Figure 18 : Le Fouzon à Meusnes - Evolution du débit moyen annuel de 1970 à 2019 (Sources : Banque Hydro, SUEZ Consulting 2020)

Concernant le débit moyen annuel, il varie fortement d'une année à l'autre, en conséquence de la variabilité des précipitations (voir Figure 7).

4.1.4 Comparaison des débits en différents points du bassin versant

Comme évoqué précédemment, les stations installées dans le cadre du CTB Fouzon ont des chroniques de mesure relativement courtes, ce qui ne permet pas de répéter les analyses réalisées au paragraphe précédent à leur niveau.

Cependant, il est intéressant de comparer les chroniques disponibles (décembre 2017 – avril 2019) des différentes stations afin d'appréhender l'hétérogénéité éventuelle de l'hydrologie entre ces différents points. Ce type d'analyse (sur une chronique courte) doit être considéré avec précaution, en ayant à l'esprit que les valeurs analysées peuvent être plus ou moins influencées par des phénomènes hydrologiques particuliers (temporellement et spatialement parlant).

Le graphique suivant compare les débits mensuels spécifiques des 5 stations du CTB Fouzon sur la période décembre 2017 – avril 2019.

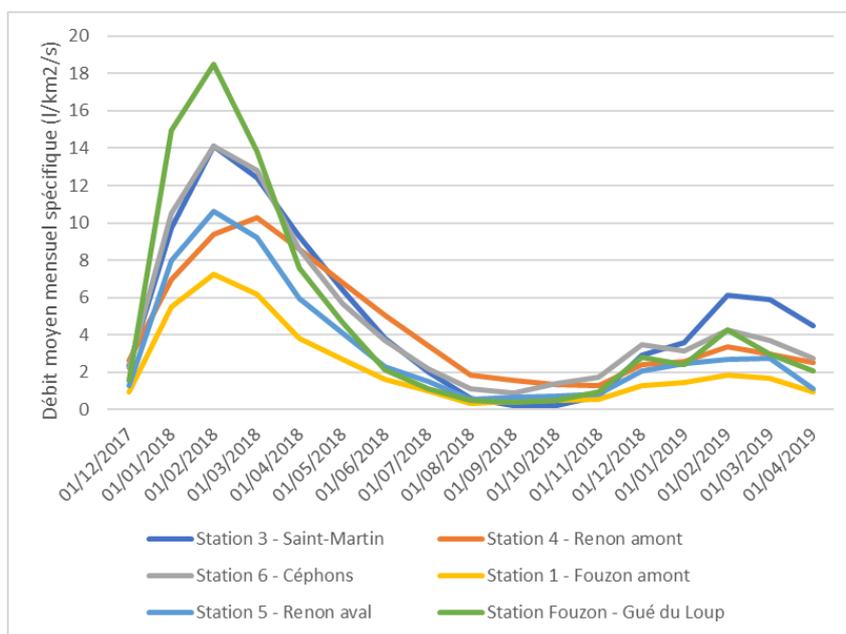


Figure 19 : Débits moyens mensuels spécifiques au niveau des 5 stations du CTB Fouzon et de la station du Fouzon à Meusnes (Sources : SMPVB, Terraqua, Banque Hydro, SUEZ Consulting 2020)

On observe une bonne concordance des débits spécifiques en chaque point des sous-bassins versants.

Cependant, une certaine variabilité s’observe, ce qui est attendu puisque les valeurs considérées ne sont issues que d’une observation (contrairement aux graphiques du paragraphe 4.1.2 qui présentent des moyennes interannuelles). On peut donc supposer que cette variabilité est partiellement causée par des phénomènes hydrologiques particuliers. Cette variabilité est également accentuée par une hétérogénéité des usages de l’eau.

Les graphiques suivants présentent respectivement le débit moyen journalier et le débit moyen journalier spécifique au niveau des 5 stations hydrométriques en fonction de la surface drainée.

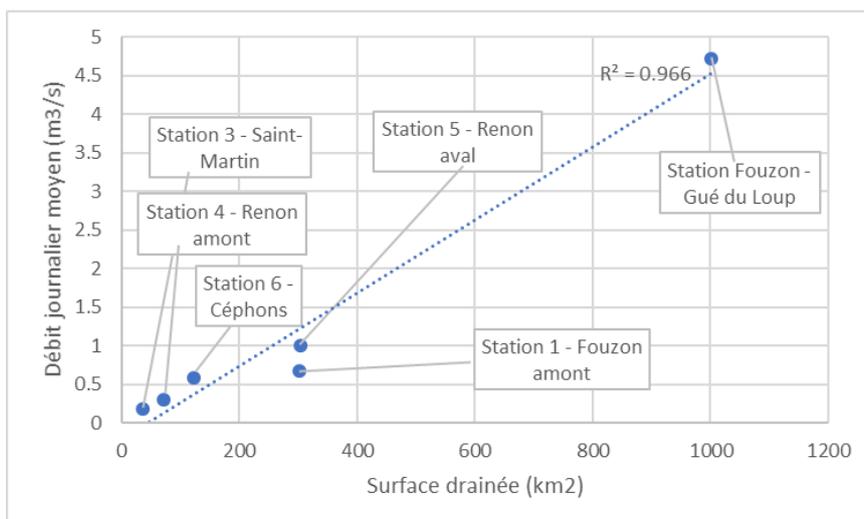


Figure 20 : Evolution du débit moyen journalier en fonction de la surface drainée au niveau des 5 stations du CTB Fouzon et de la station du Fouzon à Meusnes (Sources : SMPVB, Terraqua, Banque Hydro, SUEZ Consulting 2020)

On observe que le débit moyen journalier évolue régulièrement avec la surface drainée. Le Fouzon amont et le Renon aval font exception. Ceci peut être lié à des pressions anthropiques plus marquées en amont de ces points.

Les graphiques suivants présentent respectivement le QMN, VCN10, VCN5 (calculés sur décembre 2017 – avril 2019) au niveau des 5 stations du CTB Fouzon. Ces indicateurs sont spécialement sensibles aux phénomènes hydrologiques particuliers et doivent être considérés avec la plus grande précaution.

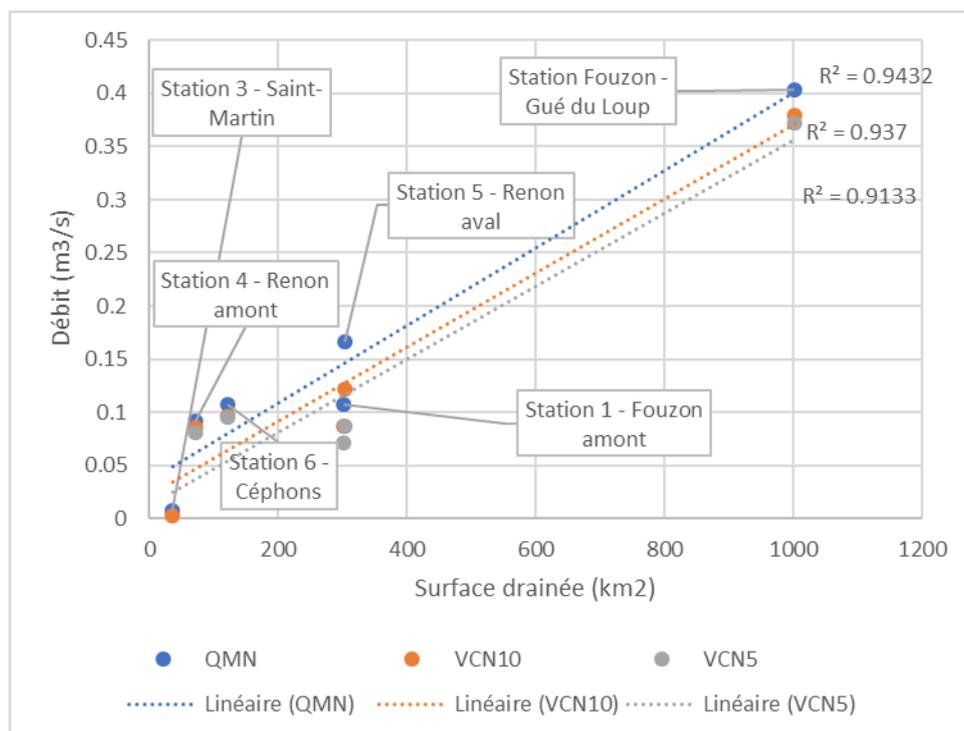


Figure 21 : Débit moyen journalier (décembre 2017 – avril 2019) vs. Surface drainée au niveau des différentes stations hydrométriques (sources : CTBF, Banque Hydro)

Ces indicateurs présentent une évolution relativement linéaire avec la surface drainée, le Fouzon amont et le Renon aval faisant toujours figure d’exception, ce qui confirme que ces sous-bassins ont une capacité de production moindre que les autres.

4.2 Réseau d’observation des écoulements

4.2.1 Principe du réseau ONDE de suivi des écoulements

L’ONEMA a développé depuis 2012, un réseau d’observation visuelle de l’écoulement des cours d’eau, appelé un Observatoire National Des Étiages (ONDE). Ce réseau prend le relai du Réseau Départemental d’Observation des Écoulements (RDOE) et du Réseau d’Observation de Crise des Assecs (ROCA), déployés respectivement depuis 1990 et 2004. Il est un des outils listés dans la circulaire du 18 mai 2011 relative aux mesures exceptionnelles de limitation ou de suspension des usages de l’eau en période de sécheresse.

Dans chaque département, les agents de l’OFB réalisent ainsi, entre mai et septembre, un suivi mensuel des écoulements sur un réseau de stations bien défini. En période de crise, un suivi renforcé, dont l’activation peut être déclenchée par le préfet de département ou par l’OFB, est mis en place. Ce suivi de crise départemental peut s’effectuer à une période différente du suivi usuel et à une fréquence plus importante.

Ces réseaux d’observation des écoulements visent à répondre à un double objectif : constituer un réseau de connaissance stable sur les étiages estivaux et être un outil d’aide à la gestion des périodes de crise hydrologique.

Sur le terrain, les modalités pour l’observation des écoulements se définissent selon :

● Ecoulement visible

L’écoulement est continu, il est permanent et visible à l’œil nu.

● Ecoulement visible faible

De l’eau est présente et un courant est visible, mais le débit faible ne garantit pas un bon fonctionnement biologique.

● Ecoulement non visible

Le lit mineur présente toujours de l’eau mais le débit est nul. Généralement, soit l’eau est présente sur toute la station mais il n’y a pas de courant (dans les grandes zones lenticques, par exemple), soit il ne reste que quelques flaques sur plus de la moitié du linéaire.

● Assec

L’eau est totalement évaporée ou infiltrée sur plus de 50% de la station. La station est "à sec".

Une modalité spécifique '**observation impossible**' permet d’indiquer que l’observateur n’a pas pu réaliser d’observation propre à l’écoulement du cours d’eau lors de son déplacement sur la station, en raison de conditions exceptionnelles : problèmes d’accessibilité, modification des conditions environnementales de la station, etc.

'**L’absence de données**' indique que l’observation n’a pas été réalisée.

4.2.2 Stations de suivis des écoulements sur la zone d’étude et analyse des écoulements

Depuis 2012, le bassin du Fouzon est couvert par **8 stations ONDE** (cf. Figure 22), dont les caractéristiques sont présentées ci-dessous.

Tableau 11 : BV Fouzon - Stations ONDE (Sources : www.onde.eaufrance.fr)

Département	Code station	Cours d’eau	Commune
18	K6510001	Le Fouzon	Nohant-en-Graçay
36	K6530001	Le Renon	Guilly
36	K6540001	Le Poulain	Poulaines
36	K6570001	Le Céphons	Levroux
36	K6560001	Le Nahon	Heugnes
36	K6520001	Le Perry	Anjouin
36	K6530002	Le Saint-Martin	Guilly
36	K6510002	Le Meunet	Meunet-sur-Vatan

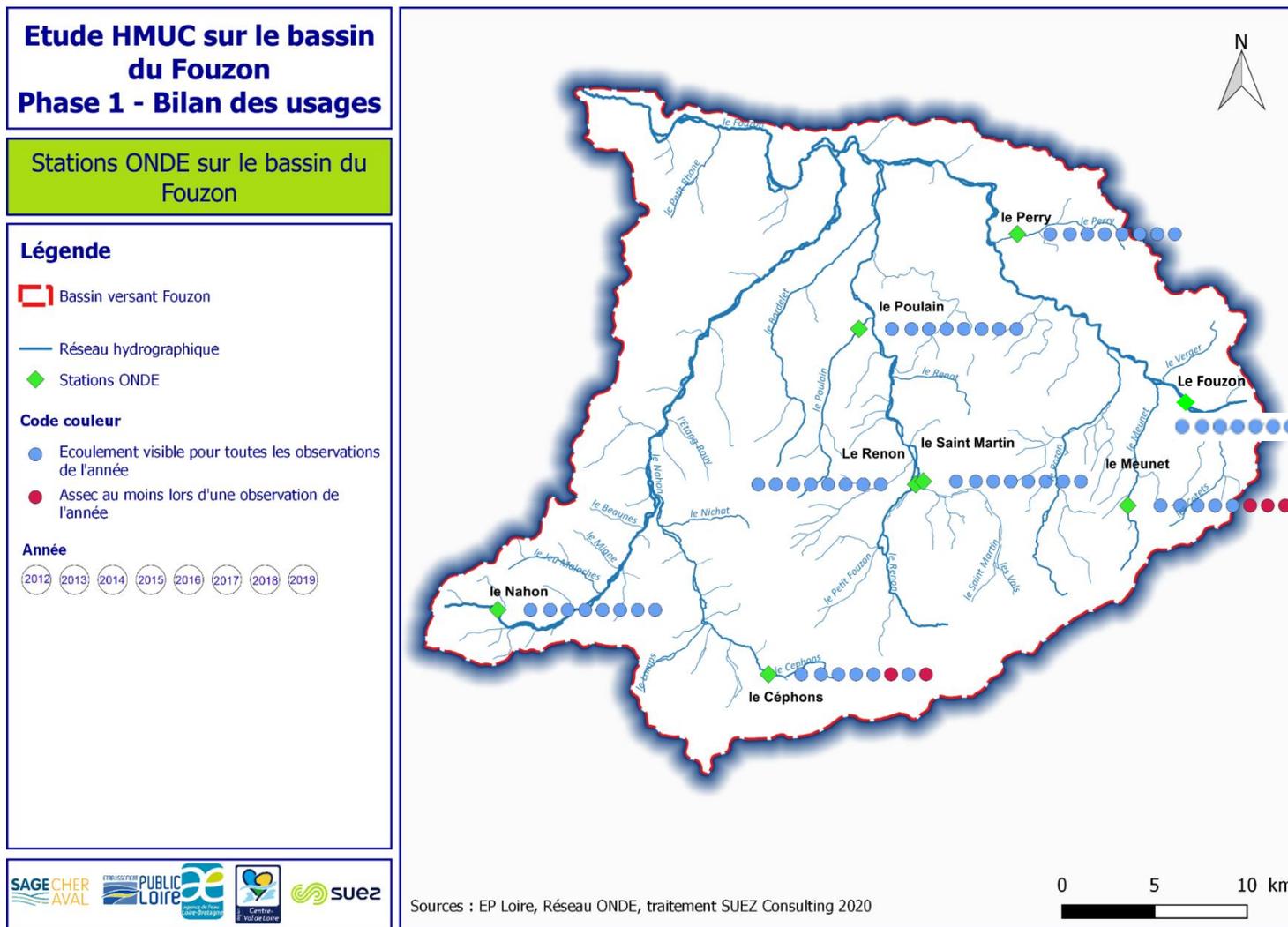


Figure 22 : BV Fouzon - Localisation des stations ONDE et bilan 2012-2019 des observations (Sources : EP Loire, OFB, SUEZ Consulting 2020)

Tableau 12 : Tableau récapitulatif des stations ONDE

Dépt.	Code ONDE	Station	Observations			
			Absence de données	Assec	Écoulement non visible	Écoulement visible
18	K6510001	Le Fouzon à Nohant-en-Graçay	2	0	0	53
36	K6530001	Le Renon à Guilly	2	0	0	52
36	K6540001	Le Poulain à Poulaines	2	0	0	52
36	K6570001	Le Céphons à Levroux	1	4	0	49
36	K6560001	Le Nahon à Heugnes	2	0	0	52
36	K6520001	Le Perry à Anjouin	2	0	0	52
36	K6530002	Le Saint Martin à Guilly	2	0	0	52
36	K6510002	Le Meunet à Meunet sur Vatan	1	9	1	43

La plupart des stations présentent des observations d’écoulement visible chaque année depuis 2012 sur toute la durée de la campagne lors des inspections des agents de l’OFB.

Seuls 2 cours d’eau présentent des perturbations d’écoulement (assec ou écoulement non visible) lors des observations depuis 2012 :

- Le **Meunet** a été observé en assec en août et septembre 2017 puis en écoulement non visible en octobre 2017 et a présenté de nouveaux assecs d’août à octobre 2018 et de juillet à octobre 2019.
- Le **Céphons** a été observé en assec en octobre 2017 et d’août à octobre 2019.

4.3 Analyse des situations de crise

4.3.1 Cadre général

La loi n°92-3 adoptée le 3 janvier 1992, promulgue que l’eau fait partie du patrimoine commun de la nation. Sa protection, sa mise en valeur et le développement de la ressource utilisable sont d’intérêt général. Les dispositions de cette loi visent à une gestion équilibrée de la ressource en eau.

Les **mesures générales ou particulières** prévues par la loi du 3 janvier 1992 **pour faire face aux risques** ou aux conséquences d’accidents, de **sécheresse**, d’inondations et de pénuries sont prescrites par **arrêté des préfets des départements**. Ils définissent les **mesures et les seuils de déclenchement des restrictions d’usage** à appliquer au cours de la période d’étiage. Chacun de ces arrêtés définit des unités de gestion (ou zones d’alerte) hydrographiquement et hydrogéologiquement cohérentes. En période de basses eaux, l’atteinte des valeurs seuils entraîne la mise en place de restrictions de prélèvements graduelles jusqu’à l’interdiction totale des prélèvements. La graduation des mesures doit permettre d’anticiper la situation de crise et doit en tout état de cause **prévenir le franchissement** de débits ou niveaux en dessous desquels sont **mis en péril l’alimentation en eau potable et le bon fonctionnement des milieux aquatiques**.

L’analyse de l’historique de ces arrêtés permet de caractériser les phénomènes d’étiage sur le bassin versant et de suivre les mesures de restriction ou d’interdiction des prélèvements afin de limiter leur impact sur les masses d’eau. Les arrêtés-cadres les plus récents ont été collectés et étudiés, et une analyse des arrêtés sécheresse sur le site Propluvia (<http://propluvia.developpement-durable.gouv.fr/>) a été réalisée afin d’identifier les déséquilibres sur la zone d’étude.

L’objectif de chacun de ces arrêtés est précisé ci-dessous :

- Les **arrêtés cadres**, fixent les débits seuils d’alerte ou de crise des cours d’eau en dessous desquels des mesures de restriction ou d’interdiction des usages de l’eau s’appliquent.
- Les **arrêtés sécheresses** fixent le détail des mesures de restriction ou d’interdiction pour les différents usages de l’eau lorsque les débits seuils sont franchis.

4.3.2 Zone d’application et valeurs seuils

La gestion de crise sur le bassin versant du Fouzon est régie par l’arrêté cadre départemental suivant :

Arrêté préfectoral n° 36-2018-06-15-014 du 15 juin 2018 du département de l’Indre couvrant tout le bassin versant du Fouzon

Sur le Fouzon, des seuils de gestion sont mis en place au niveau de la station hydrométrique de référence à Meusnes (point nodal du SADGE) mais également au niveau de stations locales de jaugeages du service en charge de la police de l’eau (cf. Tableau 13).

Seuls des seuils de débit pilotent la gestion de crise sur le bassin du Fouzon, aucun seuil piézométrique n’est défini actuellement pour piloter plus précisément les nappes souterraines du territoire.

Tableau 13 : BV Fouzon – Stations et débits seuils de gestion de crise (Source : AP n° 36-2018-06-15-014 du 15 juin 2018)

Dépt	Unité de gestion (ou zone d’alerte)	Station de suivi		Débits seuils (m ³ /s)		
				Alerte (DSA) [m ³ /s]	Alerte renforcée (DAR) [m ³ /s]	Crise (DCR) [m ³ /s]
Indre	Fouzon	Station de référence – point nodal SDAGE	Meusnes (41)	0.740	0.610	0.490
	Fouzon	Stations locales de jaugeage du service en charge de la police de l’eau	Le Renon à Poulaines (36)	0,220	0,184	0,147
	Fouzon		Le Nahon à Mennetou-sur-Nahon(36)	0,215	0,180	0,144

A noter que le débit seuil d’alerte (DSA) correspond à 1,50 DCR (débit d’étiage de crise) et le débit d’alerte renforcée (DAR) à 1.25 DCR. Le constat du franchissement d’un débit seuil s’effectue lorsque « le débit journalier de la station de Meusnes est inférieur ou égal pendant 3 jours consécutifs aux seuils d’alerte ».

Pour sortir du plan de crise, deux conditions existent (seule l’une des deux doit être respectée) :

- Le débit de la station du Fouzon à Meusnes est supérieur à 1,25 DCR pendant 3 jours consécutifs ;
- Le débit instantané d’une station locale est supérieur au moins une fois à 1,25 DCR.

La sortie du plan d’alerte renforcée se fait lorsque :

- Le débit de la station du Fouzon à Meusnes dépasse 1,5 DCR pendant 3 jours consécutifs ;
- Le débit instantané d’une station locale est supérieur au moins une fois à 1,5 DCR.

Enfin, le plan d’alerte est levé quand :

- Le débit de la station du Fouzon à Meusnes dépasse 2 DCR pendant 3 jours consécutifs ;
- Le débit instantané d’une station locale est supérieur au moins une fois à 2 DCR.

4.3.3 Historique des arrêtés sécheresse

Depuis 2012, le site Propluvia (<http://propluvia.developpement-durable.gouv.fr/>) permet de visualiser de façon hebdomadaire les niveaux d'alerte appliqués sur les différents bassins hydrographiques du territoire définis dans les arrêtés-cadres sécheresse. Une cartographie de ces restrictions sur le bassin est présentée sur les Figure 23 et Figure 24 pour les mois de juillet à novembre des années 2012 à 2019 (cartographie établie au 1^{er} de chaque mois).

Grâce aux bulletins de situation hydrologique du bassin Loire-Bretagne⁷ publiés chaque mois, une synthèse annuelle de ces cartes a été réalisée :

- ▶ **2012** : étiage plutôt tardif (grâce aux précipitations printanières importantes) et court mais de forte intensité.
- ▶ **2013** : année très humide qui se distingue par l'absence de mesures de restriction sur le bassin versant du Fouzon.
- ▶ **2014** : pas de mesures de restriction sur le bassin versant du Fouzon grâce à d'abondantes précipitations estivales. A cet été humide succède un automne beaucoup plus sec, avec un mois d'octobre le plus chaud depuis 1900. Les précipitations déficitaires de septembre, octobre, novembre et décembre retardent donc fortement le remplissage des nappes et retenues, sans que cela n'entraîne pour autant des mesures de restrictions sur le bassin versant.
- ▶ **2015** : précipitations du mois d'août 1,5 à 3 fois les valeurs normales, ce qui permet de tempérer la sévérité de l'étiage. Cela n'empêche toutefois pas la prise de mesures de restriction, de niveau alerte au 1^{er} août puis alerte renforcée au 1^{er} septembre. Les précipitations de septembre à décembre sont très largement inférieures aux normales de saison, jusqu'à -50% en cumulé.
- ▶ **2016** : Juillet et août sont très largement déficitaires avec une pluviométrie proche de 0 mais les mois précédents ayant été bien arrosés, la situation des nappes, des retenues et des cours d'eau est encore satisfaisante et aucun arrêté sécheresse n'a dû être pris cette année-là.
- ▶ **2017** : des arrêtés sécheresse de niveau alerte renforcée sont déjà pris début juillet sur le bassin versant. Juillet comme août sont très secs, avec des précipitations de l'ordre de -25 à -50% des normales de saison : tout le bassin versant du Fouzon présente au 1^{er} août des mesures de restriction, de niveau « crise » pour la quasi-totalité, remplacées le 7 octobre par des mesures de niveau alerte renforcée, et le 21 octobre par des mesures de niveau alerte. Ces mesures prennent fin le 1^{er} novembre. L'étiage s'est ainsi poursuivi de manière anormalement longue, notamment avec un mois d'octobre très fortement déficitaire, de l'ordre de -50 à -75% par rapport aux normales de saison.
- ▶ **2018** : Août est extrêmement déficitaire, de l'ordre de -50 à -75%. Ainsi, le 13 août des mesures de restriction de niveau alerte renforcée sont prises et passent au niveau de crise le 25 août. Septembre étant également déficitaire, les arrêtés sécheresse se poursuivent jusqu'au 31 octobre pour la totalité du territoire. Au 1^{er} novembre, ces mesures ne sont plus présentes que sur la partie du bassin versant dépendant du Cher.
- ▶ **2019** : Cet été particulièrement sec explique aisément pourquoi des mesures de restriction de niveau « alerte renforcée » sont prises dès le 6 juillet. Ces mesures passent au niveau « crise » le 12 du même mois, maintenues jusqu'au 31 octobre. A partir du 1^{er} novembre, seule la partie Cher du bassin versant présente encore des mesures de restriction. Le 16 novembre, la majeure partie du territoire repasse en alerte, et cela jusqu'au 6 décembre. Les mesures passent alors au niveau de vigilance.

⁷ DREAL Centre Val de Loire, <http://www.centre-val-de-loire.developpement-durable.gouv.fr/bulletins-de-situation-hydrologique-du-bassin-r965.html>

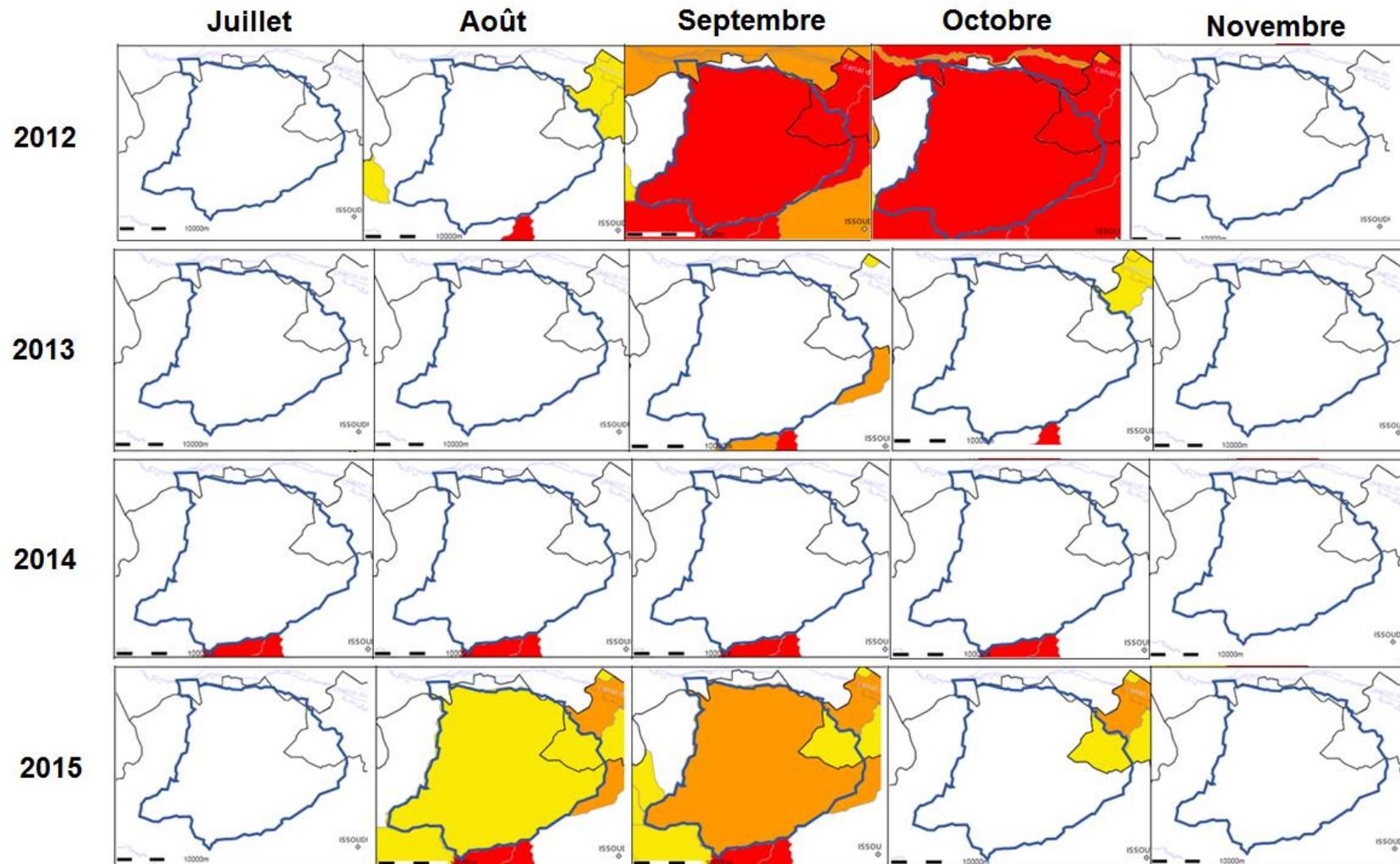


Figure 23 : BV Fouzon – Carte des arrêtés sécheresse au 1^{er} des mois de juillet à novembre de 2012 à 2015 (Sources : Propluvia, SUEZ Consulting 2020)

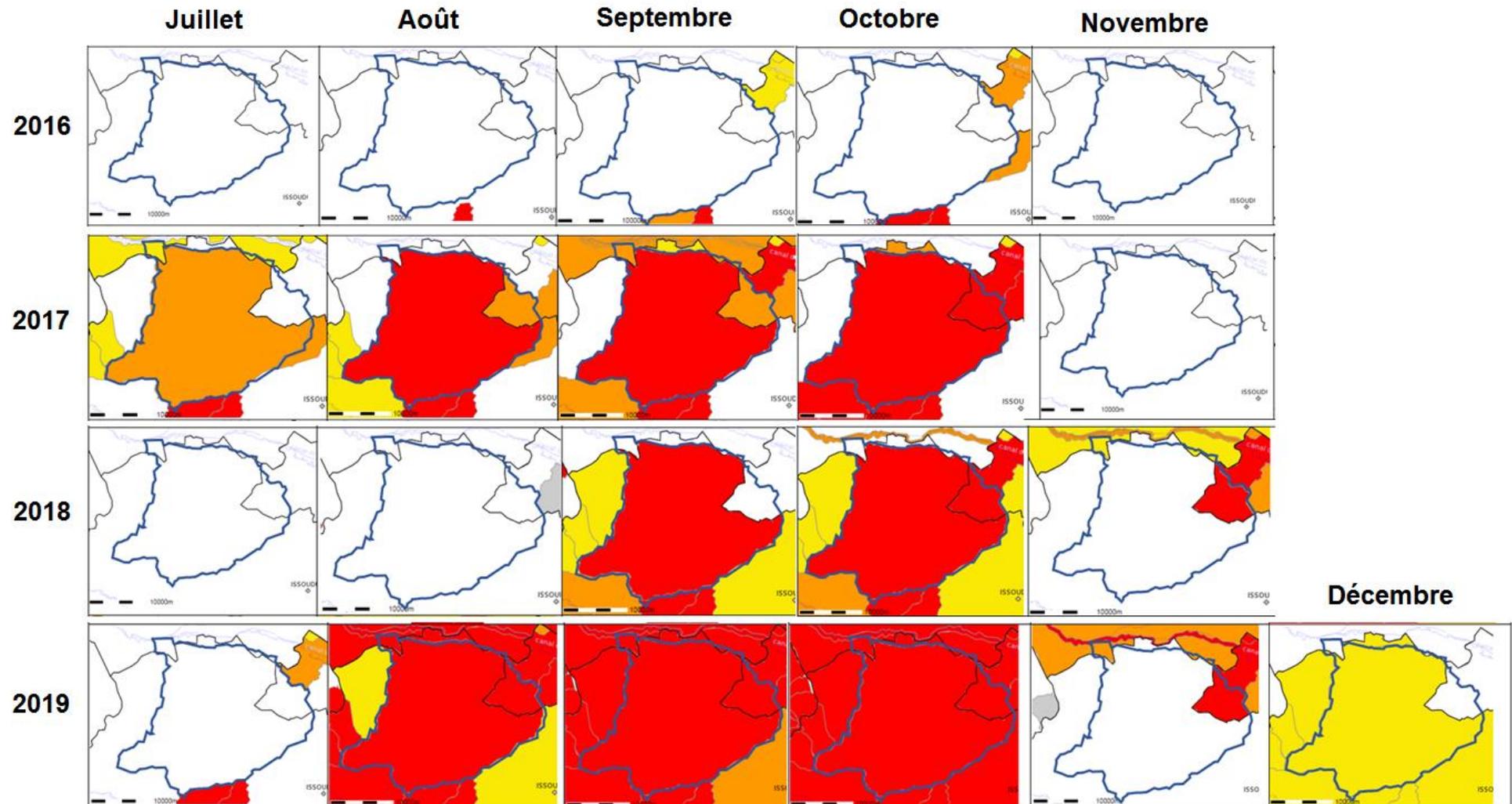


Figure 24 : BV Fouzon – Carte des arrêtés sécheresse au 1^{er} des mois de juillet à novembre de 2016 à 2019 (Sources : Propluvia, SUEZ Consulting 2020)

5 ANALYSE DU FONCTIONNEMENT HYDROGÉOLOGIQUE DU BASSIN VERSANT DU FOUZON

La **campagne de mesures piézométriques** a été menée sur le territoire du bassin versant du Fouzon **du 16 au 20 septembre 2019**, soit en période de **basses eaux**.

Les ouvrages recensés à la banque de données du sous-sol ont été sélectionnés en fonction de la nappe d'eau captée. Ceux-ci ont ensuite été visités et si leur accessibilité le permettait, une mesure de niveau d'eau a été réalisée, couplée à un nivellement à l'aide d'un GPS de terrain.

Durant cette campagne de terrain, le niveau d'eau superficielle a également été nivelé sur une vingtaine de points en rivière répartis sur l'ensemble du bassin-versant.

Les niveaux d'eau ainsi mesurés ont permis la réalisation d'une **carte piézométrique en période de basses eaux de chaque nappe d'eau souterraine** présente sur le bassin versant du Fouzon (Chapitre 0). Ces cartes piézométriques permettent de déterminer les sens d'écoulement des eaux souterraines sur le secteur d'étude. Couplées aux mesures d'eaux superficielles réalisées en rivière, celles-ci permettent également d'évaluer les relations nappe-rivières sur le bassin versant.

5.1 Suivi piézométrique

5.1.1 Points de suivi quantitatif

5.1.1.1 Inventaire des ouvrages existants

Les points d'eau visités sur le terrain ont été préalablement recensés d'après les données disponibles sur la banque de données du sous-sol (BSS).

Afin de déterminer les points d'eau (puits ou forages) pouvant présenter un intérêt pour la campagne piézométrique, l'ensemble des ouvrages recensés en BSS, inclus dans le territoire du bassin versant du Fouzon, ont été étudiés. Les ouvrages rebouchés ou remblayés ainsi que les forages de recherche d'hydrocarbures ont été écartés.

Pour chacun des **538 ouvrages pouvant présenter un accès à la nappe**, une étude des documents et des coupes géologiques et techniques a été réalisée afin de déterminer la masse d'eau captée par chacun des ouvrages. Seuls les ouvrages ne captant qu'une masse d'eau pouvant être identifiée ont été conservés pour la campagne de terrain, soit un **total de 177 points d'eau à visiter**.

La **répartition de ces points dans les différentes masses d'eau** est présentée dans le tableau suivant.

Tableau 14 : Répartition des points d'eau à investiguer sur le bassin versant par aquifère

Nappe	Nombre de points d'eau
Calcaires de Beauce	4
Sénonien-Turonien	44
Cénomaniens – Albien	92
Jurassique supérieur	37
Total	177

Aucun point captant la nappe des alluvions du Cher n'avait pu être identifié à partir des points recensés en BSS. Toutefois, il est à noter que 2 piézomètres ont été récemment installés à Vallenay et Bigny pour mesurer la nappe alluviale du Cher. Ceux-ci restent cependant relativement éloignés de la station hydrométrique de Meusnes.

Les **21 points de mesures de niveau d'eau en rivière** ont été répartis sur l'ensemble du bassin versant.

5.1.1.1 Visite de terrain et mesures

Il n'existe que **7 piézomètres DCE** sur le territoire. Une campagne de mesures piézométriques a été menée sur le territoire du bassin versant du Fouzon.

L'objectif était de réaliser une carte piézométrique de chaque nappe et de caractériser la relation avec la rivière.

Ce suivi a été réalisé durant le mois de septembre 2019. Nos propositions de points de suivi s'orientaient vers des ouvrages existants publics ou des puits et forages accessibles par conventionnement.

Des visites ont été réalisées pour s'assurer des conditions d'accès chaque ouvrage et de son bon état. Les mesures suivantes ont été réalisées :

- Accessibilité de l'ouvrage ;
- Niveau d'eau ;
- Nivellement topographique du repère de mesure ;
- Etat de l'ouvrage ;
- Photographie de l'ouvrage.

Pour cela, des GPS de terrain de précision 10 cm ont été utilisés pour le nivellement des ouvrages, ainsi que des sondes piézométriques manuelles de 50 à 100 m (graduation au cm) pour la mesure du niveau d'eau.

Le suivi concernait forfaitairement jusqu'à un maximum de 110 à 120 points de mesure, dont 10 à 20 points mesurant le fil d'eau des cours d'eau, pour corrélation.

Sur les **177 points d'eau retenus après inventaire** bibliographique, **158 ont été visités**. Les 19 points d'eau restants n'ont pas été visités car des points d'eau proches captant le même aquifère avaient pu être mesurés.

Sur les 158 points visités, **seuls 64 ouvrages étaient accessibles** pour réaliser une mesure de niveau d'eau.

Les raisons pour lesquelles les 94 autres points d'eau n'ont pu être mesurés sont les suivantes :

- Ouvrages non trouvés (19)
- Ouvrages situés sur un terrain privé où le propriétaire n'était pas présent (26)
- Refus d'accès par le propriétaire (3)
- Sonde coincée dans l'ouvrage (1)
- Ouvrages trouvés mais comblés/condamnés/inaccessibles pour la mesure (tête scellée, etc.) (32)
- Ouvrages exploités pour lesquels le niveau statique n'est pas fiable (8 captages AEP, 1 forage agricole, 1 forage utilisé par une fromagerie)
- 3 mesures/estimations moins fiables ou inutilisables (estimation du niveau à l'aide d'un bâton car racines gênant le passage de la sonde, estimation du niveau d'eau par le propriétaire sur puits inaccessible, puits sec) (3).

A l'issue de cette campagne, une fiche descriptive par ouvrage mesuré a été réalisée, présentant les caractéristiques de celui-ci (profondeur, niveau d'eau mesuré durant la campagne, accès, photographie).

5.1.1.2 Points de suivi inventoriés et visités

Les cartes suivantes présentent respectivement :

- Les **538 répertoriés à la BSS** sur le bassin versant du Fouzon (Figure 25),
- Les **177 points retenus** pour la campagne de terrains (Figure 26), pour lesquels la nappe captée a pu être identifiée.

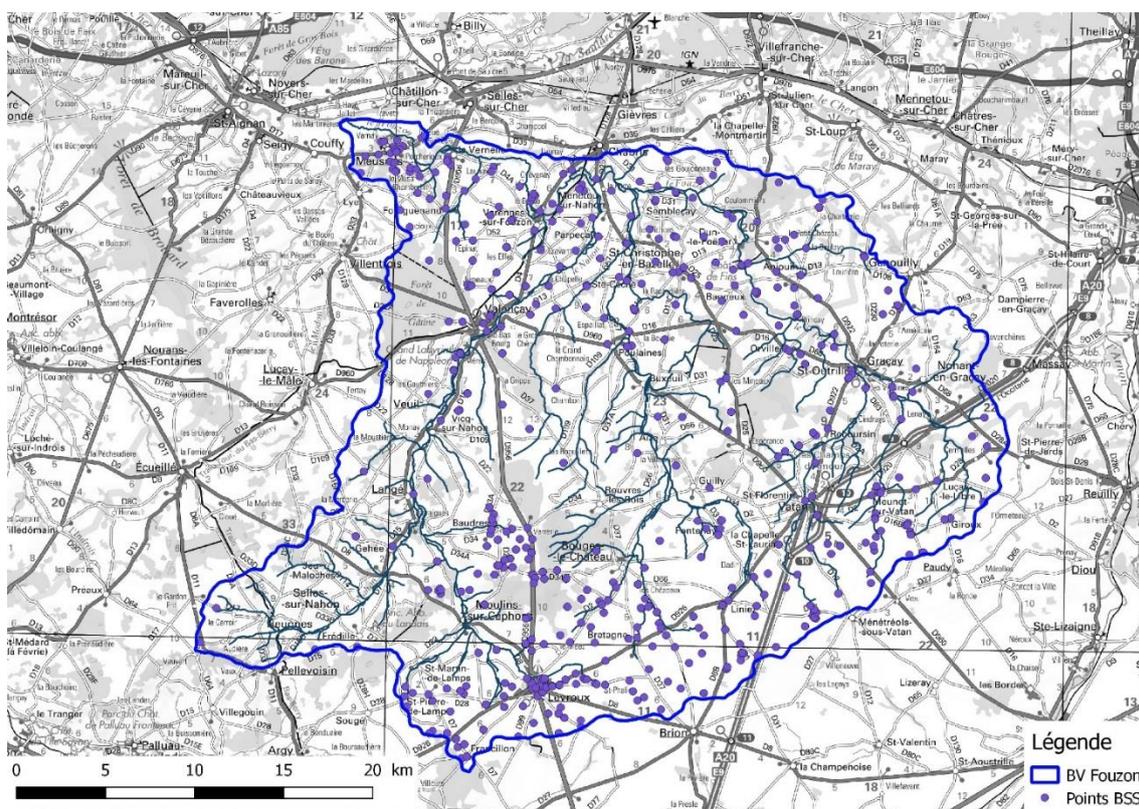


Figure 25 : Localisation des points BSS recensés sur le bassin versant (hors ouvrages rebouchés, remblayés, et forages de recherche d'hydrocarbures)

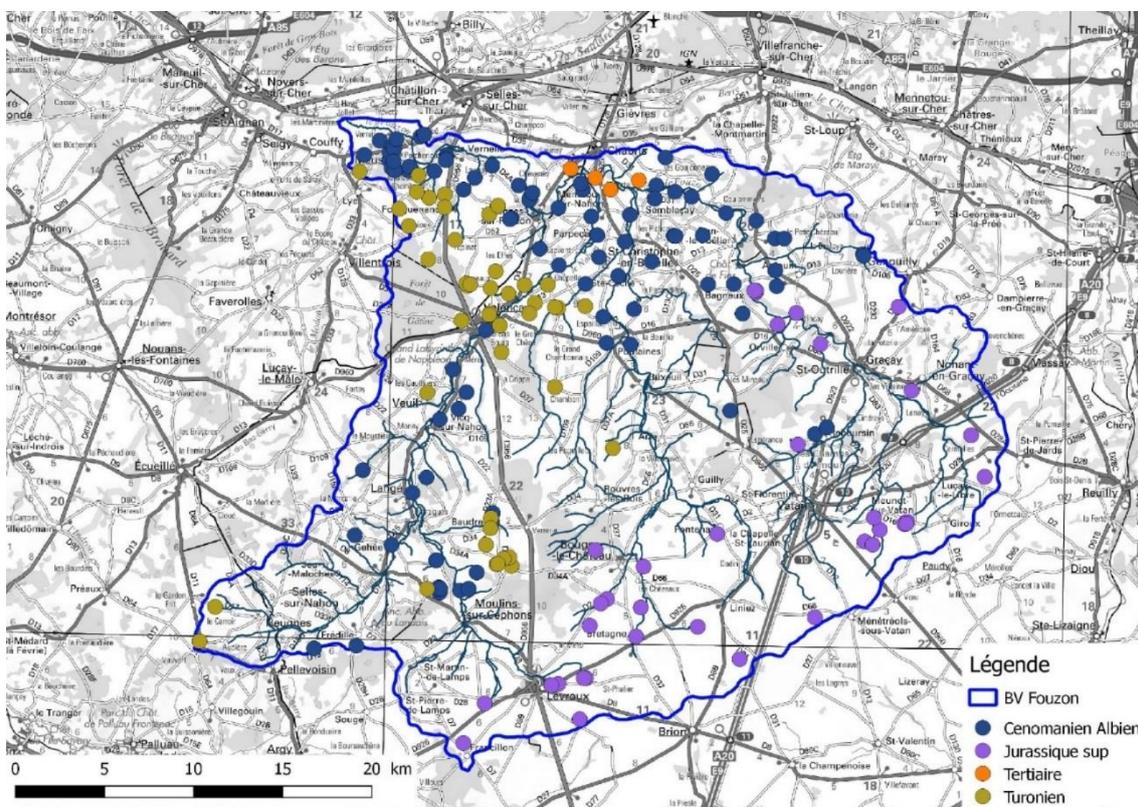


Figure 26 : Localisation des points BSS pour lesquels la nappe captée est identifiée (177 points)

5.1.1.3 Points de suivi retenus pour la carte piézométrique

La carte suivante (Figure 27) présente **les 64 points d'eau accessibles** qui ont pu être mesurés durant la campagne de terrain réalisée en septembre 2019, ainsi que **les 21 points de mesure de niveau d'eau superficielle** réalisés en rivière. La localisation de ces points est celle réalisée avec le GPS de terrain d'une précision de 10 cm.

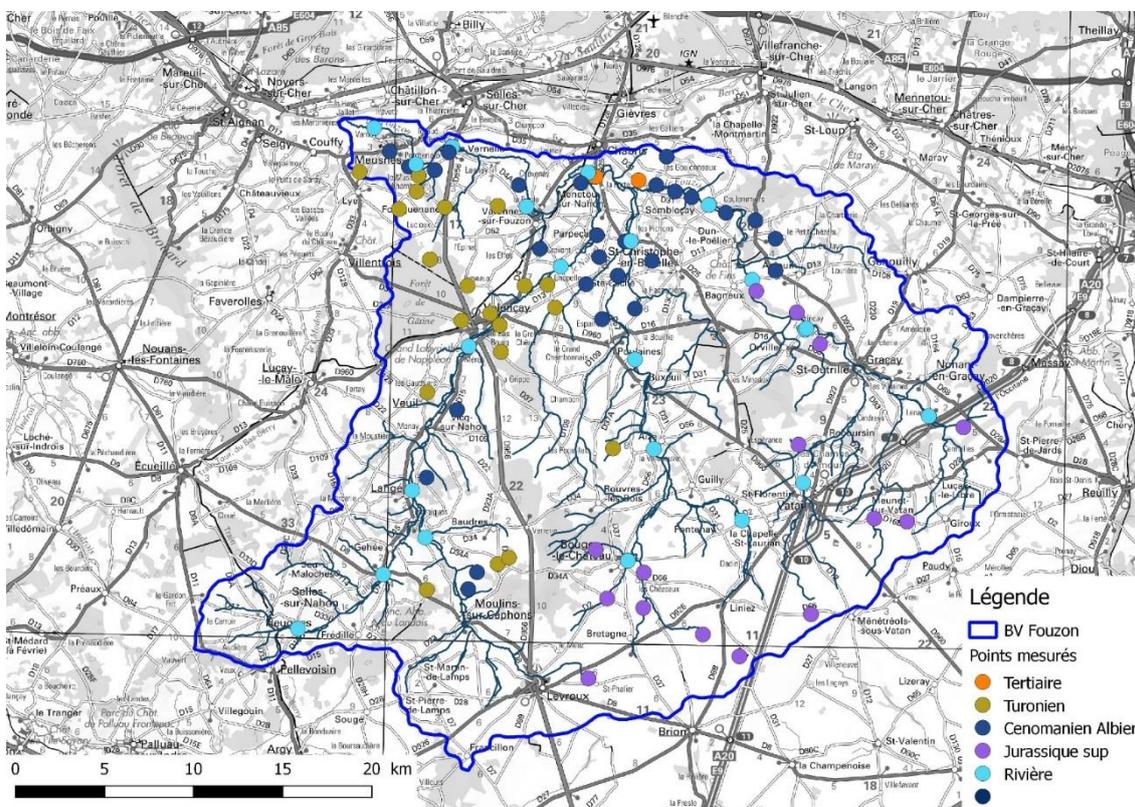


Figure 27 : Localisation des points mesurés y compris en eau superficielle (64 ouvrages souterrains et 21 points en rivière)

Les points d’eau mesurés par masse d’eau sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 15 : Répartition des points d’eau investigués sur le bassin versant par aquifère

Nappe	Nombre de points d’eau (pourcentage par rapport aux points BSS retenus pour la campagne de terrain)
Calcaires de Beauce	2 (50%)
Sénonien-Turonien	20 (45%)
Cénomaniens – Albien	27 (29%)
Jurassique supérieur	15 (41%)
Points non répertoriés initialement	4
Total	64 (36%) + 4 = 68

Toutefois, à la suite de l’étude des niveaux piézométriques, certains points dont la géologie était connue ou non initialement, ont pu être associés à une masse d’eau. Ces points sont présentés dans le tableau suivant (Tableau 16).

Tableau 16 : Répartition des points d’eau à investiguer sur le bassin versant par aquifère

Point	Géologie initiale	Géologie finale	Commentaire
Point Chabris	-	Tertiaire	Au vu du niveau mesuré et de la différence avec le niveau enregistré au château d’eau à proximité, ce point semble capter la nappe du Turonien.
BSS001HSXD	Cénomaniens	?	Niveau un peu bas pour le Cénomaniens, peut être expliqué par un niveau dynamique. Ce point n’est pas pris en compte pour la carte piézométrique.
BSS001HSQT	Cénomaniens	Turonien	La coupe géologique disponible sur la BSS fait référence à la nappe du Cénomaniens mais les documents initiaux indiquent que le captage capte la nappe du Turonien. Au vu du niveau piézométrique mesuré durant la campagne, ce point a été attribué à la nappe du Turonien.
Bois Pontois	-	Turonien	Point non prévu à la campagne qui semble capter la nappe du Turonien.
Bourpaillou	-	Turonien	Point non prévu à la campagne qui semble capter la nappe du Turonien.
Bois d’Anjou	-	Turonien	Point non prévu à la campagne qui semble capter la nappe du Turonien.
BSS001KFBN	Turonien	Cénomaniens	Compte tenu de sa profondeur et du fait qu’il soit artésien, ce forage semble ne pas capter le Turonien mais le Cénomaniens.

Ainsi, les points retenus pour réaliser les cartes piézométriques sont les suivants (Figure 28 et Tableau 17).

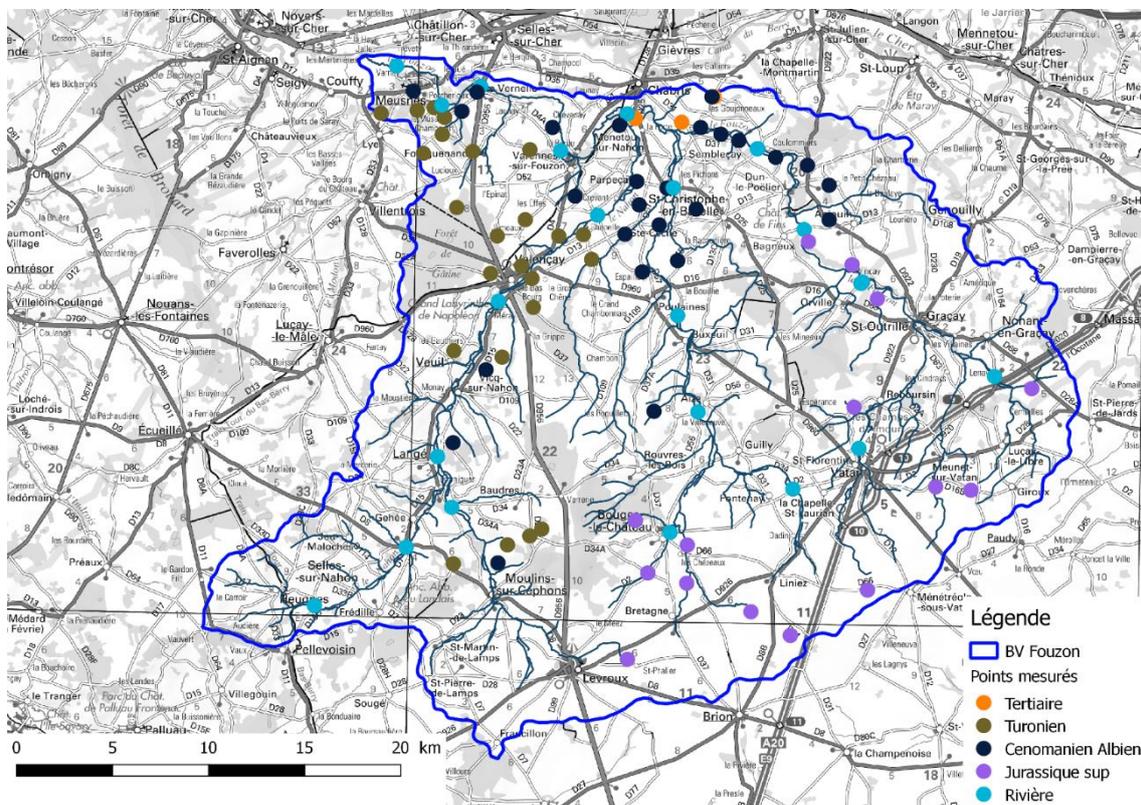


Figure 28 : Localisation des points mesurés y compris en eau superficielle (68 ouvrages souterrains et 21 points en rivière)

Tableau 17 : Répartition des points d'eau utilisés pour la carte piézométrique sur le bassin versant par aquifère

Nappe	Nombre de points d'eau
Calcaires de Beauce	3
Sénonien-Turonien	24
Cénomaniens – Albien	26
Jurassique supérieur	15
Total	68

Globalement, ces points d'eau sont répartis sur l'ensemble du bassin versant du Fouzon.

Les représentations des points d'eau par rapport à leurs masses d'eau respectives sont présentées dans les sous-chapitres 5.1.1.3.1 à 5.1.1.3.5.

La répartition des points en fonction de l'aquifère capté est liée à la profondeur de celui-ci. En effet, les points d'eau mesurés captent généralement le premier aquifère (le plus superficiel), d'où la répartition hétérogène des points par masse d'eau (cf. sous-chapitres 5.1.1.3.1 à 5.1.1.3.5), ceux-ci étant peu nombreux voire inexistant dans les zones où la masse d'eau est sous recouvrement d'une autre masse d'eau.

5.1.1.3.1 FRGG109 - Nappe alluviale du Cher

Le Cher s'écoule sur une formation alluviale comprenant des alluvions anciennes, subactuelles et actuelles. Ces dépôts qui composent le substratum de la plaine alluviale sont, pour la plus grande partie, noyés puisqu'ils contiennent une nappe alluviale. Cette nappe est en liaison hydraulique avec le Cher et avec les différentes nappes sur lesquelles repose la formation alluviale.

Aucun point captant la nappe des alluvions du Cher n'a pu être identifié à partir des points récénces en BSS.

On notera toutefois que la nappe des alluvions du Cher ne concerne qu'une très petite partie du secteur d'étude (cf. figure suivante). De plus au vu du contexte hydrogéologique, les alluvions du Cher sont très probablement en relation hydraulique étroite avec la nappe du Cénomaniens.

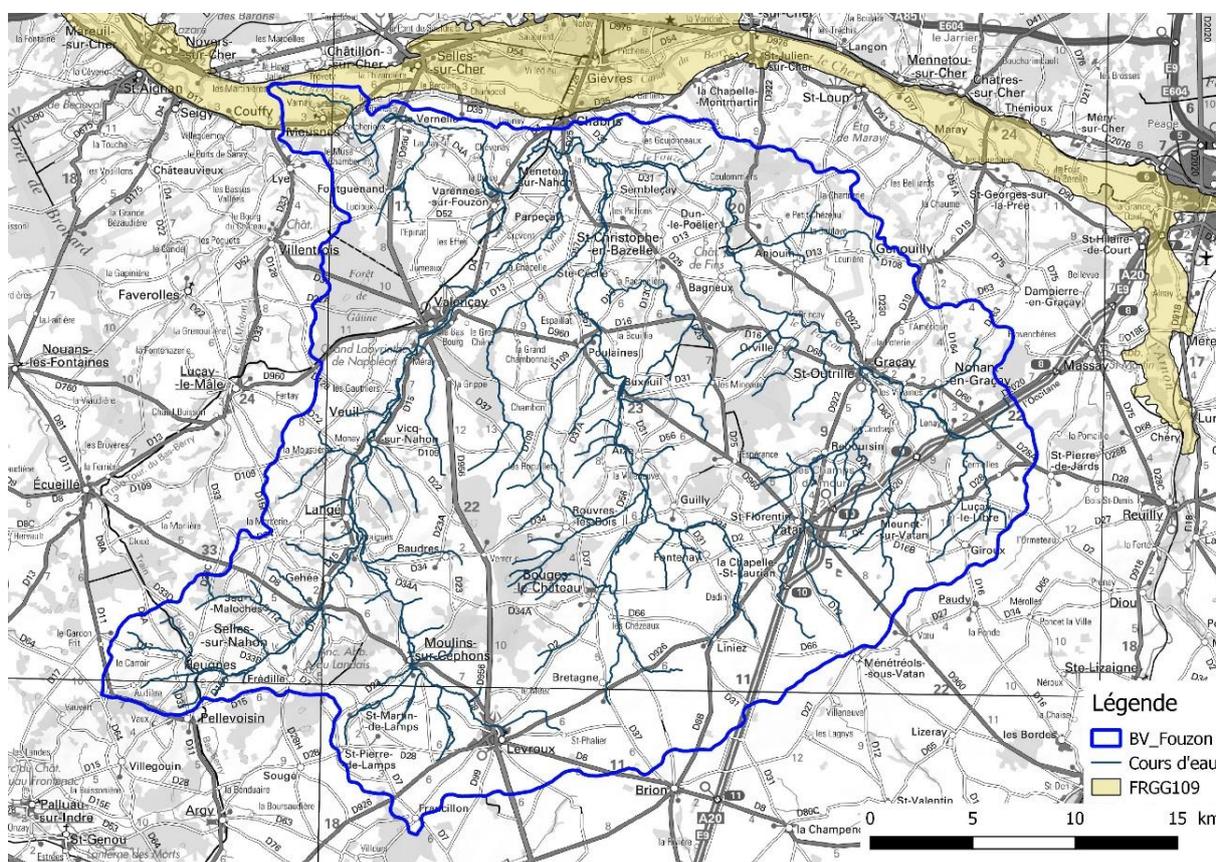


Figure 29 : Masse d'eau FRGG109 - Nappe alluviale du Cher

5.1.1.3.2 FRGG093 - Aquifère des Calcaires de Beauce

Les calcaires lacustres présentent dans le détail une succession de bancs calcaires et marneux, interrompus par un épisode marin avec les Sables de Fontainebleau. Ce système comprend plusieurs unités aquifères ayant chacune leurs particularités, dont les principales sont du sommet vers la base :

- Le Calcaire de Pithiviers, sur la moitié ouest de la Beauce ;
- Le Calcaire d’Etampes, séparé du précédent par une couche semi-perméable (la Molasse du Gâtinais), et dénommé, à l’Est, calcaire du Gâtinais ;
- Le Sable de Fontainebleau, dans la moitié nord-est de la Beauce, directement sous le calcaire précité ;
- Le Calcaire de Brie, au Nord-Est ;
- Le Calcaire de Champigny, plus largement étendu au Nord-Est.

Trois points captant les calcaires de Beauce ont pu être mesurés durant la campagne piézométrique (Figure 30). Ces points sont répartis sur la petite partie de cette masse d’eau comprise dans le bassin versant du Fouzon. Ces points n’ont pas fait l’objet d’un tracé piézométrique dédié au vu de la faible extension de la nappe d’eau sur le secteur d’étude et du faible nombre de points disponibles.

Toutefois, les trois points de mesures de la nappe des calcaires de Beauce sur notre secteur d’étude semblent présenter un écoulement en direction du Fouzon. Ces points présentent des niveaux supérieurs à la nappe du Cénomaniens Albien sur ce secteur.

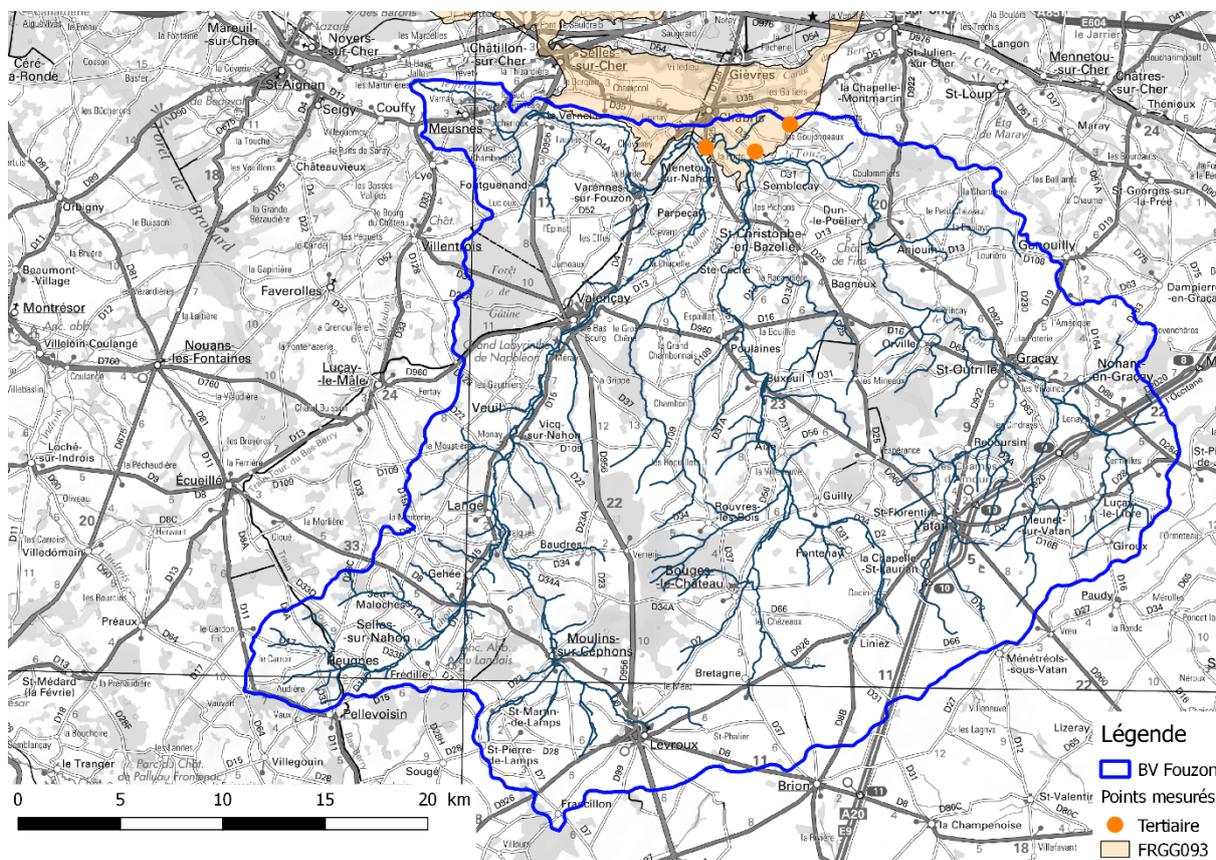


Figure 30 : Masse d’eau FRGG093 - Aquifère des Calcaires de Beauce et points d’eau mesurés associés

5.1.1.3.3 FRGG085 - Aquifère du Sénonien – Turonien

La craie du Sénonien-Turonien est un ensemble de composition verticale inégale. Les principales subdivisions sont :

- Sénonien : craie blanche à silex (Craie de Blois, Craie de Villedieu)
- Turonien sup : tuffeau de Touraine
- Turonien moy : craie se chargeant progressivement en argile vers la base
- Turonien inf : craie marneuse, pratiquement imperméable.

La nappe du Turonien est dans sa grande majorité libre, bien qu'elle soit souvent recouverte d'une couche plus ou moins importante d'argiles à silex.

La figure suivante présente les 24 points captant cet aquifère ayant pu être mesurés. Ceux-ci sont en majorité situés en aval du bassin versant, avec toutefois quelques points de mesure en amont, proches de la limite d'extension de la masse d'eau.

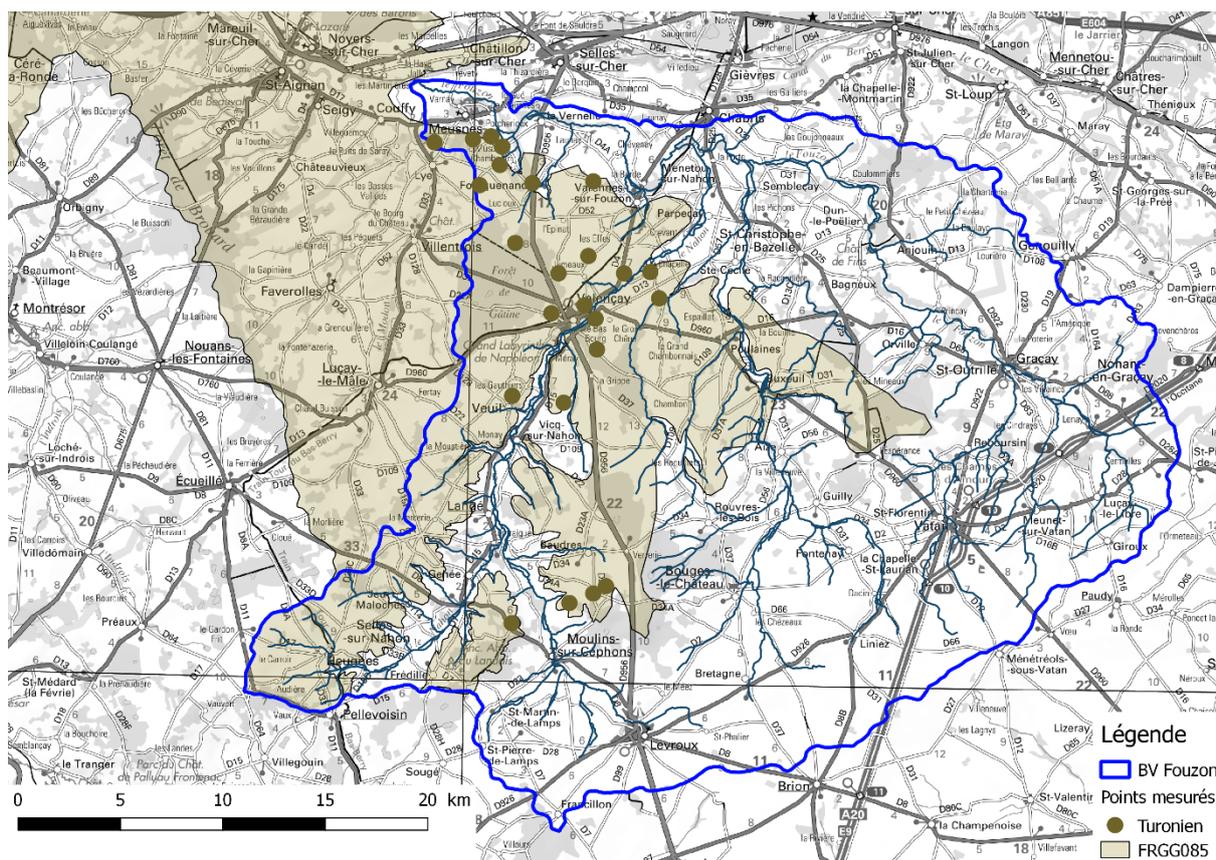


Figure 31 : Masse d'eau FRGG085 - Aquifère du Sénonien – Turonien et points d'eau associés mesurés

5.1.1.3.4 FRGG122 / FRGG142 – Aquifères libre et captif du Cénomaniens – Albien

Le réservoir aquifère du Cénomaniens est constitué principalement par les niveaux sableux (sables du Perche, de Varennes et de Vierzon). Les marnes à Ostracées recouvrent et protègent partiellement ceux-ci, sur la majeure partie de l'aquifère, pouvant assurer localement la mise en charge de la nappe. Il s'agit d'un aquifère de type poreux, où l'eau s'accumule et s'écoule dans les interstices des sables.

Les deux masses d'eau qui composent cet aquifère sont :

- FRGG122 : Sables et grès du Cénomaniens unité de la Loire libre
- FRGG142 : Sables et grès du Cénomaniens du bassin versant de la Loire captifs au sud de la Loire

Les 26 points mesurés captant cet aquifère sont principalement situés au Nord du bassin versant, où l'aquifère est le premier, non recouvert par d'autres aquifères sus-jacents.

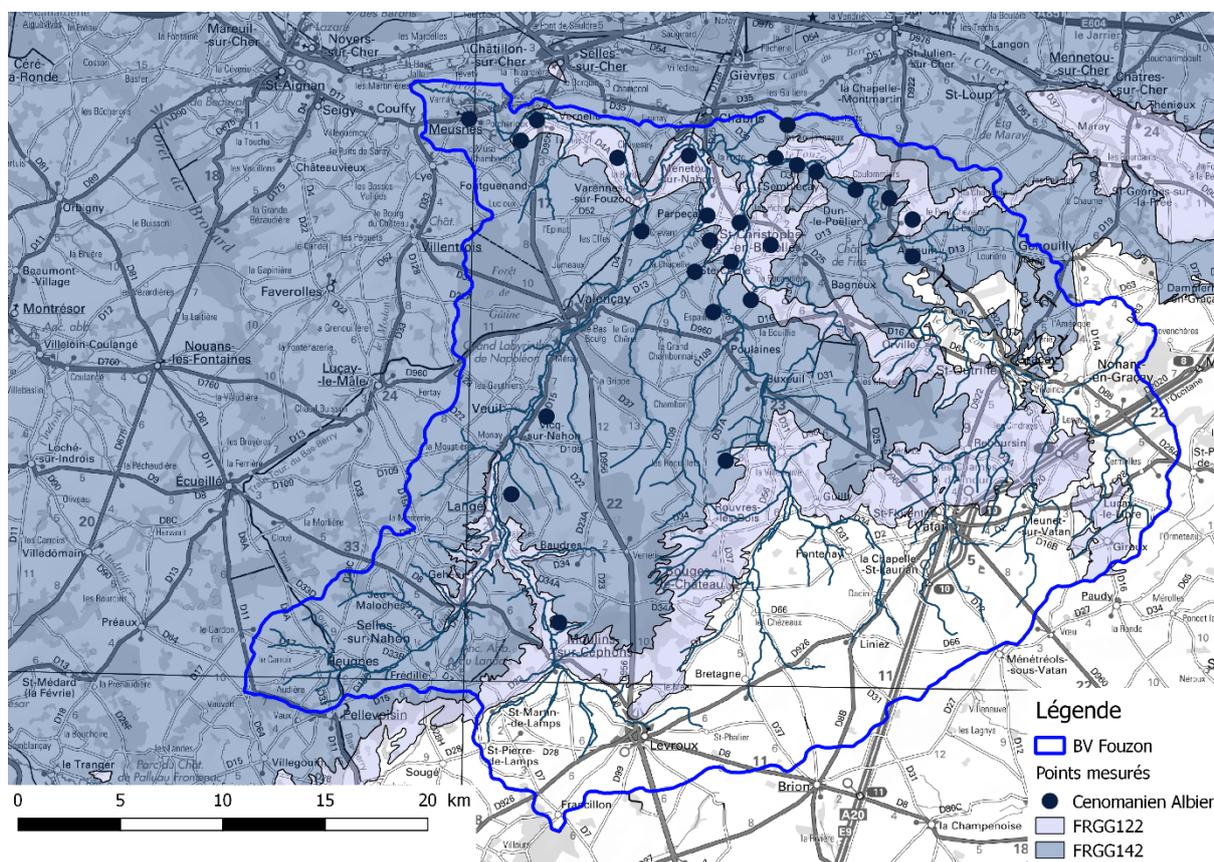


Figure 32 : Masse d'eau FRGG122 / FRGG142 – Aquifères libre et captif du Cénomaniens – Albien et points associés mesurés

5.1.1.3.5 FRGG076 / FRGG073 - Aquifères libre et captif du Jurassique supérieur

Les formations jurassiques constituent en fait un grand ensemble, caractérisé par une succession de marne ou d'argile, et de calcaire. Les réservoirs aquifères correspondent aux bancs calcaires. Ces formations affleurent dans la partie sud du bassin du Fouzon et plongent globalement vers le nord, et se trouvent en profondeur sous les couvertures sédimentaires d'âge plus récent.

Le Jurassique supérieur ou Malm se compose du Tithonien inférieur et de l'Oxfordien moyen et du Kimméridgien inférieur. Les deux masses d'eau qui composent cet aquifère sont :

- FRGG073 : Calcaires du Jurassique supérieur captifs
- FRGG076 : Calcaires et marnes du Jurassique supérieur du bassin versant du Cher libres

Les 15 points d'eau mesurés captant l'aquifère du Jurassique supérieur sont situés en amont du bassin versant, où l'aquifère est le premier, non recouvert par d'autres aquifères sus-jacents comme c'est le cas en aval du bassin versant.

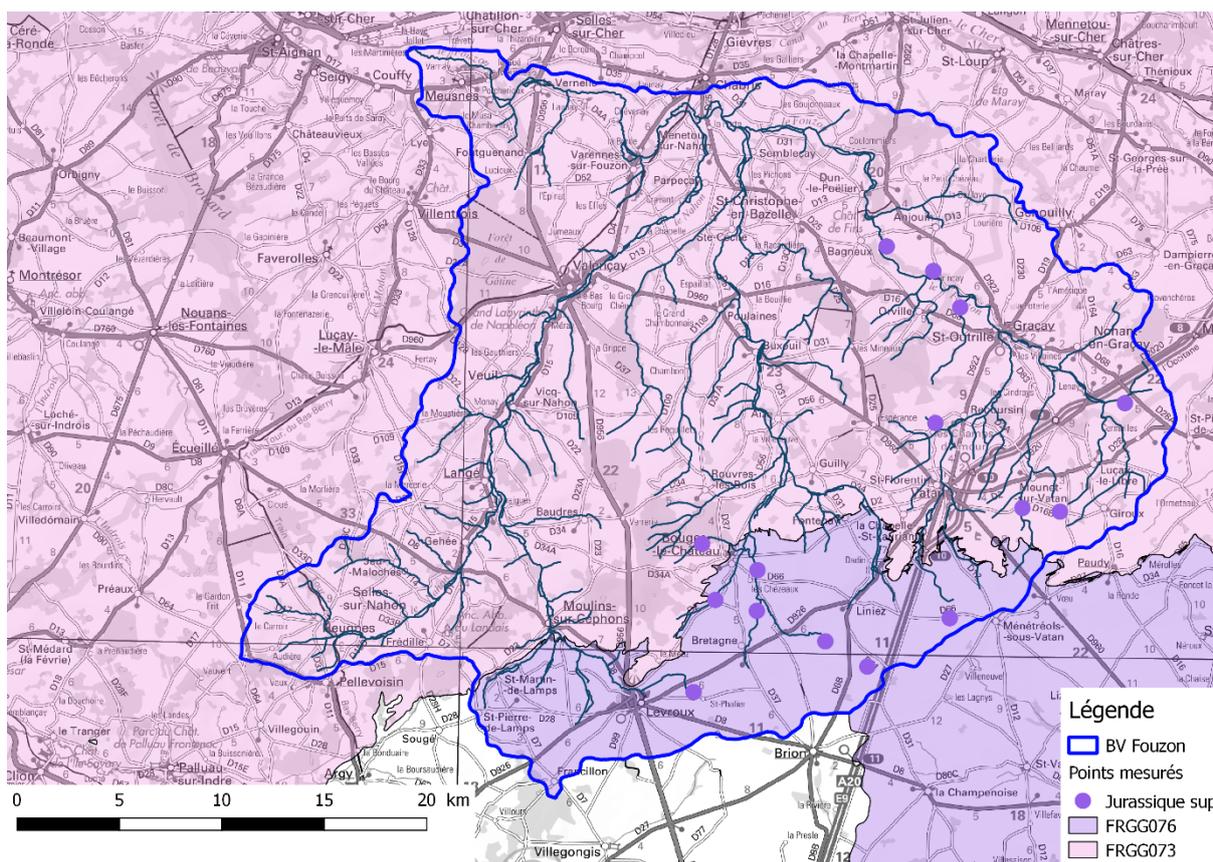


Figure 33 : Masse d'eau FRGG076 / FRGG073 - Aquifères libre et captif du Jurassique supérieur

5.1.1.3.6 Points en rivière

La mesure du niveau du fil d’eau a pour objectif de caractériser la relation entre les différentes nappes souterraines et le Fouzon ainsi que ses affluents. Les points en rivière mesurés sont répartis sur l’ensemble du bassin du versant du Fouzon.

Un point de mesure a été ajouté dans la partie aval du Fouzon, en amont de la partie susceptible d’être connectée aux alluvions du Cher.

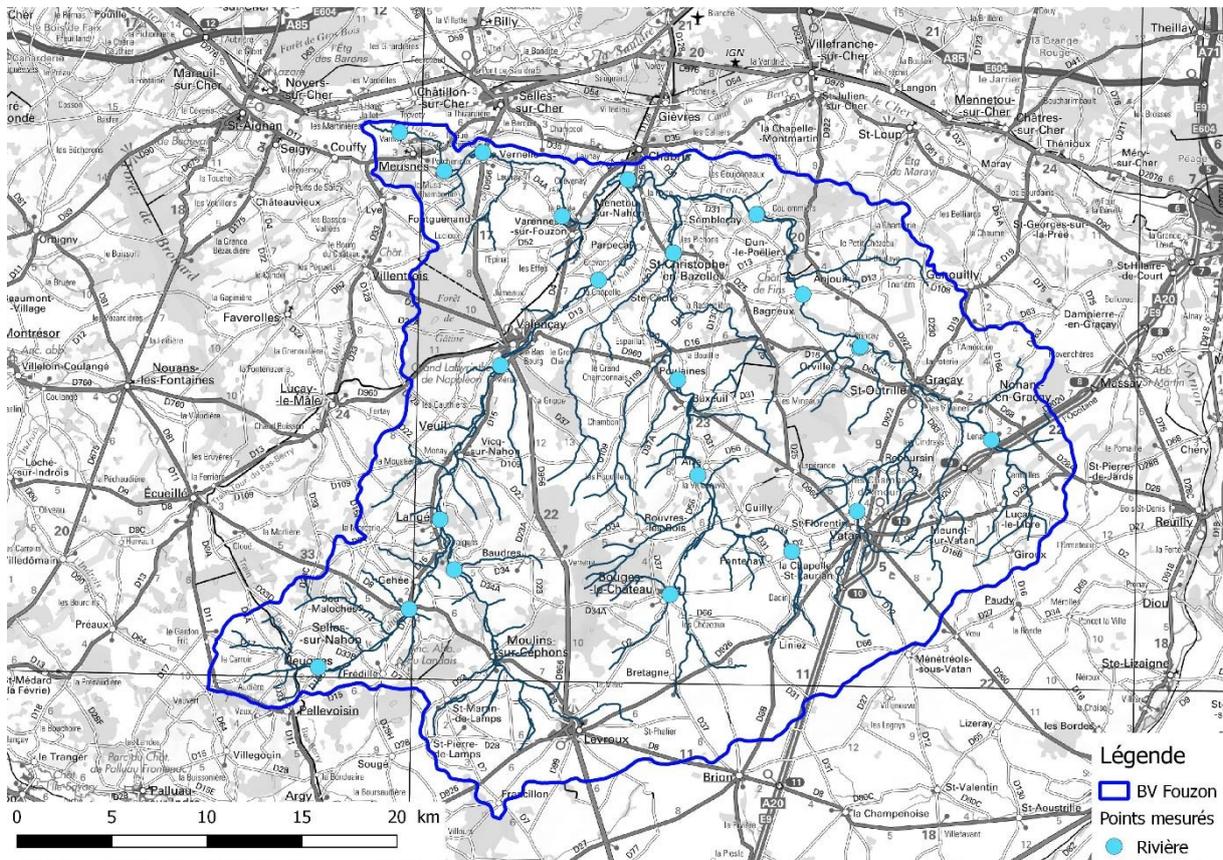


Figure 34 : Points de mesure en eau superficielle (rivière)

5.1.2 Analyse des chroniques piézométriques

Les points ADES (Portail national d’accès aux données sur les eaux souterraines) disposant de données quantités (suivi piézométriques) présents sur le bassin versant du Fouzon ou à proximité de celui-ci sont présentés sur la figure et le tableau suivants, en fonction de la masse d’eau captée (Figure 35 et Tableau 18).

Les chroniques piézométriques disponibles par masse d’eau sont présentées dans les sous-chapitres 5.1.2.1 à 5.1.2.3.

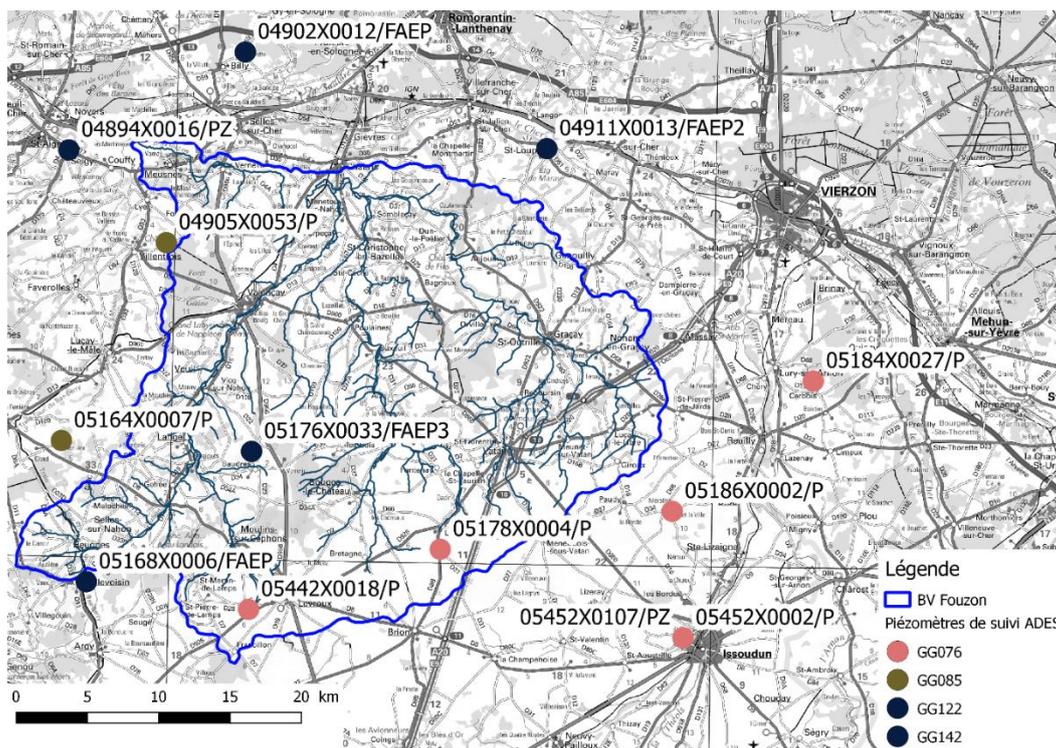


Figure 35 : Localisation des points de suivis piézométriques ADES

Tableau 18 : Points de suivis piézométriques ADES

Ancien code BSS	Nouveau code BSS	Masse d’eau captée
05178X0004/P	BSS001KFHD	GG076
05186X0002/P	BSS001KFUV	
05442X0018/P	BSS001LNJT	
05184X0027/P	BSS001KFQN	
05452X0002/P	BSS001LQED	
05452X0107/PZ	BSS001LQJN	
04905X0053/P	BSS001HSRU	GG085
05164X0007/P	BSS001KEVY	
04911X0013/FAEP2	BSS001HTAM	GG122
s04902X0012/FAEP	BSS001HRVF	GG142
04894X0016/PZ	BSS001HRJU	
05176X0033/FAEP3	BSS001KFEB	
05168X0006/FAEP	BSS001KEZG	

5.1.2.1 Nappe du Turonien

Les suivis piézométriques des points captant l'aquifère du Séno-Turonien « masse d'eau FRGG085 » sont présentés sur la figure suivante (Figure 36).

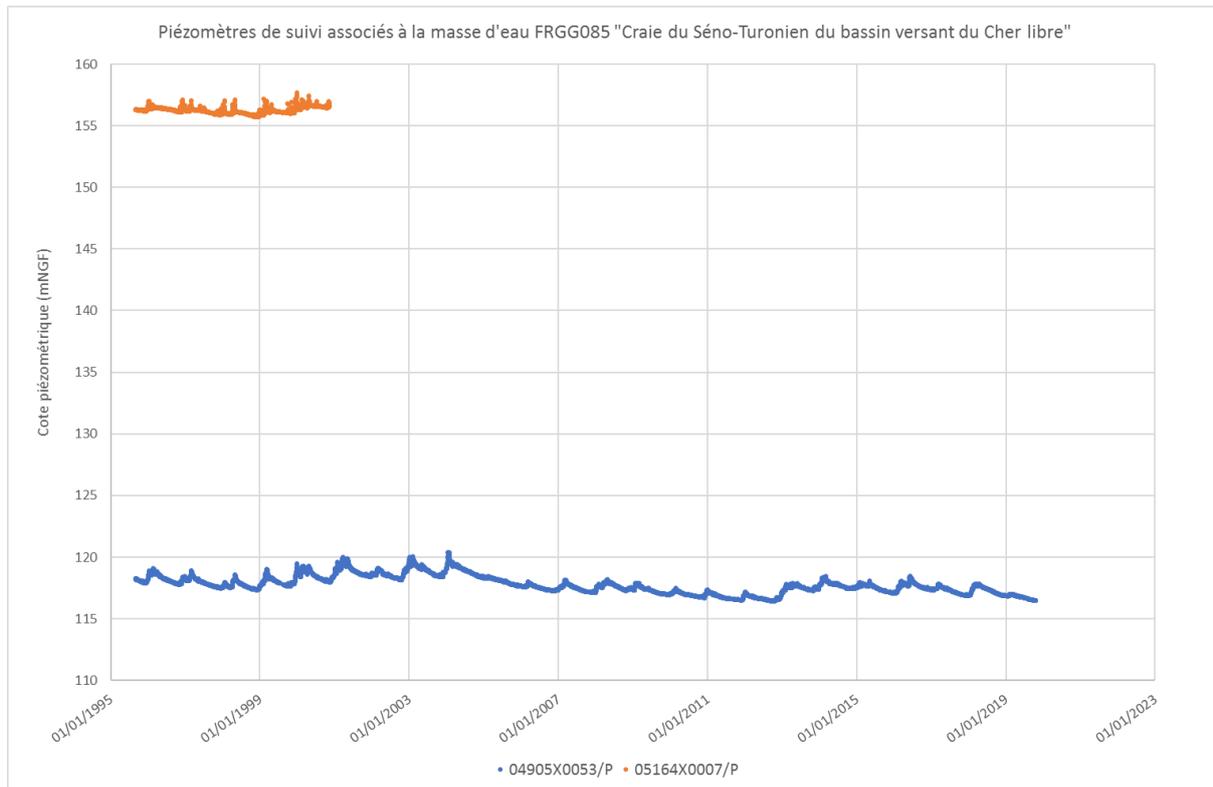


Figure 36 : Chroniques piézométriques des points de suivi associés à la masse d'eau FRGG085 (source : ADES) – voir Figure 37 pour le zoom sur la chronique du point BSS 04905X0053/P

Seul le point BSS 04905X0053/P présente une chronique suffisamment longue pour cette masse d'eau sur le secteur du bassin versant (Figure 37).

Ce point présente des cycles annuels marqués par une période de hautes eaux vers les mois de février-mars et une période de basses eaux vers les mois d'octobre-novembre-décembre. Ces cycles sont caractérisés par une fluctuation piézométrique de l'ordre d'un mètre.

La chronique de ce point de suivi semble également mettre en évidence un cycle pluriannuel, avec une vidange et un remplissage marqué par une amplitude piézométrique de plusieurs mètres. On note que la remontée des niveaux peut être rapide alors que la baisse des niveaux est plus lente et régulière, caractérisant ainsi une vidange lente et continue de cette nappe lors des périodes d'absence de recharge pluviométrique.

On note que l'année 2005 présente une faible recharge entraînant une baisse de niveau piézométrique. C'est également le cas pour l'année 2002 mais dans une moindre mesure. On note le même phénomène sur la nappe du jurassique supérieur. Les nappes captives du secteur ne présentent pas ce phénomène car elles sont alimentées en grande partie par drainance.

Les prélèvements pour l'année 2005 sont proches de la moyenne. En revanche l'année 2005 présente une pluviométrie faible (550 mm) ce qui semble être la cause principale de la baisse de niveau piézométrique sur cet aquifère.

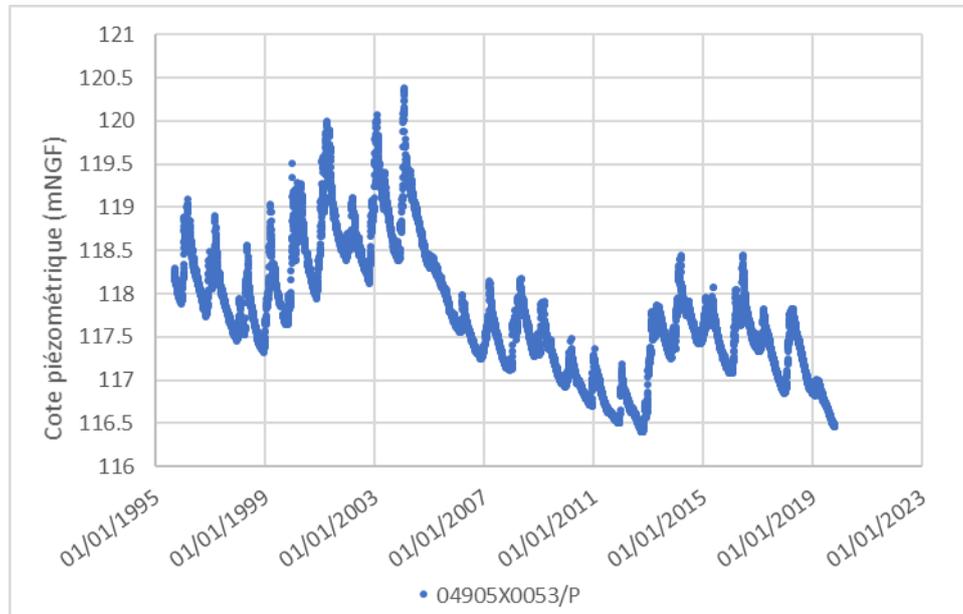


Figure 37 : Chronique piézométrique du point BSS 04905X0053/P (source : ADES)

5.1.2.2 Nappe du Cénomanién – Albién

Le suivi piézométrique du point captant l'aquifère du Cénomanién-Albién « masse d'eau FRGG122 "Sables et grès du Cénomanién unité de la Loire libres" » est présenté sur la figure suivante (Figure 38).

Pour rappel, la localisation des différents points de suivi existant était présentée dans la Figure 35.

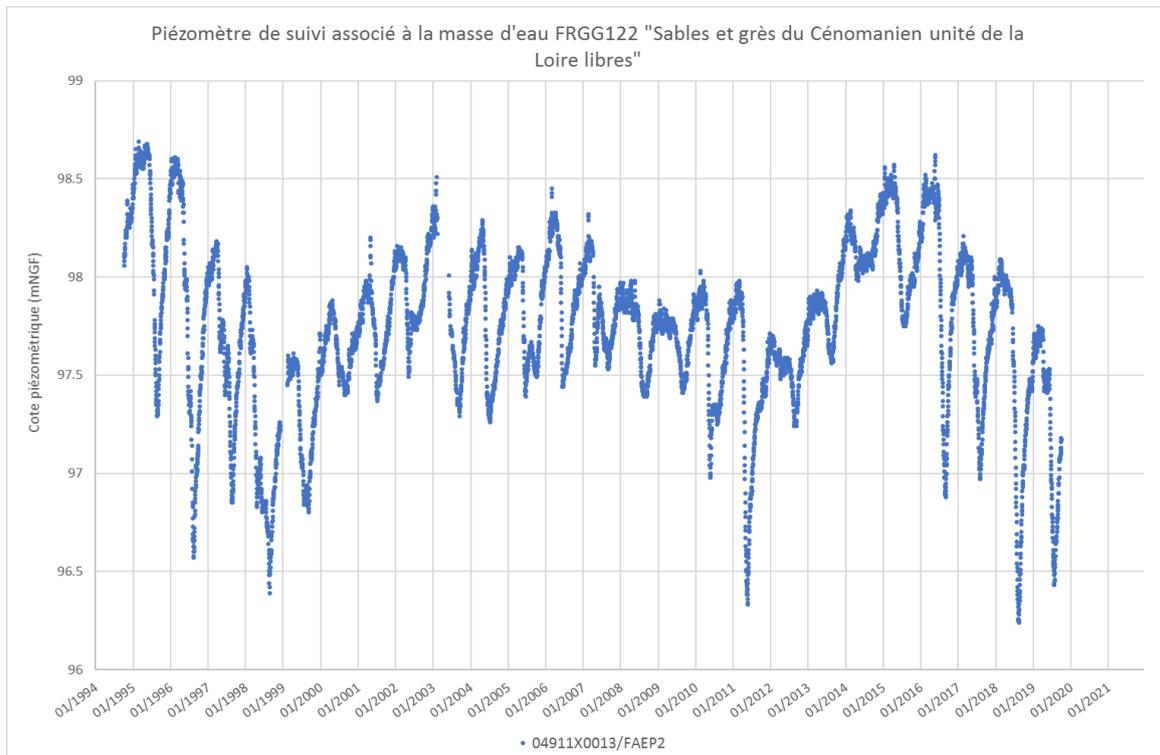


Figure 38 : Chronique piézométrique du point de suivi associé à la masse d'eau FRGG122 (source : ADES)

Cette chronique est suffisamment longue pour mettre en évidence :

- Un cycle annuel de hautes-eaux (vers février – mars – avril) et basses eaux (vers juillet – août – septembre) avec des fluctuations piézométriques de l'ordre du mètre.
- Un cycle pluriannuel de vidange / remplissage marqués par une amplitude piézométrique d'environ 2 mètres.
- Une dissymétrie entre la remontée plutôt lente et la vidange plus rapide laissant penser que ce piézomètre est influencé par des prélèvements environnants.

Les suivis piézométriques des points captant l'aquifère du Cénomaniens-Albien « FRGG142 "Sables et grès du Cénomaniens du bassin versant de la Loire captifs au sud de la Loire" » sont présentés sur la figure suivante (Figure 39).

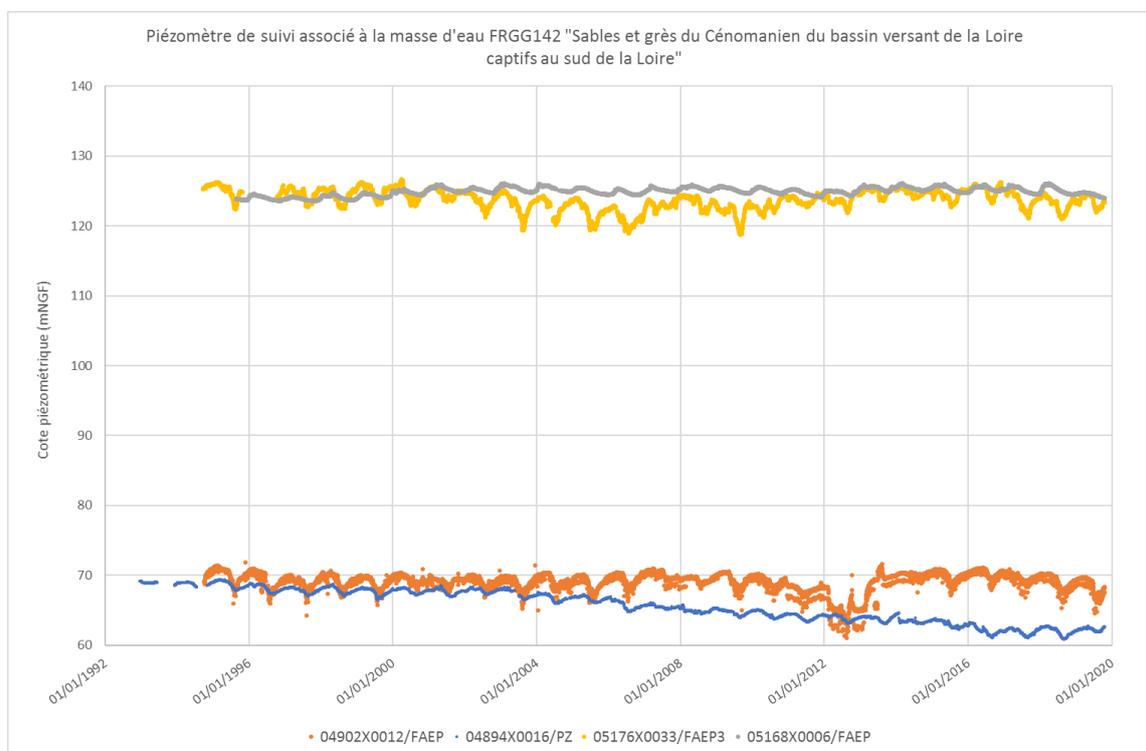


Figure 39 : Chroniques piézométriques des points de suivi associés

Ces chroniques mettent en évidence :

- Un cycle annuel de hautes-eaux (vers mars – avril - mai) et basses eaux (vers juillet – août – septembre) avec des fluctuations piézométriques d'amplitude variée pouvant atteindre quelques mètres.
- Un cycle pluriannuel de vidange / remplissage marqués par une amplitude piézométrique pouvant atteindre quelques mètres. Ce cycle est observé sur les points de suivi BSS 05176X0033/FAEP3 et 04902X0012/FAEP, situés en amont du bassin versant.
- Le point de suivi 04894X0016/PZ situé en aval du bassin versant (à l'extérieur de celui-ci) ne met pas en évidence des cycles pluriannuels, mais présente une diminution générale du niveau piézométrique depuis le début du suivi en 1993 jusqu'aux derniers relevés, avec une baisse du niveau d'eau de 6 à 8 m sur cette période. Cette baisse chronique du niveau piézométrique est probablement à mettre en lien avec une augmentation locale des prélèvements.

5.1.2.3 Nappe du Jurassique supérieur

Les suivis piézométriques des points captant l'aquifère du Jurassique supérieur « FRGG076 "Calcaires et marnes du Jurassique supérieur du bassin versant du Cher libres" » sont présentés sur la figure suivante (Figure 40).

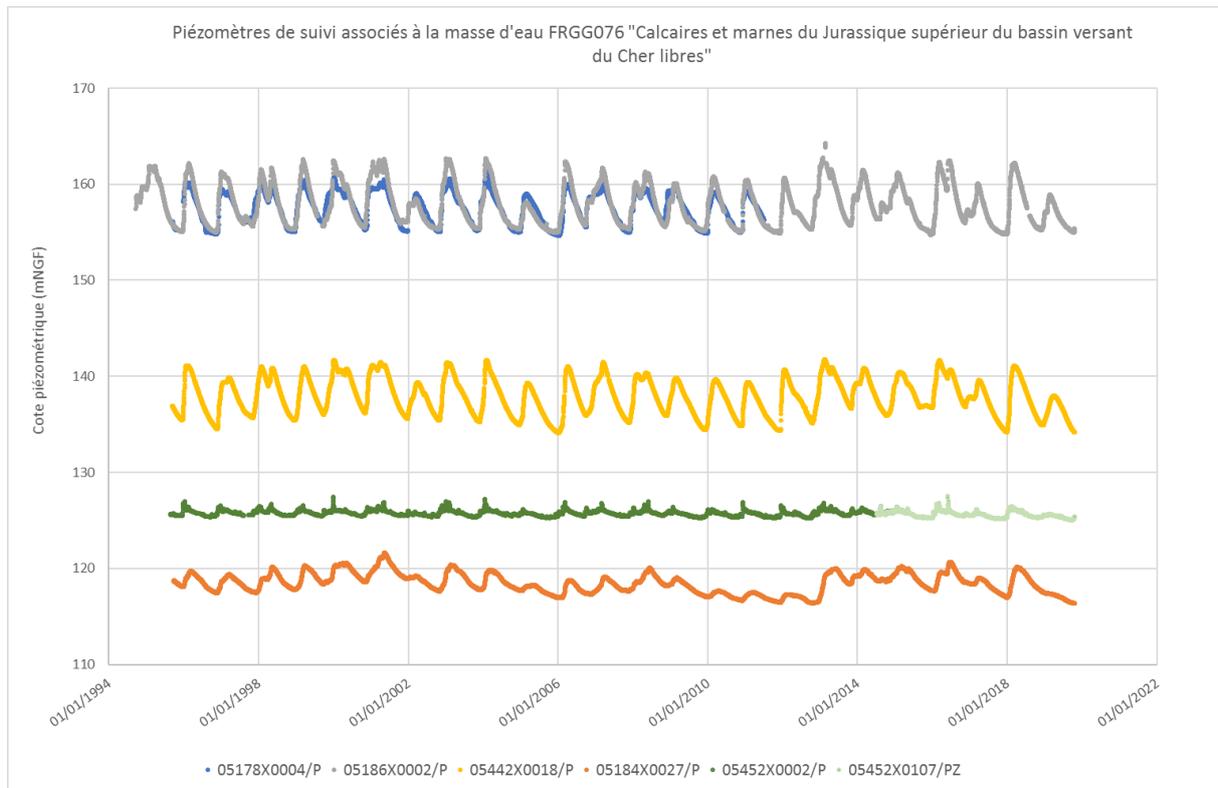


Figure 40 : Chroniques piézométriques des points de suivi associés à la masse d'eau FRGG076 (source : ADES)

Ces chroniques mettent en évidence :

- Un cycle annuel de hautes-eaux et basses eaux avec des fluctuations piézométriques d'amplitude variée pouvant atteindre quelques mètres.
- Seul le piézomètre 05184X0027/P semble mettre en évidence des fluctuations pluriannuelles. Toutefois, ce point se situe à une dizaine de kilomètres à l'Est de la limite du bassin versant.

5.2 Cartes piézométriques

Les cartes piézométriques en basses eaux réalisées à partir des points de suivis présentés précédemment sont présentées dans les sous-chapitres suivants.

Les niveaux d'eau des points de suivi et des isopièzes sont présentés en mNGF.

5.2.1 Nappe du Turonien

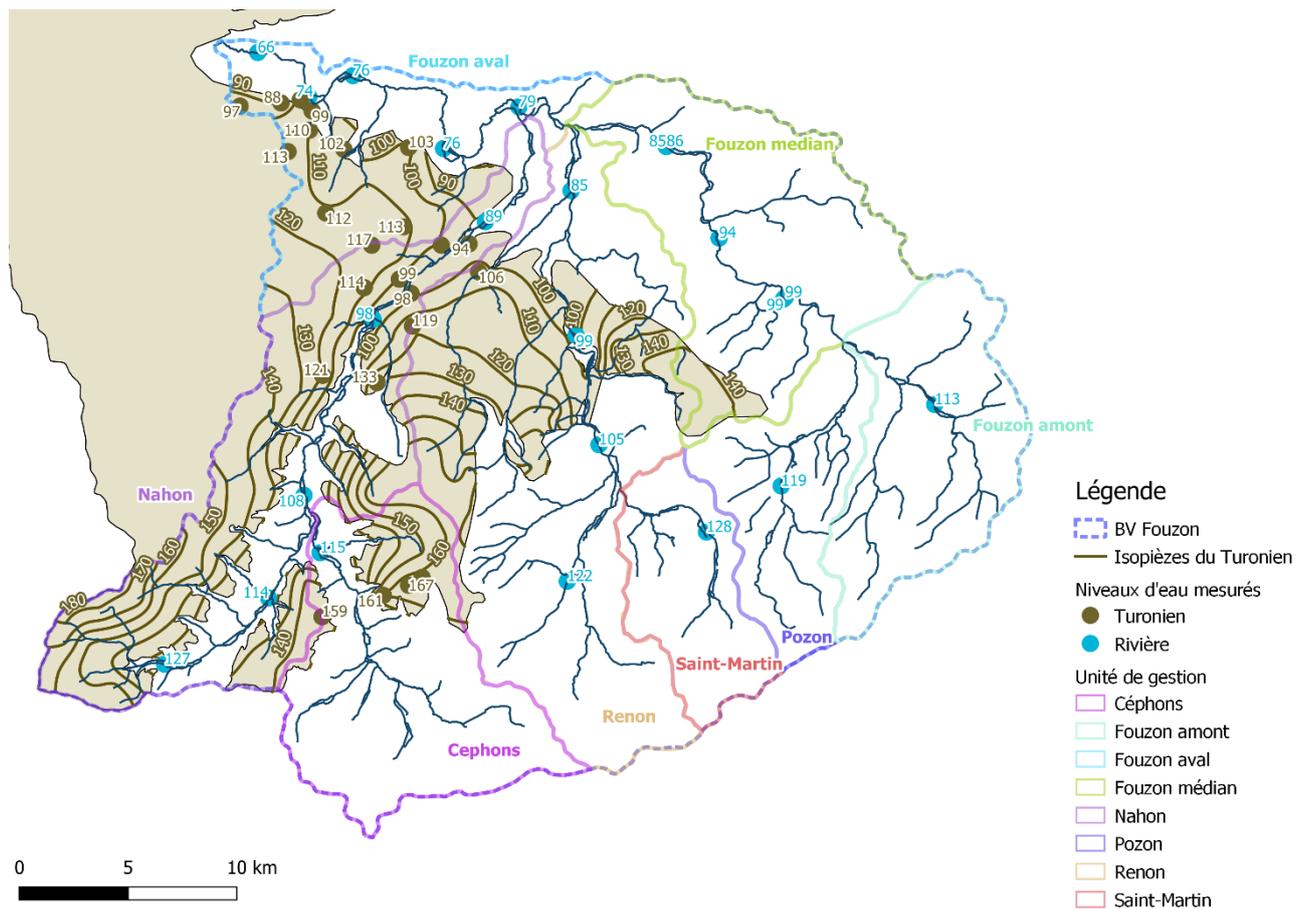


Figure 41 : Carte piézométrique de la nappe du Turonien sur le secteur d'études, d'après la campagne piézométrique de septembre 2019 (basses eaux)

5.2.2 Nappe du Cénomaniens – Albien

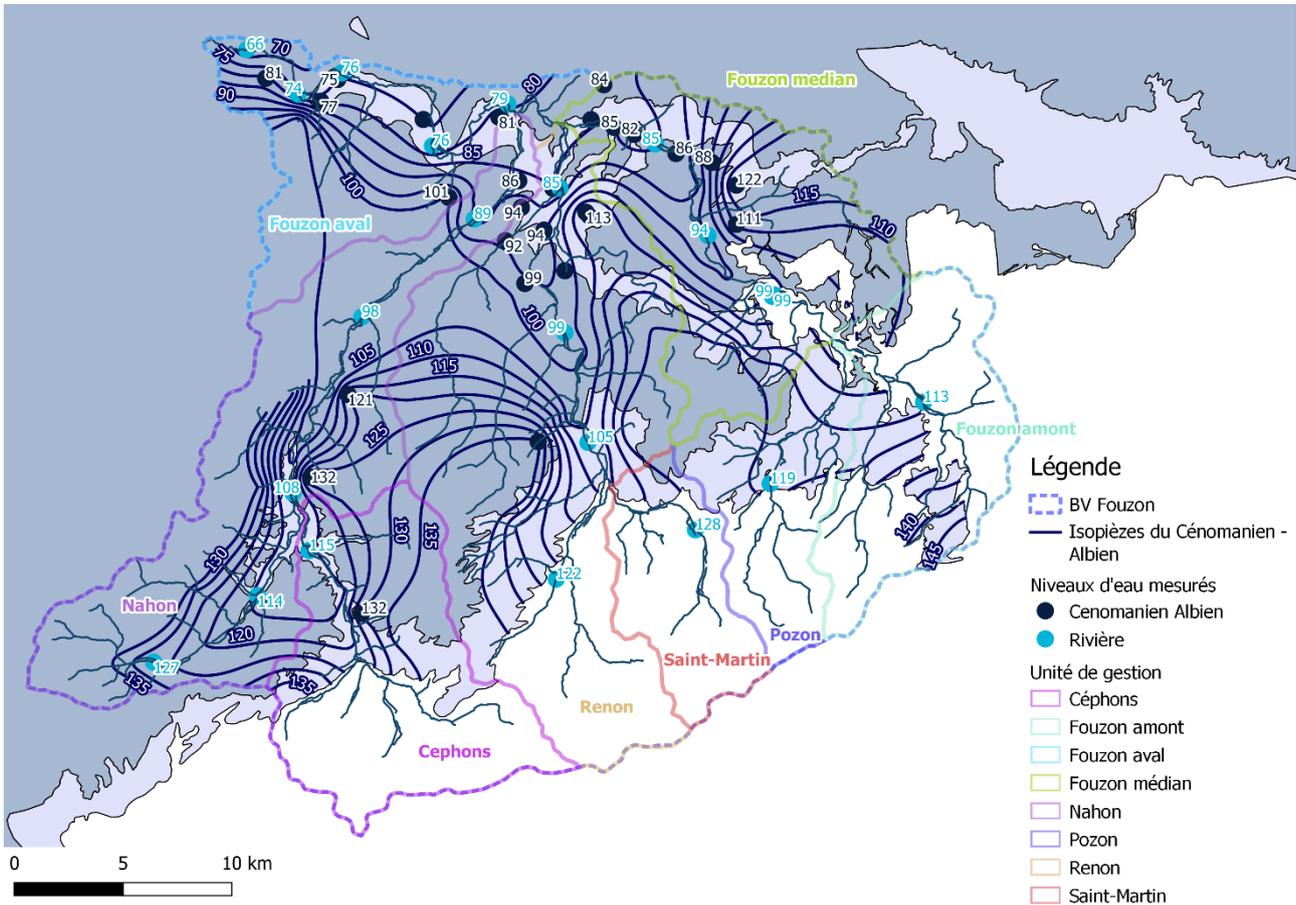


Figure 42 : Carte piézométrique de la nappe du Cénomanien-Albien sur le secteur d’études, d’après la campagne piézométrique de septembre 2019 (basses eaux)

5.2.3 Nappe du Jurassique supérieur

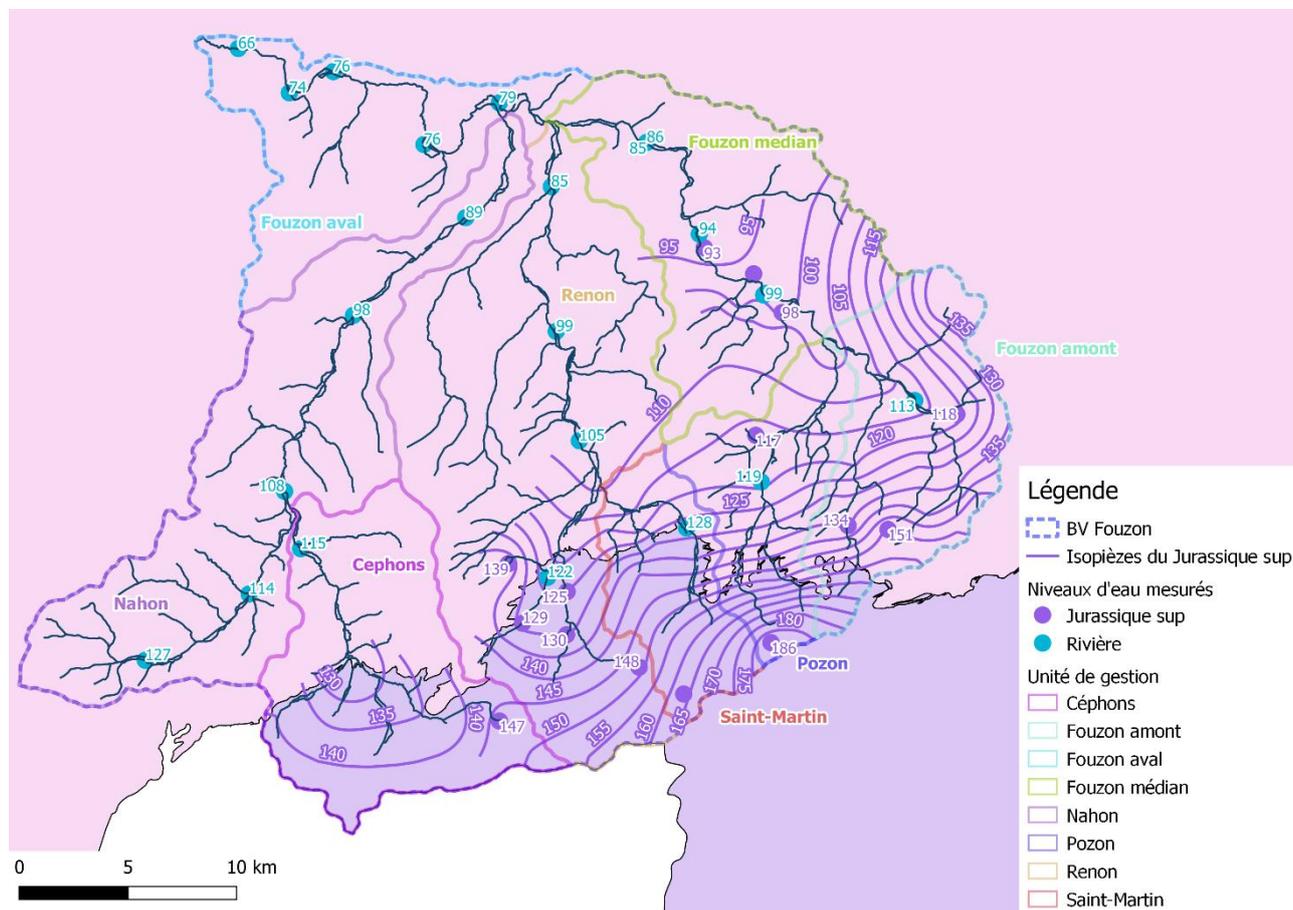


Figure 43 : Carte piézométrique de la nappe du Jurassique supérieur sur le secteur d’études, d’après la campagne piézométrique de septembre 2019 (basses eaux)

5.3 Relation nappe/rivière

5.3.1 Description générale des échanges nappe rivière

Sur la zone d’étude, d’après les points de mesure en nappe et les cartes piézométriques réalisées à partir de ces points de mesure, il apparaît que :

- Sur la **partie Ouest** du bassin versant, la **nappe du Turonien semble se déverser vers le Nahon** sous la forme de sources qui s’écoulent vers la vallée principale.

De la même manière, la **nappe du Turonien semble s’écouler vers le Renon** et donc alimenter ce cours d’eau **au centre du bassin** versant du Fouzon.

- Sur la **partie Centre-Ouest** de la zone d’étude, d’après la carte piézométrique réalisée (Figure 42), la **nappe du Cénomaniens – Albien semble alimenter le Renon et le Fouzon**.
- Sur les secteurs Fouzon Médian et Aval, la rivière semble drainer la nappe (Figure 42).

- La carte piézométrique du **Jurassique supérieur** réalisée (Figure 43) semble mettre en évidence une **alimentation du Fouzon par la nappe** du Jurassique **en amont du bassin** versant, sur le **secteur Sud-Est** de celui-ci, où le Jurassique est affleurant. De même, la nappe du Jurassique supérieur pourrait **participer à l'alimentation du Céphons**, affluent du Nahon dans le **secteur Sud-Ouest** du bassin versant, en amont, où le Jurassique affleure. Cependant, la faible quantité de points de mesures sur ce secteur ne permet pas d'affirmer cette alimentation qui reste hypothétique.

Enfin, il semblerait que la **nappe du Jurassique participe à l'alimentation du Renon en amont** de celui-ci, où le Jurassique est affleurant.

La relation entre la nappe du Jurassique et les cours d'eau n'est pas clairement mise en évidence sur le secteur de Vatan, ni sur le secteur du Pozon. Cette observation est à mettre en lien avec le faible nombre de point de mesure sur ce secteur.

Concernant **l'influence de la nappe alluviale du Cher sur les débits du Fouzon** à Meusnes, il a été souligné en COTECH n°1 du 07/10/2019 que les débits de cette station pourraient être soumis à l'influence de la nappe alluviale du Cher. Les informations suivantes ont été apportées :

- ▶ Effectivement la station est bien influencée par les remous du Cher en crue pour des débits > 350 m³/s environ mais pas à priori du fait de la nappe alluviale ;
- ▶ Il n'y pas non plus d'influence en étiage en raison de la cote du Cher et de sa nappe d'accompagnement généralement plus basse à l'étiage ;
- ▶ Il a été signalé qu'en étiage, l'eau du bassin du Fouzon (Fouzon, Nahon...) se perd dans la nappe par infiltration en arrivant dans la plaine alluviale du Cher, d'autant plus que le "paléo talweg" du Cher passe au pied du coteau du Cher en rive gauche, donc sur l'emplacement actuel du lit du Fouzon.

5.3.2 Quantification de la contribution des nappes

Les 8 stations hydrométriques disponibles sur le secteur d'étude pour quantifier la contribution des nappes sont présentées sur la Figure 44.

Il s'agit de :

- 2 stations disponibles sur la banque hydro. Toutefois, la station n° K659302001 située sur le Fouzon à Meusnes [Gué au loup] a été mise en service en 2003 à proximité de l'exutoire du bassin versant, venant remplacer la station n°K6593010 « Le Fouzon à Meusnes [Le gué de Meusnes] », existante depuis les années 1970.
- 6 stations installées par le Pays de Valençay et suivies par TERRAQUA dans le cadre du Contrat Territorial du Bassin du Fouzon. La station n°2 ne présentant pas de données, elle n'a pas pu être utilisée pour quantifier la contribution des nappes.

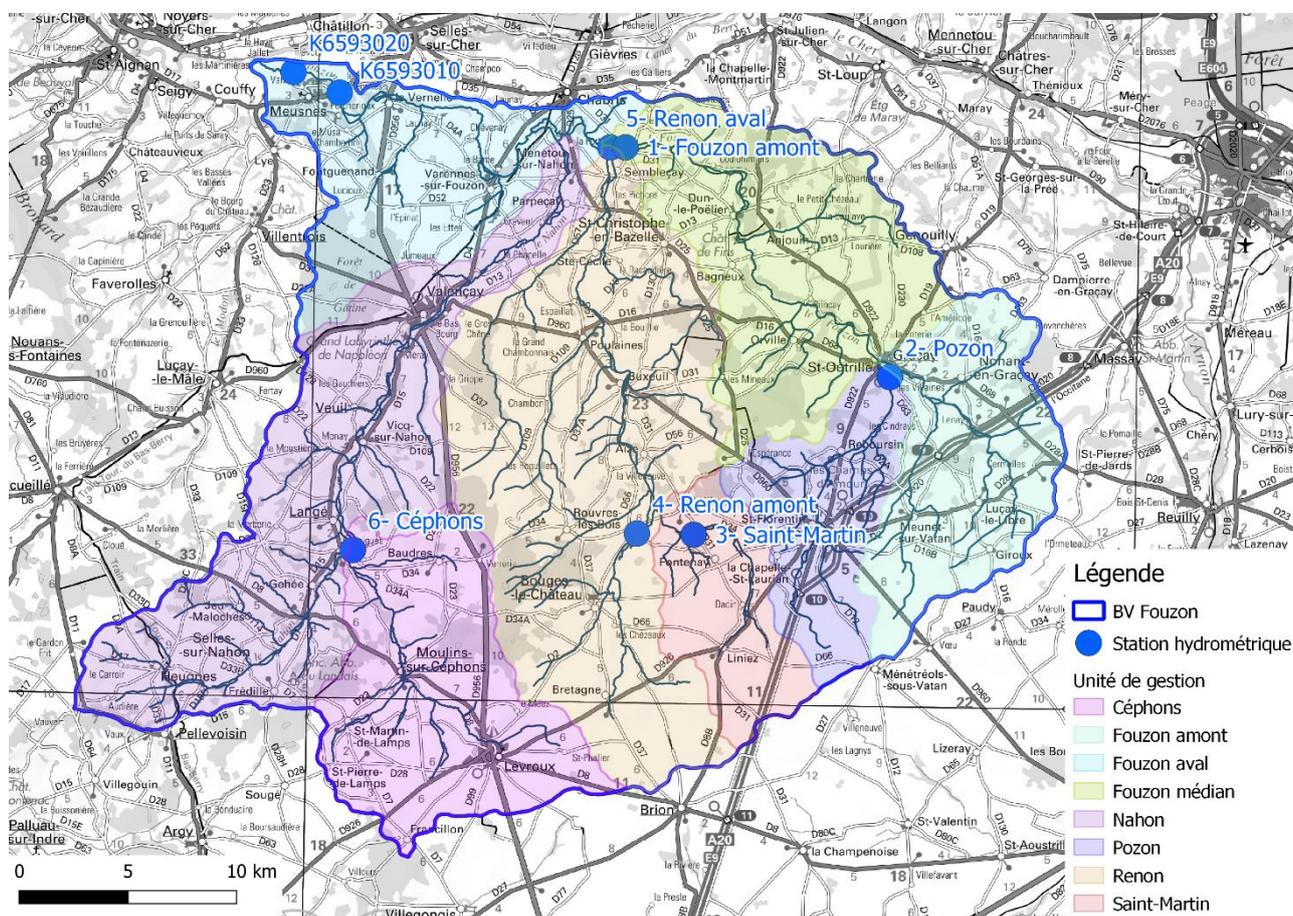


Figure 44 : Localisation des stations hydrométriques utilisées

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

- ▶ La première composante est caractérisée d’écoulement rapide : la répercussion d’une forte pluie se fera rapidement ressentir sur le débit du cours d’eau.
- ▶ La deuxième correspond quant à elle à un écoulement lent correspondant à la contribution de l’écoulement souterrain. **Cette alimentation d’origine souterraine est qualifiée de débit de base.** La Figure 45 illustre cette partition et la détermination du BaseFlow (débit de base).

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

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

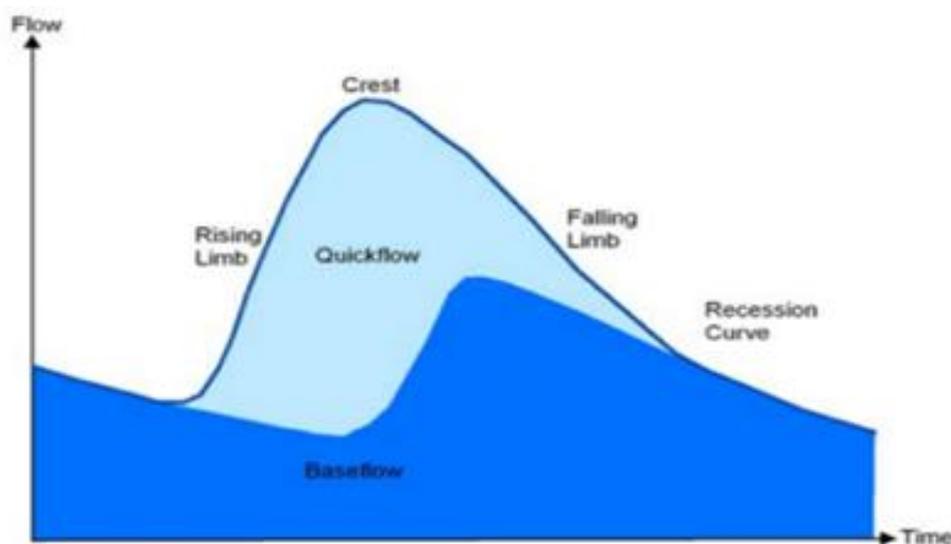


Figure 45 : Schéma conceptuel du filtre de Chapman

Cette technique de filtrage, développée par Chapman pour l'identification des composantes liées aux eaux souterraines dans les écoulements naturels, utilise un filtre numérique décrit par l'équation suivante :

$$Q_k = \frac{3\alpha - 1}{3 - \alpha} Q_{k-1} + \frac{1 - \alpha}{3 - \alpha} (Y_k + Y_{k-1})$$

Y_k : débit de la rivière au jour k

Q_k : débit de base au jour k

$\alpha = 0.925$

L'objectif d'un tel filtre est, à partir du signal d'entrée, c'est-à-dire le débit mesuré au cours d'eau, de filtrer les hautes fréquences considérées comme correspondant aux fluctuations liées directement au ruissellement pour ne laisser passer que les basses-fréquences, considérées comme correspondant à l'écoulement de base.

La décomposition de l'hydrogramme de débit de 3 stations, sur la période 2017-2019, est présentée ci-après.

Le rapport entre le débit de base et le débit total, « Base Flow Index », est révélateur de l'existence de stocks d'eau plus ou moins importants. Cet indicateur varie entre 0 et 100 %. **Plus il est élevé, plus la contribution des stocks d'eau est importante.** Sur un bassin pluvial, un BFI proche de 100% est donc révélateur d'une forte composante souterraine sur les débits du cours d'eau. Ce calcul de détermination de débit de base permet **d'estimer l'ordre de grandeur** de la participation de la nappe au débit de cours d'eau sur une période donnée : moyenne du Base Flow Index sur cette période. Au vu de la complexité du signal d'entrée et des paramètres considérés, la valeur estimée ne doit pas être considérée comme une valeur réelle absolue. De plus, la période choisie pour l'application du filtre est susceptible d'impacter les résultats (périodes très pluvieuses ou au contraire sèches marquées). La longueur des chroniques disponibles est relativement faible ce qui ne permet pas d'apprécier la variabilité pluriannuelle de la contribution.

Les graphiques suivants présentent le débit total (courbe bleue), le débit de base (courbe orange) et le BFI (courbe grise) de 3 stations hydrométriques. Le BFI et sa décomposition par groupe de débit est présentée dans le graphique en haut à droite de chaque figure.

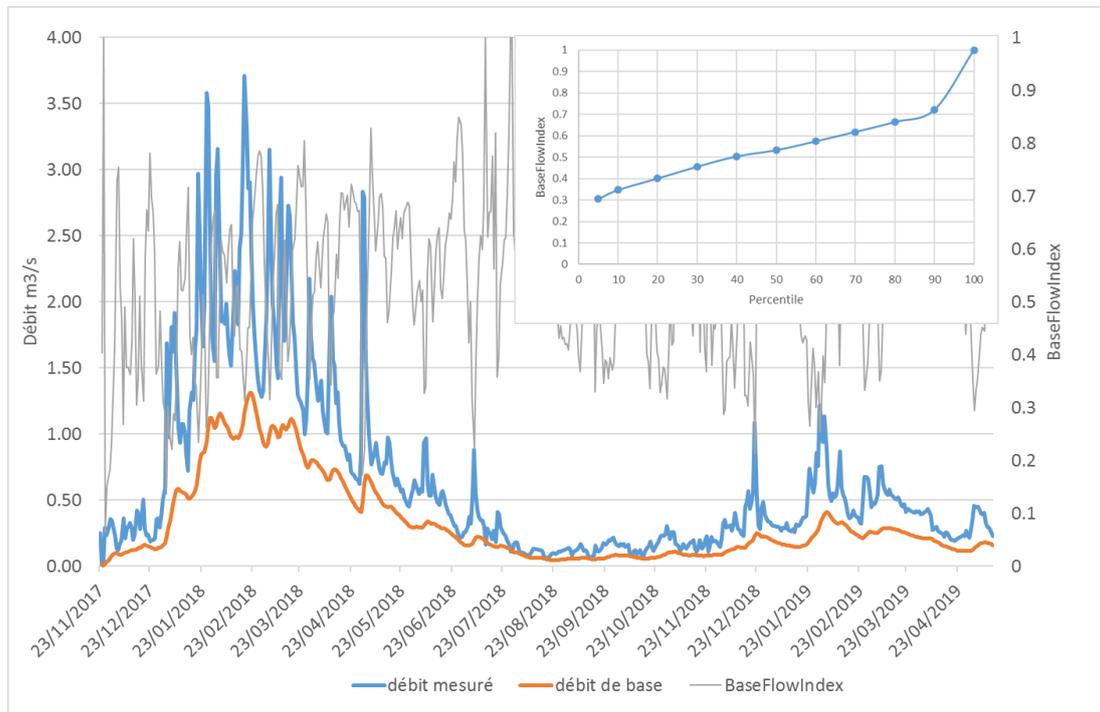


Figure 46 : Résultats de la décomposition de l'hydrogramme de débit de la station n°1 – Fouzon amont

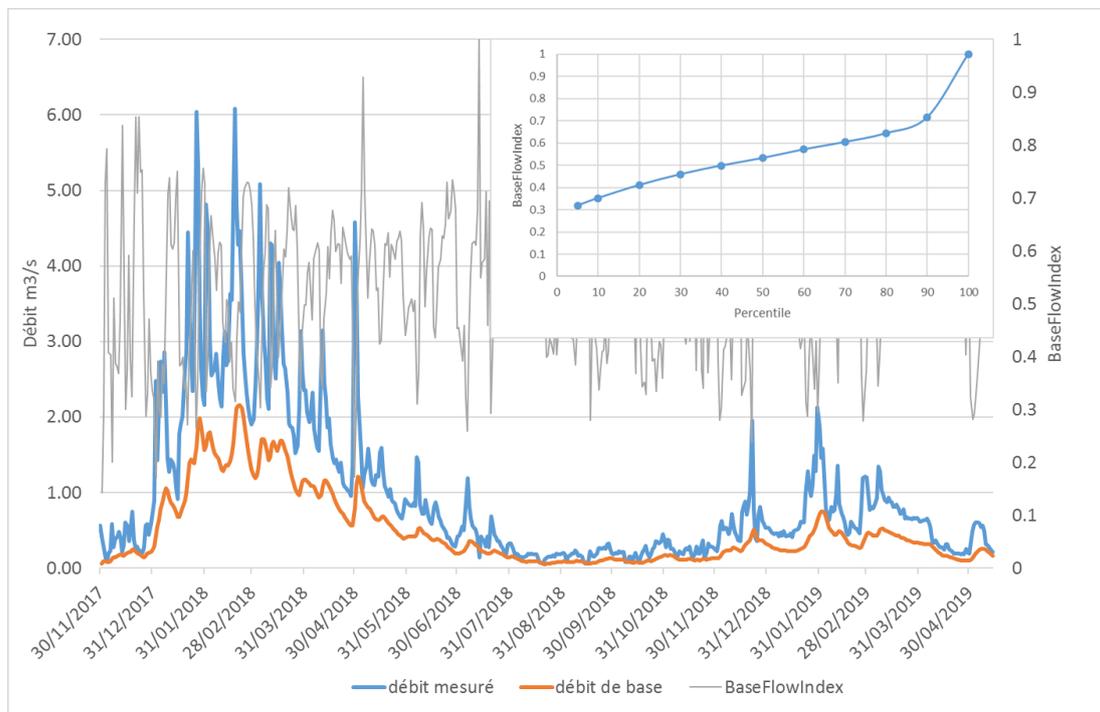


Figure 47 : Résultats de la décomposition de l'hydrogramme de débit de la station n°5 – Renon aval

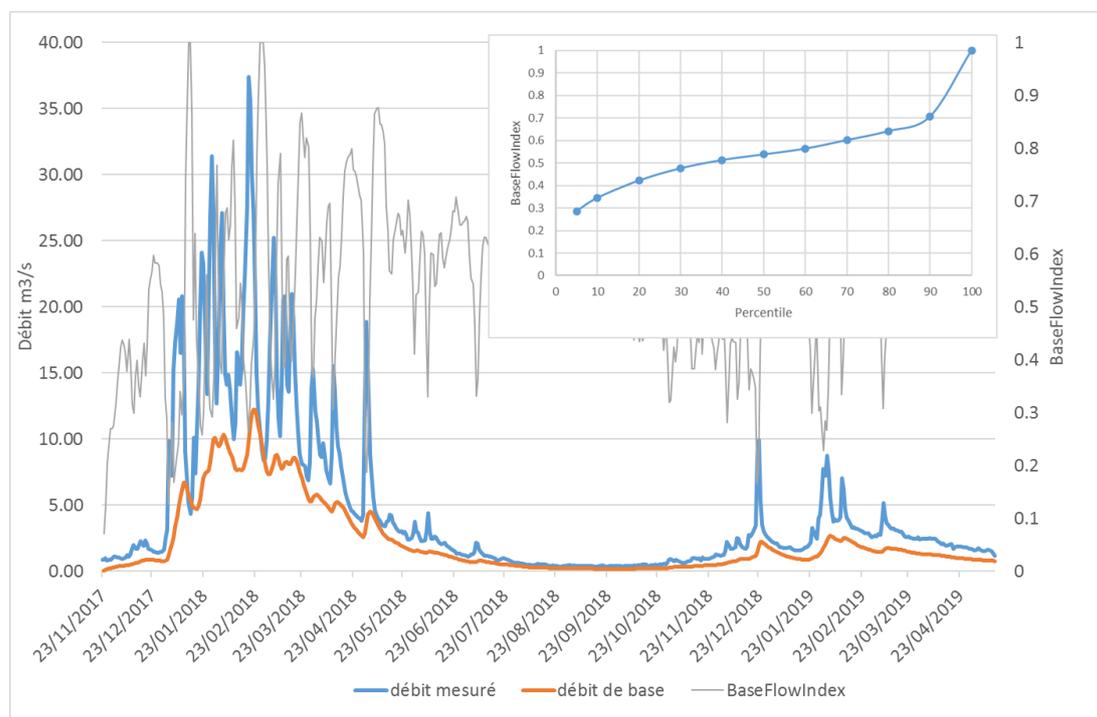


Figure 48 : Résultats de la décomposition de l'hydrogramme de débit de la station « Gué du Loup »

L’approche consiste à étudier les valeurs de percentiles des débits de base « BaseFlowIndex » évalués sur la période couverte pour permettre d’observer l’évolution de la contribution de la nappe dans le temps.

Le BFI des dix premiers percentiles correspond au BFI moyen des 10 % des valeurs les plus faibles. Les percentiles 20, 50 et 80 ont été extraits afin de comparer les stations entre elles. Pour chaque station, la période de mesure couverte est indiquée.

Tableau 19 : Estimation de la médiane et des percentiles 20 et 80 des valeurs de « BaseFlowIndex » pour les principales stations

N°Station	Dénomination	Période couverte	Valeur du percentile 50	Valeur du percentile 20	Valeur du percentile 80
1	Fouzon amont	23/11/2017 – 14/05/2019	0,53	0,40	0,66
3	Saint-Martin	28/11/2017 – 14/05/2019	0,52	0,43	0,58
4	Renon amont	28/11/2017 – 14/05/2019	0,52	0,45	0,57
5	Renon aval	30/11/2017 – 14/05/2019	0,53	0,41	0,64
6	Céphons	24/11/2017 – 14/05/2019	0,53	0,45	0,60
K6593020	Gué du Loup	23/11/2017 – 14/05/2019	0,54	0,42	0,64
K6593020 et K6593010	Gué du Loup & Gué de Meusnes	20/09/2003 – 20/10/2019	0,55	0,45	0,66

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

- D’une manière générale, on constate que les percentiles 50 montre un BFI moyen proche de 0,53 ce qui tend à indiquer que **la contribution des nappes est importante pour toutes les principales stations** du secteur d’étude ;
- Globalement, les stations semblent présenter des amplitudes de BFI intermédiaires avec des valeurs allant entre 0,40 à 0,66 des percentiles 20 et 80.

6 DÉCOUPAGE DU BASSIN VERSANT EN UNITÉS DE GESTION

Au vu du contexte du territoire, nous avons découpé le bassin versant en 8 unités de Gestion selon les critères suivants :

- Par rapport à la localisation des stations hydrométriques :
 - ▷ Une **station hydrométrique** de la DREAL Centre Val-de-Loire à **Meusnes**, à l'aval du bassin versant.
 - ▷ **Six stations limnimétriques** installées par le syndicat Mixte du Pays de Valençay en Berry à la suite des études préalables du CTB Fouzon (Aval du Fouzon amont, Aval du Pozon, Aval du Renon, Renon en amont du Saint Martin, Saint Martin, Céphons)
 - ▷ Une **ancienne station limnimétrique** sur le Fouzon à Menetou-sur-Nahon, fermée en 2014.
- En considérant la Zone de Répartition des Eaux (ZRE) sur la nappe du Cénomaniens : il paraît intéressant de considérer séparément les secteurs amont au sud-est du bassin versant situés hors ZRE, soit Fouzon amont et Pozon ; Saint Martin et Céphons.

Nous avons également pris en compte les conclusions de l'étude hydrologique préalable au contrat territorial du bassin versant du Fouzon (CTBF), c'est-à-dire :

- Les masses d'eau Nahon amont et Nahon aval ne sont pas identifiées comme déficitaires
- Les masses d'eau Petit Rhône, Fouzon amont, Saint Martin, Renon et Pozon ont un fort pourcentage d'altération anthropique en fonction du débit d'étiage

Enfin, la masse d'eau Fouzon en amont de la confluence avec le Renon a été découpée en 2 secteurs autour de la confluence avec le Pozon en raison de différences de peuplements piscicoles. En effet, les peuplements piscicoles à l'aval de la confluence Pozon-Fouzon représentent déjà un peuplement de plaine alors que les contextes Fouzon amont et Pozon sont plutôt des contextes de têtes de bassin.

Ainsi, après échanges et argumentations avec les membres du Comité Technique, il a été validé en COTECH du 7 octobre 2019 le découpage en 8 unités de gestion, présenté sur la carte suivante.

Cette sectorisation du territoire en 8 unités de gestion cohérentes permettra la définition de débits et de volumes de référence garantissant un équilibre entre les besoins en eau du territoire et la disponibilité des ressources.

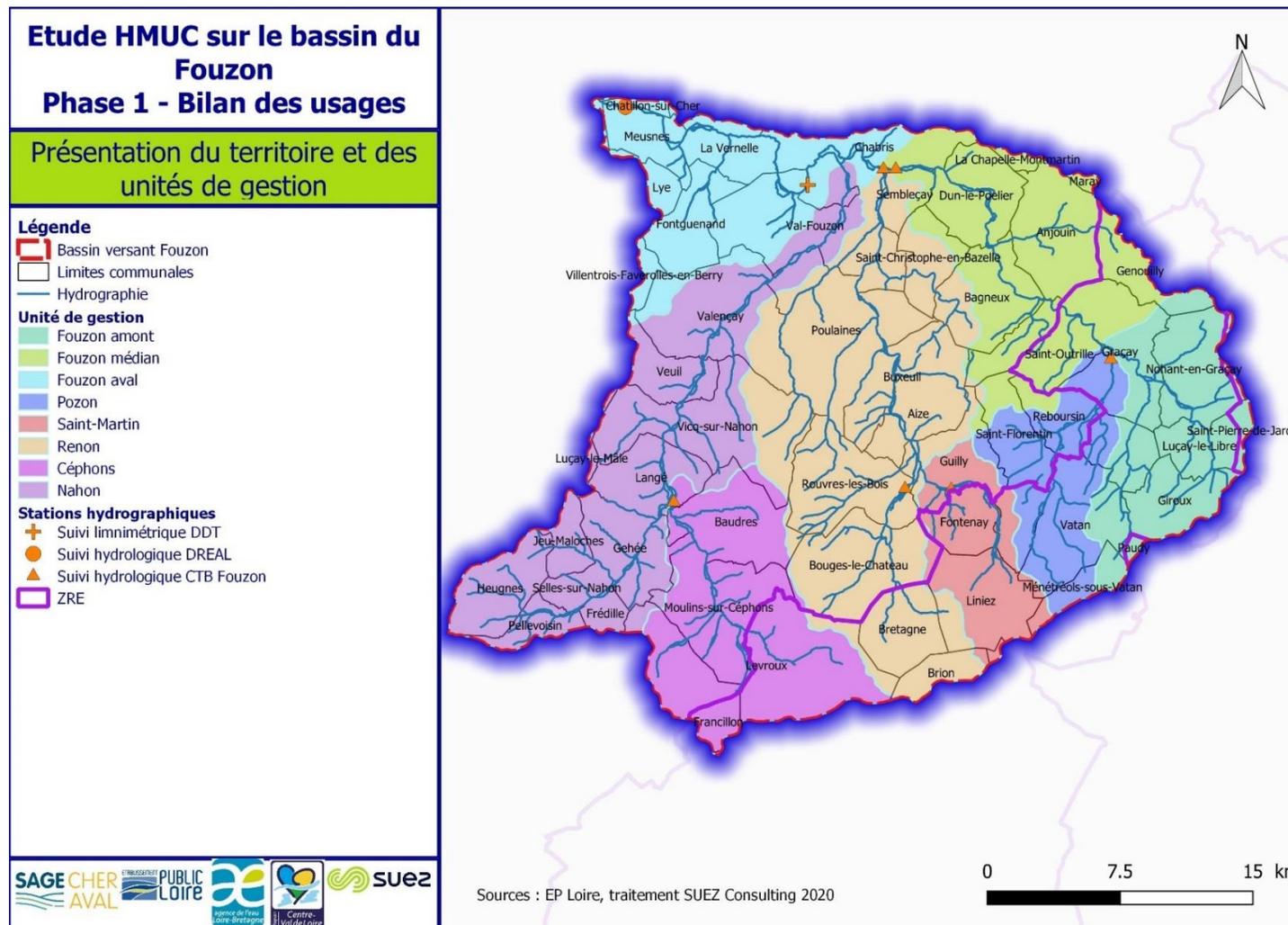


Figure 49 : Périmètre de l’étude et unités de gestion (Sources : EP Loire, COTECH étude HMUC, SUEZ Consulting, 2019)

7 RECONSTITUTION DE L'HYDROLOGIE DÉSinFLUENCÉE SUR L'ENSEMBLE DES UNITÉS DE GESTION

7.1 Objectif 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 couvrant l'intégralité de la période étudiée.

Il s'avère, sur le bassin étudié, que ce n'est pas le cas pour chacune de ses unités de gestion. Seul le Fouzon aval est équipé d'une station hydrométrique couvrant l'intégralité de la période 2000-2018. Les autres unités de gestion disposent, quant à elles, d'éléments de connaissance partiels, tels que des chroniques hydrométriques s'étendant sur une année, ou encore des chroniques hydrométriques naturelles reconstituées par l'OFB ne permettant qu'une utilisation pour les indicateurs statistiques.

Pour pallier ces lacunes, on a recours à la modélisation hydrologique. Cette dernière 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 également utilisés, dans un deuxième temps, et c'est leur objectif principal 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 et les niveaux de nappe.

La suite de ce chapitre est structurée comme suit :

- 7.2 Méthodologie générale déployée ;
- 7.3 Modèle hydrologique de référence, calage sur la station DREAL de Meusnes ;
- 7.4 Modèle hydrologique de chaque unité de gestion, validation sur les stations du CTMBF ;
- 7.5 Analyse de l'hydrologie désinfluencée et impact des prélèvements actuels sur la ressource ;
- 7.6 Niveaux piézométriques minimaux ;
- 7.7 Analyse et synthèse des résultats.

La solution de modélisation hydrologique employée (Mike Hydro Basin) est décrite au § 10.1 – Annexe 2.

7.2 Méthodologie générale déployée

7.2.1 Stratégie de modélisation

Comme indiqué au paragraphe 4.1.1.3, seule la **station hydrométrique de Meusnes** pourra servir de **donnée de référence pour le calage** du modèle hydrologique. Ainsi, la **stratégie envisagée** est la suivante :

- ❖ Construire et caler un **modèle hydrologique** prenant en compte la part du bassin versant du Fouzon qui est drainée **au niveau de la station de Meusnes** (c'est-à-dire l'intégralité du bassin versant) ;
- ❖ Construire, pour **chaque unité de gestion** du territoire, un modèle reprenant le calage de celui réalisé au niveau de la station de Meusnes (après vérification de sa validité). La pluviométrie, les usages et la surface de bassin versant sont ajustés de manière à quantifier le débit de manière aussi fiable que possible au niveau de ces points de référence ;
- ❖ **Vérifier ce calage** au niveau des différentes unités de gestion, sur la base des données qui leur sont propres (chroniques hydrométriques du CTB Fouzon, chroniques piézométriques).

7.2.2 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 (2000-2018) ;
- ▷ A un pas de temps le plus petit possible (a minima journalier) ;
- ▷ Sans lacunes.

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 à l'échelle du bassin versant drainé au niveau du point de référence considéré. Les principes méthodologiques de cette approche sont décrits ci-après.

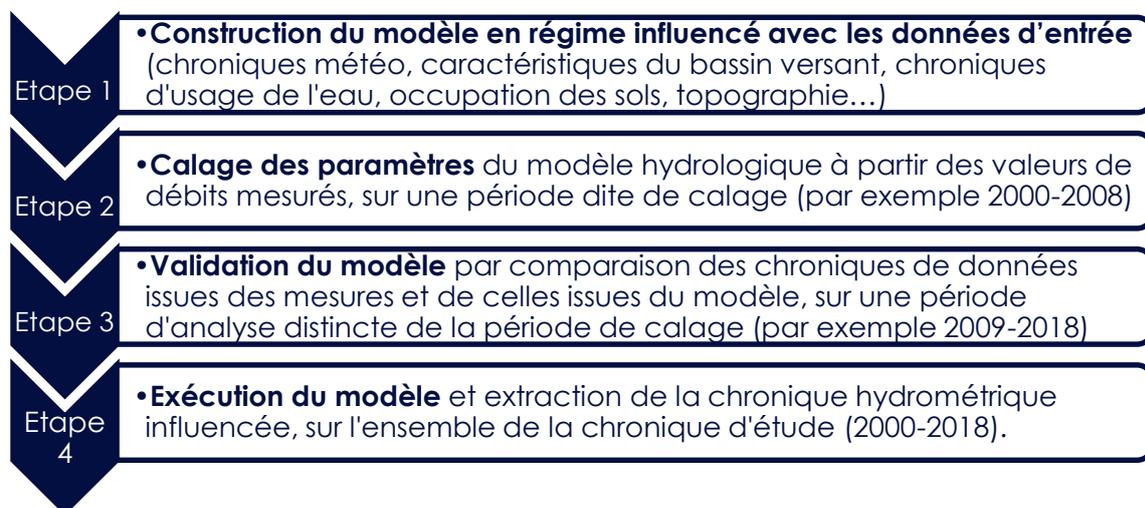


Figure 50 : Principe méthodologique de reconstitution des débits influencés (Sources : SUEZ Consulting, 2019)

7.2.3 Reconstitution des débits 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 du Fouzon est récapitulée par le synoptique suivant :

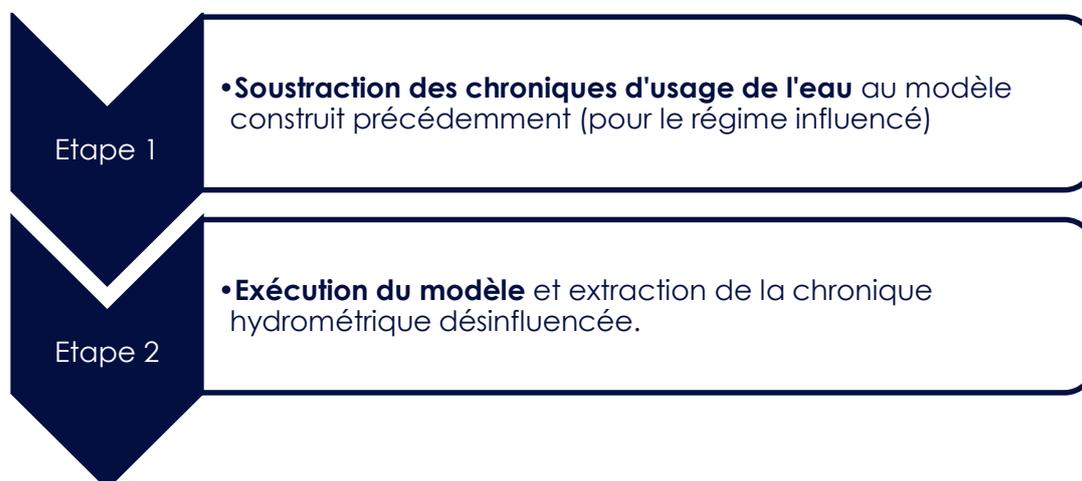


Figure 51 : Principe méthodologique de reconstitution des débits désinfluencés (Sources : SUEZ Consulting, 2019)

7.3 Modèle hydrologique de référence

7.3.1 Construction du modèle

Le **modèle hydrologique de référence** représente l'intégralité du **bassin versant** du territoire d'étude. En effet, c'est à proximité de l'exutoire de ce dernier que se trouve la **station hydrométrique de Meusnes**, la seule présentant une chronique de débits suffisamment longue pour pouvoir réaliser un **calage satisfaisant** du modèle.

Ce modèle admet en **entrée** les données suivantes :

- **Chronique pluviométrique** du bassin entier reconstituée à l'aide d'un traitement par polygones de Thiessen⁸ des chroniques locales ;
- **Chronique d'ETP** mesurée à la station météorologique de Romorantin (station la plus proche présentant une chronique complète de l'ETP sur la période d'étude) ;
- Chroniques de prélèvements et rejets par usage de l'ensemble du bassin versant, séparés en :
 - Prélèvements surfaciques ;
 - Prélèvements souterrains ;
 - Restitutions surfaciques ;
 - Restitutions souterraines.
- Surface du bassin versant (1012 km²).

Les données exploitées pour le **calage** sont :

- La **chronique de débits** de la station de **Meusnes** (K6593010 – K6593020) (2000-2018), qui comme vu auparavant, est la seule station hydrométrique adéquate pour le calage d'un modèle ;
- La **chronique piézométrique** du forage portant le code BSS BSS001HSRU (2000-2018), car :
 - ▷ Il s'agit du piézomètre de nappe libre⁹ le plus proche de l'exutoire du bassin versant ;
 - ▷ La chronique disponible correspond à la période d'étude ;
 - ▷ Le piézomètre n'est pas influencé par un captage à proximité.

⁸ Ce traitement consiste à scinder le territoire en zones d'influence de chaque station météorologique, et d'affecter chaque station d'un poids relatif proportionnel à la surface de sa zone d'influence. Plus la zone d'influence d'une station est étendue, plus cette dernière a d'importance dans la modélisation.

⁹ Un piézomètre de nappe captive ne permettrait pas de caler le modèle sur une donnée représentative des relations nappe-rivière ayant lieu sur le bassin versant étudié.

Phase 1 –**Volet Hydrologie** : Analyse du fonctionnement hydro(géo)logique du bassin en régimes influencé et désinfluencé des usages anthropiques

Analyse HMUC et propositions d’actions pour une gestion équilibrée et durable des ressources en eau sur le bassin du Fouzon dans le cadre du SAGE Cher aval

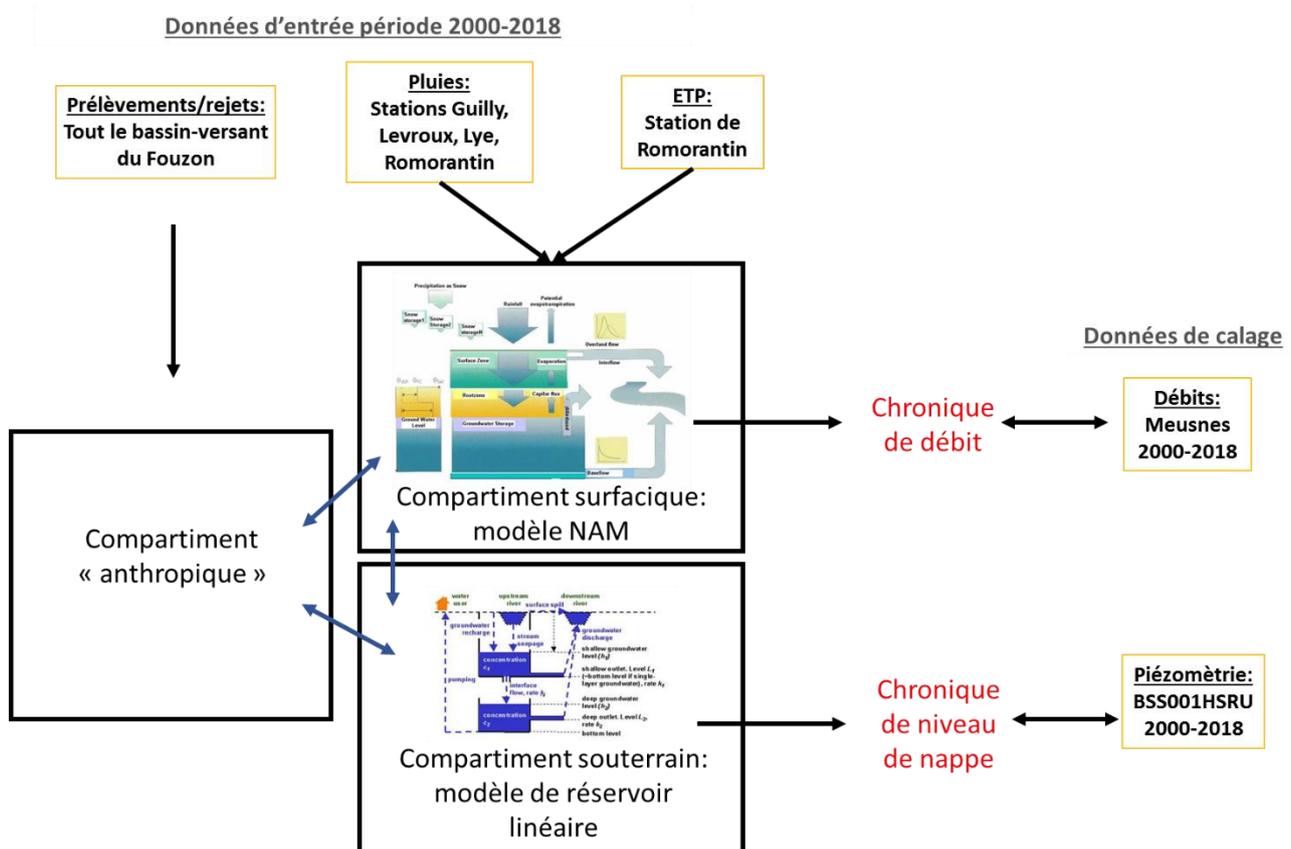


Figure 52 : Schématisation des données d’entrée et de calage pour la modélisation hydrologique au niveau de la station hydrométrique de Meusnes (Source : DHI, SUEZ Consulting, 2020)

Phase 1 –Volet Hydrologie : Analyse du fonctionnement hydro(géo)logique du bassin en régimes influencé et désinfluencé des usages anthropiques

Analyse HMUC et propositions d’actions pour une gestion équilibrée et durable des ressources en eau sur le bassin du Fouzon dans le cadre du SAGE Cher aval

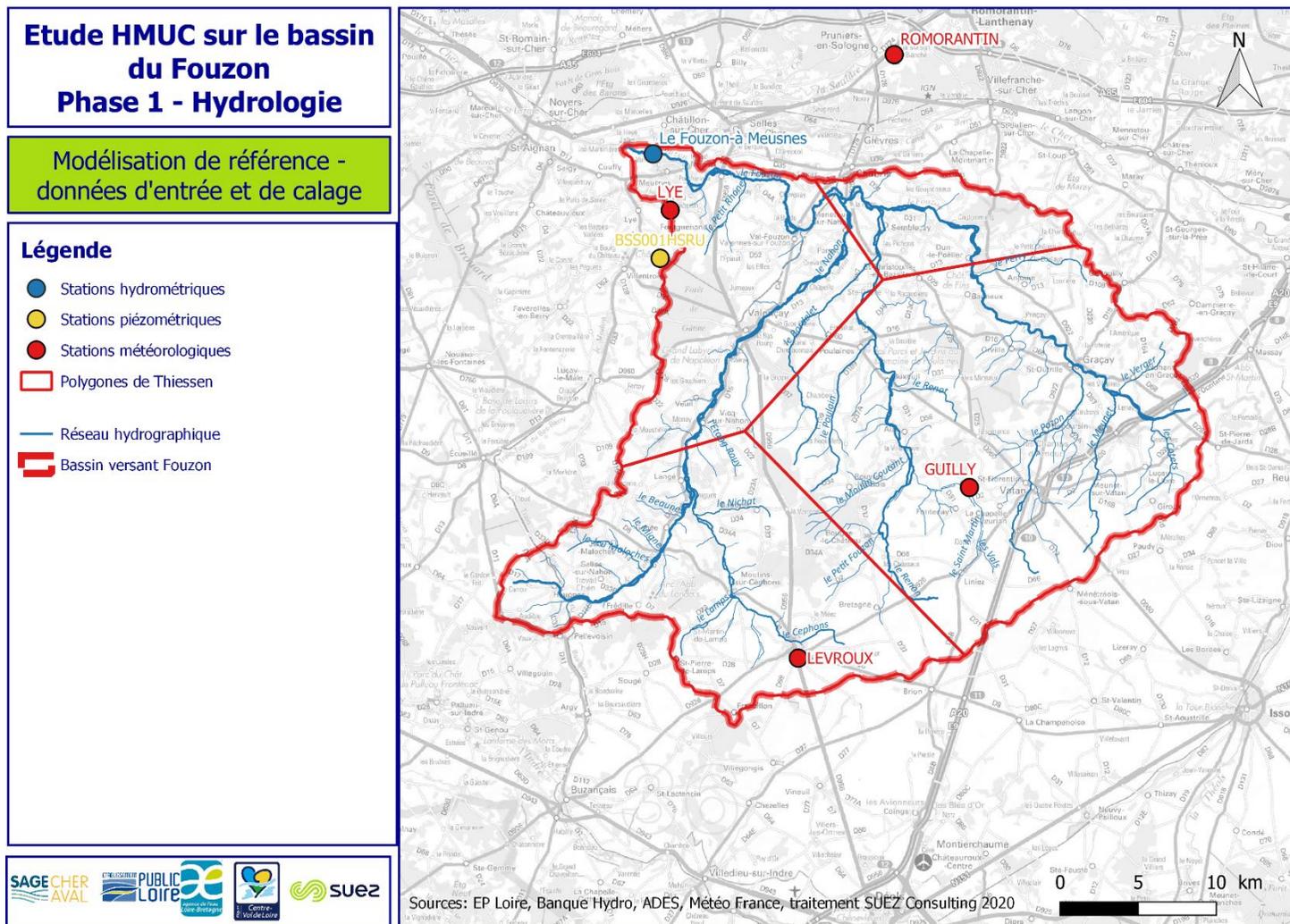


Figure 53 : Représentation cartographique des données d’entrée et de calage de la modélisation hydrologique au niveau de la station hydrométrique de Meusnes (Sources : EP Loire, Banque Hydro, ADES, Météo France, SUEZ Consulting, 2020)

Les chroniques de débit et de niveau de nappe étant disponibles sur l'intégralité de la période d'étude, on dispose d'un nombre d'années suffisant pour respecter une approche de modélisation classique incluant une **étape de calage** et une **étape de validation**. Ceci permet de s'assurer de la robustesse du modèle et de son applicabilité sur des horizons temporels distincts de celui sur lequel il a été calé. Ainsi, les horizons temporels suivants sont observés :

- ▶ **Calage** sur la période **2000-2008** ;
- ▶ Validation sur la période 2009-2018.

Les paragraphes suivants présentent les résultats de cette démarche.

7.3.2 Calage sur la période 2000 - 2008

Lors du calage, les indicateurs utilisés sont les suivants :

- Critère de Nash sur les débits moyens mensuels ;
- Critère de Nash sur les débits moyens mensuels estivaux¹⁰ ;
- Comparaison du module simulé et observé ;
- Comparaison, pour chaque année, du QMNA simulé et observé¹¹ ;
- Comparaison des chroniques hydrométriques mensuelles simulée et observée
- Comparaison des chroniques piézométriques simulée et observée.

Tableau 20 : Présentation des critères de performance (période de calage 2000 – 2008) (Source : SUEZ Consulting, 2020)

Métrique	Valeur atteinte
Critère de Nash (-) Débits mensuels	0.8715
Critère de Nash (-) Débits mensuels estivaux	0.5920

Le **coefficient de Nash** calculé sur les **moyennes mensuelles de débit**, sur l'année complète, est **excellent**, avec une **valeur avoisinant 90%**. Pour la **période estivale**, à laquelle on s'intéresse particulièrement dans le cadre de la présente étude, on obtient une valeur d'environ **60%** qui reste **bonne et satisfaisante** pour les analyses à réaliser¹².

¹⁰ La période estivale est définie comme étant la période de basses eaux, durant laquelle on observe les débits les plus bas de l'année (période d'étiage). Dans le cas de la présente étude, la période d'étiage a lieu du mois de juillet au mois d'octobre (inclus). Cette période a été définie sur la base d'une analyse des données hydrométriques de la station de Meusnes.

¹¹ On s'attache à vérifier la bonne reproduction de cette métrique plutôt que du QMNA5, car ce dernier est réputé ne donner de valeurs pertinentes que lorsqu'il est calculé sur de longues périodes (au moins 25 ans). La période considérée ici est de 9 ans.

¹² Il convient d'indiquer que priorité est donnée à la qualité de calage sur l'année complète, afin de s'assurer que le modèle représente bien les phénomènes ayant lieu sur l'ensemble de l'année : il constitue de ce fait un outil fiable pour être utilisé dans d'autres contextes (spatiaux et temporels). Ceci explique pourquoi le calage est meilleur sur l'année complète que sur la seule période estivale. Un calage

Tableau 21 : Présentation des métriques de calage (période de calage 2000 – 2008) (Source : SUEZ Consulting, 2020)

Métrique	Valeur simulée	Valeur observée	Différence (%)
Module (m ³ /s)	5.467	5.501	-1%
QMNA (m ³ /s)	Figure 54 et Figure 55		
Chroniques hydrométriques mensuelles (m ³ /s)	Figure 56		
Chroniques piézométriques journalières (m. NGF)	Figure 57		

Le modèle reproduit très bien le **bilan volumique**, ce qui signifie qu’il n’entraîne aucun sur ou sous-stockage d’eau dans le bassin versant. Ceci est notamment important pour assurer l’obtention de bons résultats dans le cadre de la simulation de l’état futur du bassin versant.

Les QMNA simulés sont raisonnablement proches de ceux qui sont observés (cf. Figure 54), avec un écart absolu moyen avoisinant 30% (cf. Figure 55).

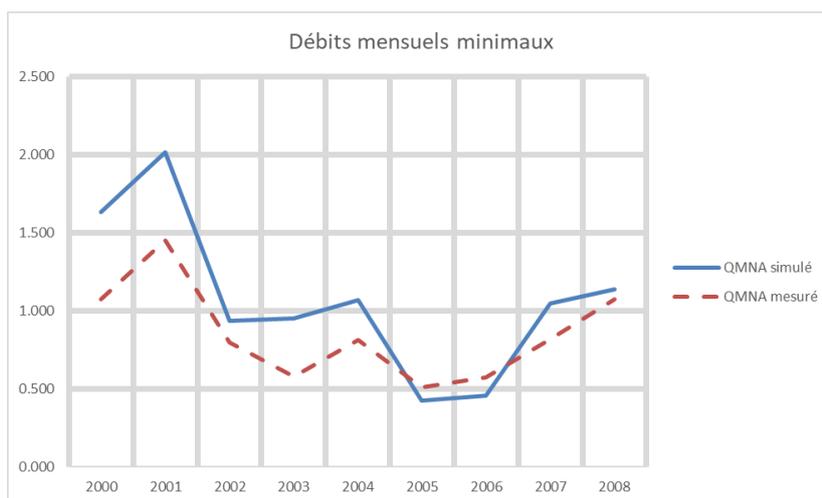


Figure 54 : Comparaison des QMNA simulés et observés sur la période de calage 2000 – 2008 (Sources : Banque Hydro, SUEZ Consulting, 2020)

qui serait excellent sur la période estivale mais médiocre sur l’année complète serait caractéristique d’un modèle incapable de représenter correctement l’ensemble des processus hydrologiques du territoire étudié. Un tel modèle ne pourrait pas être considéré robuste.

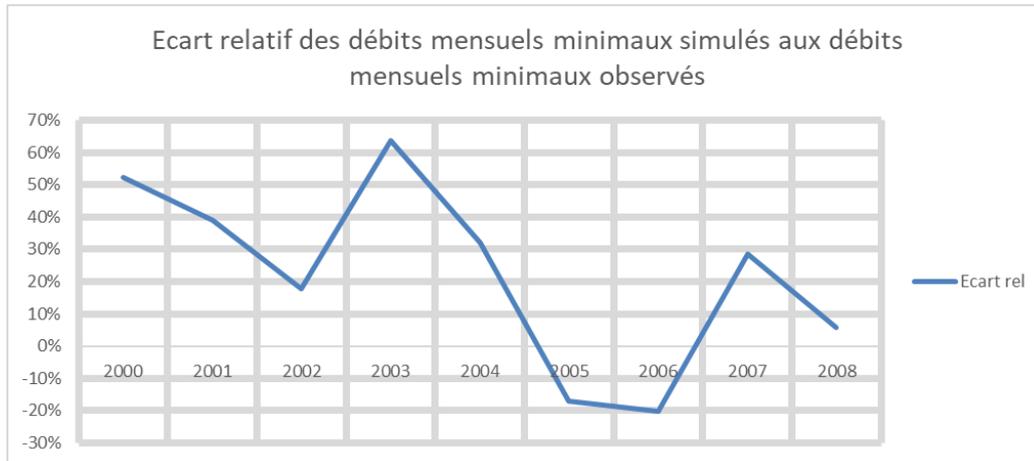


Figure 55 : Erreur relative d’estimation des QMNA sur la période de calage (2000 – 2008) (Sources : Banque Hydro, SUEZ Consulting, 2020)

Les **débits moyens mensuels** sont **bien reproduits** par la modélisation pour chaque période de l’année avec, cependant, une légère **anticipation** par le modèle **des périodes de montée et de baisse du débit**. Ce phénomène n’est pas de nature à affecter les valeurs obtenues pour les indicateurs principaux qui seront valorisés dans le cadre de l’étude.

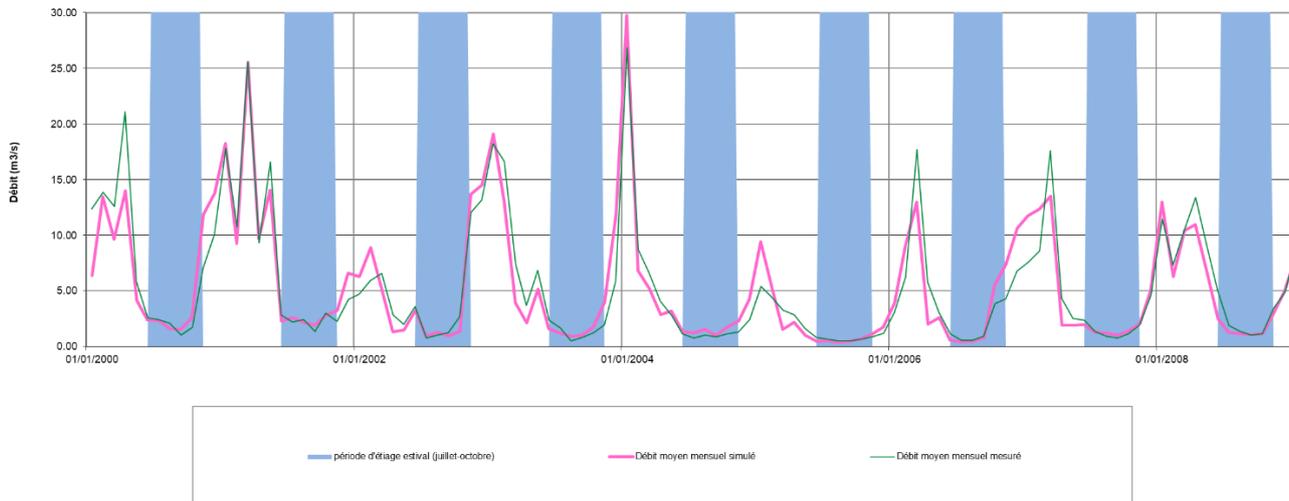


Figure 56 : Comparaison de la chronique de débits moyens mensuels simulée et observée sur la période de calage (2000 - 2008) (Sources : Banque Hydro, SUEZ Consulting, 2020)

Le compartiment souterrain modélisé **reproduit bien** les **cinétiques de montée et de descente** du niveau de la nappe du **Séno-Turonien libre** (nappe libre majoritaire du bassin versant). Au niveau interannuel, on observe une plutôt bonne reproduction des évolutions du niveau de nappe également.

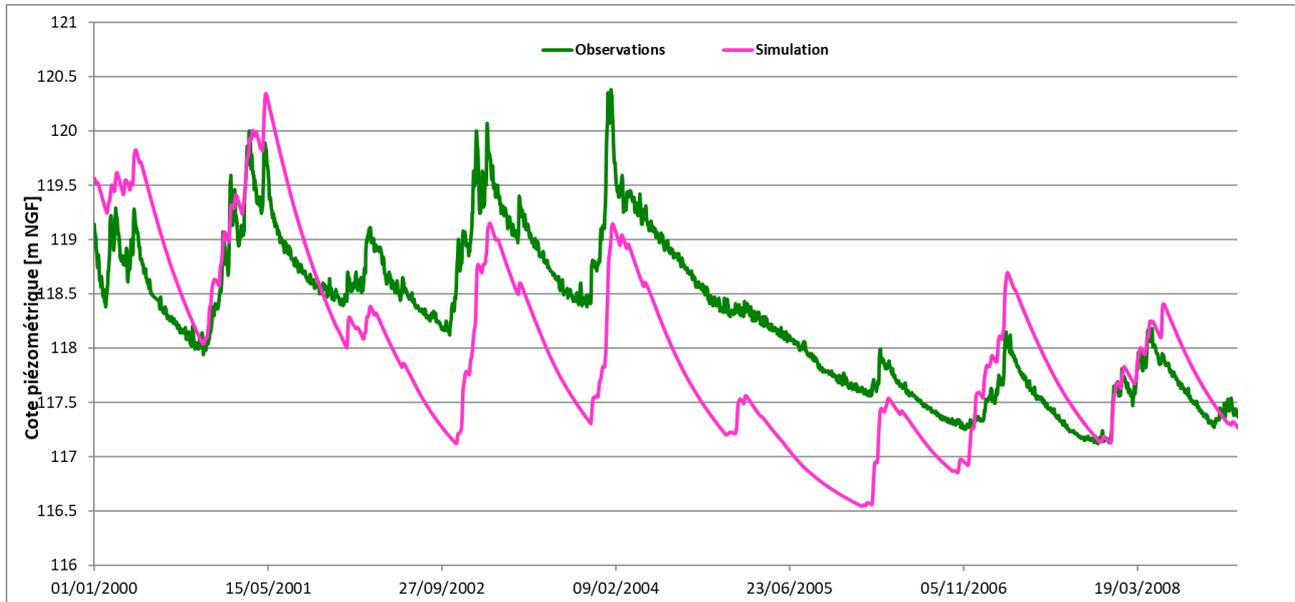


Figure 57 : Comparaison de la chronique piézométrique journalière simulée et observée sur la période de calage (2000 - 2008)¹³ (Sources : ADES, SUEZ Consulting, 2020)

7.3.3 Validation sur la période 2009 - 2018

Pour la validation du modèle, les mêmes indicateurs que pour le calage sont utilisés.

Tableau 22 : Présentation des critères de performance (période de validation 2009 - 2018) (Source : SUEZ Consulting, 2020)

Métrique	Valeur atteinte
Critère de Nash (-) Débits mensuels	0.8143
Critère de Nash (-) Débits mensuels estivaux	0.7651

Le **coefficient de Nash** calculé sur les moyennes mensuelles de débit, sur **l’année complète**, est **très bon**, avec une valeur avoisinant **80%**. Pour la **période estivale**, à laquelle on s’intéresse particulièrement dans le cadre de la présente étude, on obtient une valeur dépassant les **75%** qui reste **très bonne**. Ces valeurs permettent de **valider le calage** du modèle.

Pour les **métriques de calage**, seul le **module s’écarte des observations de 10%**, peut-être dû à la **non-reproduction d’un pic de débit** survenu lors de l’année 2016 (cf. Figure 60). Une défaillance de la courbe de tarage dans les hautes valeurs de débit pourrait en être la cause.

¹³ Dans cette comparaison, la chronique simulée a été centrée-normée sur la période 2000-2018 afin de présenter le même module et les mêmes amplitudes que la chronique mesurée. En effet, le compartiment souterrain de la modélisation n’est pas prévu pour une reproduction exacte de la piézométrie, mais plutôt pour en reproduire les tendances principales.

Tableau 23 : Présentation des métriques de calage (période de validation 2009 - 2018) (Source : SUEZ Consulting, 2020)

Métrique	Valeur simulée	Valeur observée	Différence (%)
Module (m ³ /s)	4.441	4.902	-9%
QMNA (m ³ /s)	Figure 58 et Figure 59		
Chroniques hydrométriques mensuelles (m ³ /s)	Figure 60		
Chroniques piézométriques journalières (m. NGF)	Figure 61		

Quant aux simulations de QMNA et de chroniques de débits moyens mensuels et de piézométrie, les valeurs restent concordantes avec celles obtenues sur la période de calage et sont, pour certaines, même légèrement meilleures.

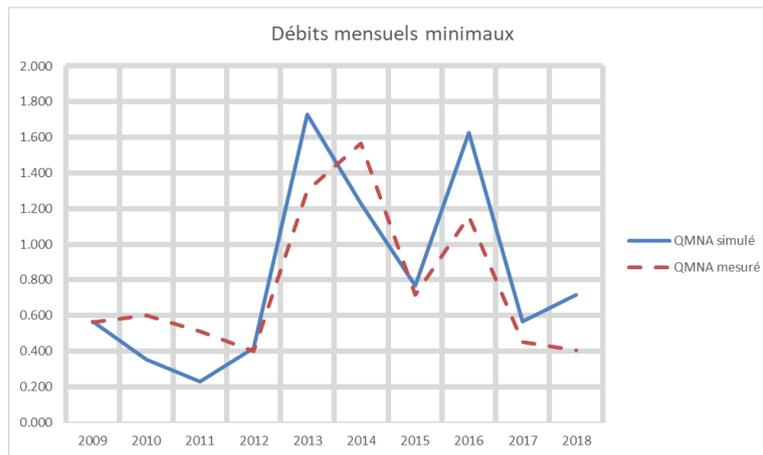


Figure 58 : Comparaison des QMNA simulés et observés sur la période de validation (2009 - 2018) (Sources : Banque Hydro, SUEZ Consulting, 2020)

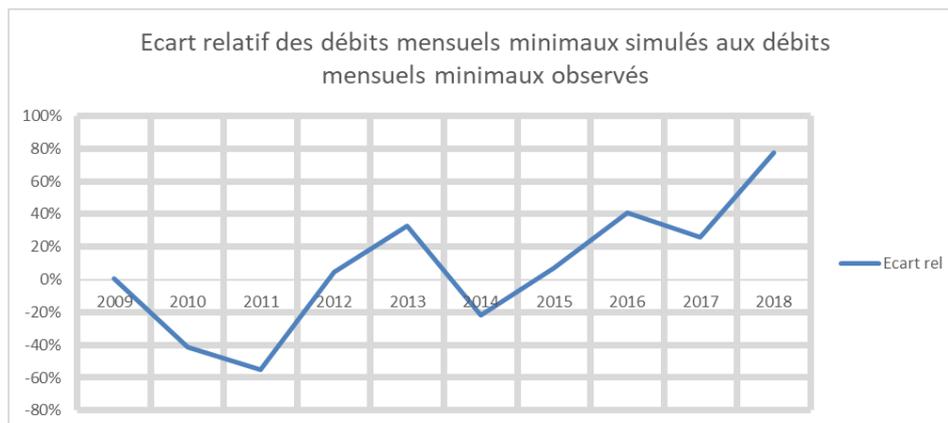


Figure 59 : Erreur relative d’estimation des QMNA sur la période de validation (2009 - 2018) (Sources : Banque Hydro, SUEZ Consulting, 2020)

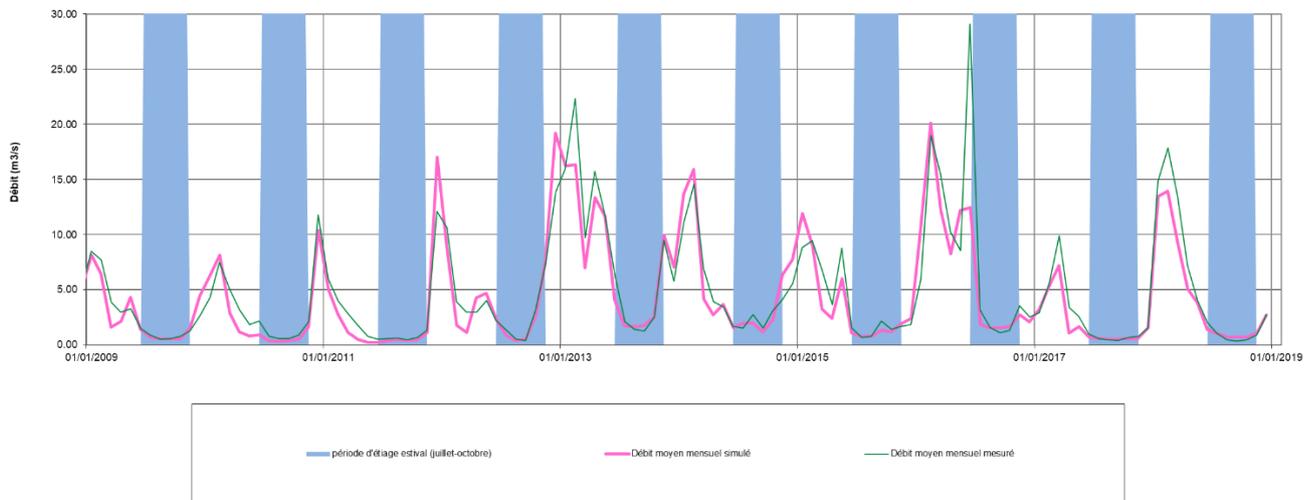


Figure 60 : Comparaison de la chronique de débits moyens mensuels simulée et observée sur la période de validation (2009 - 2018) (Sources : Banque Hydro, SUEZ Consulting, 2020)

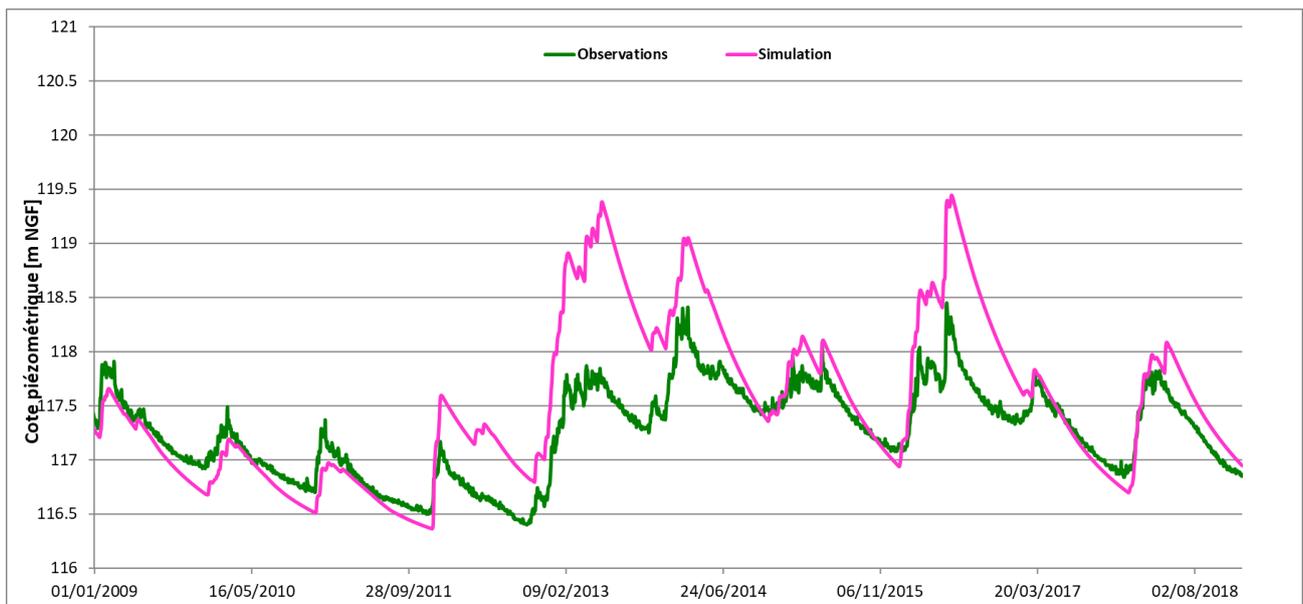


Figure 61 : Comparaison de la chronique piézométrique journalière simulée et observée sur la période de validation (2009 - 2018)¹⁴ (Sources : ADES, SUEZ Consulting, 2020)

7.3.4 Qualité du calage

Les **indicateurs** présentés précédemment, ainsi que quelques autres nécessitant d’être calculés sur une période étendue pour être valides (notamment le QMNA5), sont présentés ci-après pour la **période complète 2000 - 2018**.

¹⁴ Dans cette comparaison, la chronique simulée a été centrée-normée sur la période 2000-2018 afin de présenter le même module et les mêmes amplitudes que la chronique mesurée. En effet, le compartiment souterrain de la modélisation n’est pas prévu pour une reproduction exacte de la piézométrie, mais plutôt pour en reproduire les tendances principales.

Tableau 24 : Présentation des critères de performance (période d’analyse complète 2000 - 2018) (Source : SUEZ Consulting, 2020)

Métrique	Valeur atteinte
Critère de Nash (-) Débits mensuels	0.8439
Critère de Nash (-) Débits mensuels estivaux	0.6914

Les valeurs des indicateurs déjà présentés restent **bonnes**. Concernant les indicateurs nouvellement présentés :

- L’ordre de grandeur du **QMNA5 est bien reproduit** par le modèle ;
- Les **débits mensuels quinquennaux secs estivaux** sont **bien représentés** par le modèle en période d’été. Au **printemps**, ces derniers sont **sous-estimés** (ce qui est concordant avec la légère anticipation par le modèle des périodes de montée et de baisse de débit, relevée au paragraphe 7.3.2). Il conviendra de rappeler ce fait lorsque les débits minimums de cette période de l’année seront analysés.

Tableau 25 : Présentation des métriques de calage (période d’analyse complète 2000 - 2018) (Source : SUEZ Consulting, 2020)

Métrique	Valeur simulée	Valeur observée	Différence (%)
Module (m ³ /s)	4.927	5.185	-5%
QMNA5 (m ³ /s)	0.482	0.514	-6%
QMNA (m ³ /s)	Figure 62 et Figure 63		
Débits	Figure 64		
Chroniques hydrométriques mensuelles (m ³ /s)	Figure 65		
Chroniques piézométriques journalières (m. NGF)	Figure 66		

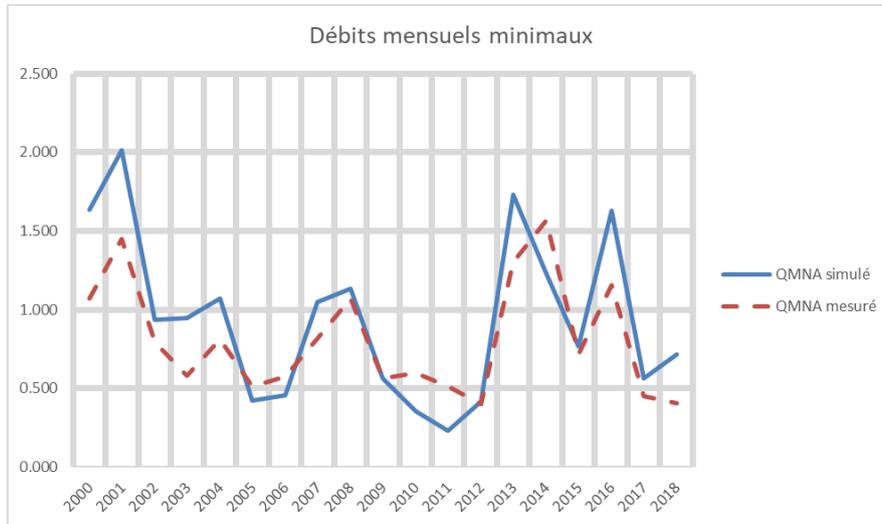


Figure 62 : Comparaison des QMNA simulés et observés sur la période d’analyse complète (2000 – 2018) (Sources : Banque Hydro, SUEZ Consulting, 2020)

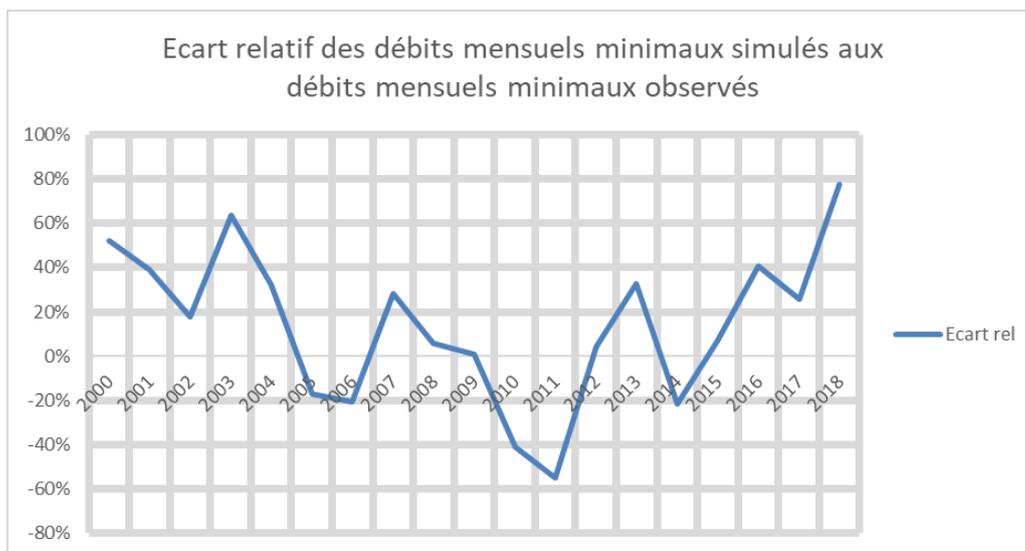


Figure 63 : Erreur relative d’estimation des QMNA sur la période d’analyse complète (2000 – 2018) (Sources : Banque Hydro, SUEZ Consulting, 2020)

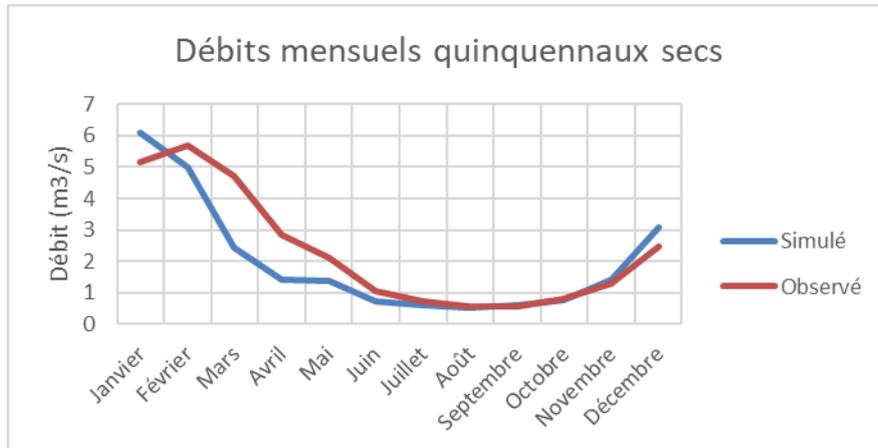


Figure 64 : Comparaison des débits mensuels quinquennaux secs simulés et observés sur la période d’analyse complète (2000 – 2018) (Sources : Banque Hydro, SUEZ Consulting, 2020)

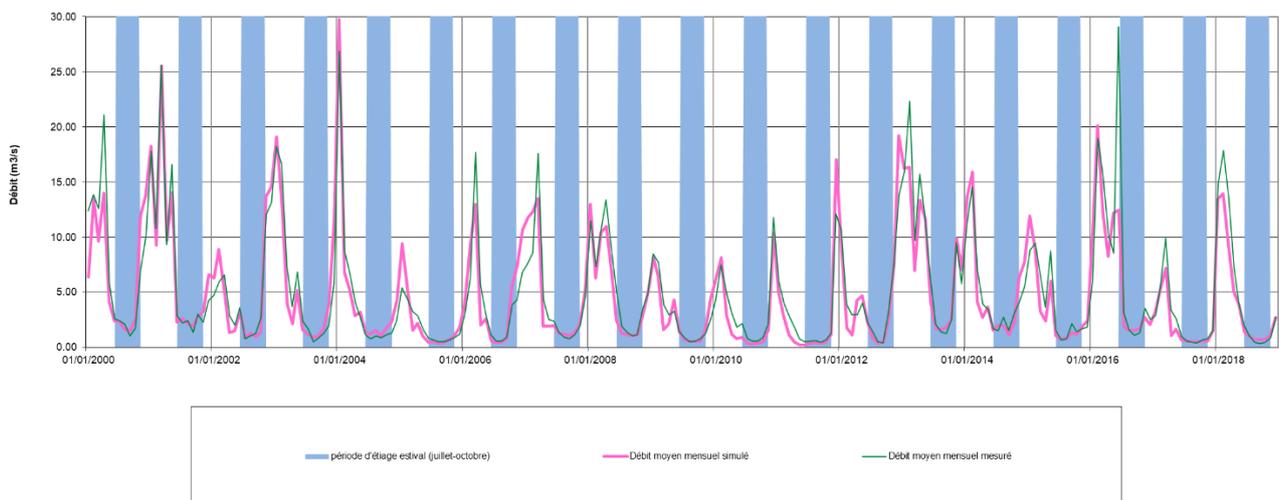


Figure 65 : Comparaison de la chronique de débits moyens mensuels simulée et observée sur la période d’analyse complète (2000 – 2018) (Sources : Banque Hydro, SUEZ Consulting, 2020)

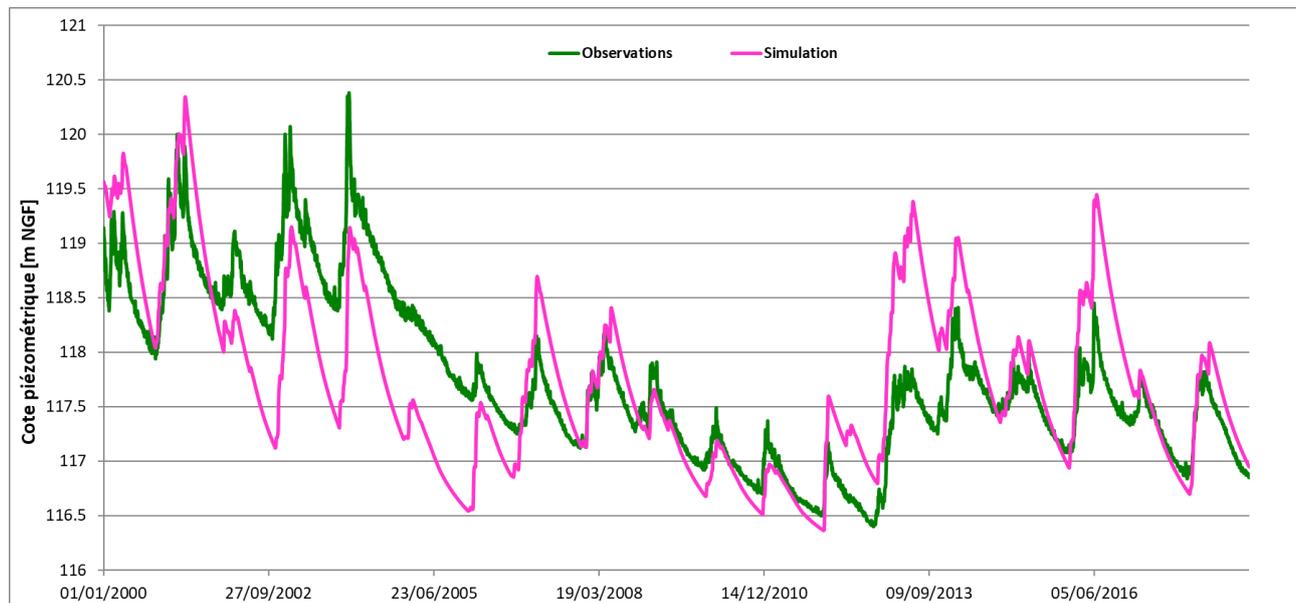


Figure 66 : Comparaison de la chronique piézométrique journalière simulée et observée sur la période d'analyse complète (2000 – 2018)¹⁵

7.4 Modèle hydrologique de chaque unité de gestion

On dispose, au niveau de l'exutoire des différentes unités de gestion du territoire d'étude, de **courtes chroniques hydrométriques** s'étendant de **décembre 2017 à fin décembre 2018**¹⁶.

On dispose également de **chroniques piézométriques** en différents points du territoire, pouvant s'assimiler au fonctionnement du compartiment souterrain des différentes unités de gestion.

L'ensemble de ces chroniques ont été utilisées pour **vérifier l'applicabilité du modèle calé** sur l'ensemble du bassin versant aux différentes unités de gestion. Cependant, la durée limitée des chroniques hydrométriques ne permet **pas de procéder à d'éventuels ajustements de calage**¹⁷. Elles permettront, tout au plus, d'appréhender qualitativement ce dernier.

7.4.1 Construction des modèles

Les modèles des différentes unités de gestion du bassin versant ont été **construits de manière analogue au modèle de référence**. Ils admettent en entrée les données suivantes :

¹⁵ Dans cette comparaison, la chronique simulée a été centrée-normée afin de présenter le même module et les mêmes amplitudes que la chronique mesurée. En effet, le compartiment souterrain de la modélisation n'est pas prévu pour une reproduction exacte de la piézométrie, mais plutôt pour en reproduire les tendances principales.

¹⁶ Il convient de préciser que l'année 2018 est particulière, hydrologiquement parlant, puisqu'elle présente le QMNA le plus faible de toute la chronique étudiée. Sa nature atypique est de nature à être moins bien représentée par le modèle qu'une année au fonctionnement moyen. En ce sens, elle permet d'évaluer la performance du modèle dans une configuration défavorable.

¹⁷ Caler un modèle sur une chronique d'une seule année ne permet pas d'en vérifier la robustesse. Le risque d'overfitting est, dans ce contexte, très élevé, rendant hasardeuse toute interprétation des résultats de modélisation. Le fait de conserver le calage réalisé à l'échelle du bassin versant permet, en revanche, de disposer d'un modèle qui, s'il n'a pas été spécifiquement optimisé pour chaque unité de gestion, peut du moins être considéré comme robuste étant donné que ses paramètres ont été ajustés de manière à représenter correctement les processus ayant lieu sur le territoire d'étude. Cette approche s'attache à valoriser au maximum l'information disponible.

Analyse HMUC et propositions d’actions pour une gestion équilibrée et durable des ressources en eau sur le bassin du Fouzon dans le cadre du SAGE Cher aval

- **Chronique pluviométrique** de l’unité de gestion en question reconstituée à l’aide d’un traitement par polygones de Thiessen¹⁸ des chroniques locales ;
- **Chronique d’ETP** mesurée à la station météorologique de Romorantin (station la plus proche présentant une chronique complète de l’ETP sur la période d’étude) ;
- Chroniques de prélèvements et rejets par usage de l’unité de gestion en question, séparés en :
 - Prélèvements surfaciques ;
 - Prélèvements souterrains ;
 - Restitutions surfaciques ;
 - Restitutions souterraines.
- Surface de l’unité de gestion.

Pour valider ces modèles, on s’appuie sur les données présentées au Tableau 26 et à la Figure 67. Les **stations piézométriques** ont été sélectionnées sur la base de trois critères :

- ▷ Leur **proximité** avec l’unité de gestion considérée ;
- ▷ Le **type de nappe** mesurée (seules les nappes libres sont retenues) ;
- ▷ La **représentativité de la nappe** mesurée par rapport à l’unité de gestion concernée.

Tableau 26 : Sélection des stations hydrométriques et piézométriques de validation pour chaque unité de gestion (Source : Banque Hydro, SMPVB, Terraqua, ADES, SUEZ Consulting, 2020)

Unité de gestion	Station hydrométrique CTB Fouzon	Station piézométrique	Masse d’eau souterraine mesurée
Fouzon amont	-	BSS001KFUV	Jurassique supérieur libre [FRGG076]
Fouzon médian	Station 1	BSS001HTAM	Cénomaniens libre [FRGG122]
Pozon	-	BSS001KFHD	Jurassique supérieur libre [FRGG076]
Saint Martin	Station 3	BSS001KFHD	Jurassique supérieur libre [FRGG076]
Renon	Station 5	BSS001HSRU	Séno-Turonien libre [FRGG085]
Céphons	Station 6	BSS001LNJT	Jurassique supérieur libre [FRGG076]
Nahon	-	BSS001HSRU	Séno-Turonien libre [FRGG085]

¹⁸ Ce traitement consiste à scinder le territoire en zones d’influence de chaque station météorologique, et d’affecter chaque station d’un poids relatif proportionnel à la surface de sa zone d’influence. Plus la zone d’influence d’une station est étendue, plus cette dernière a d’importance dans la modélisation.

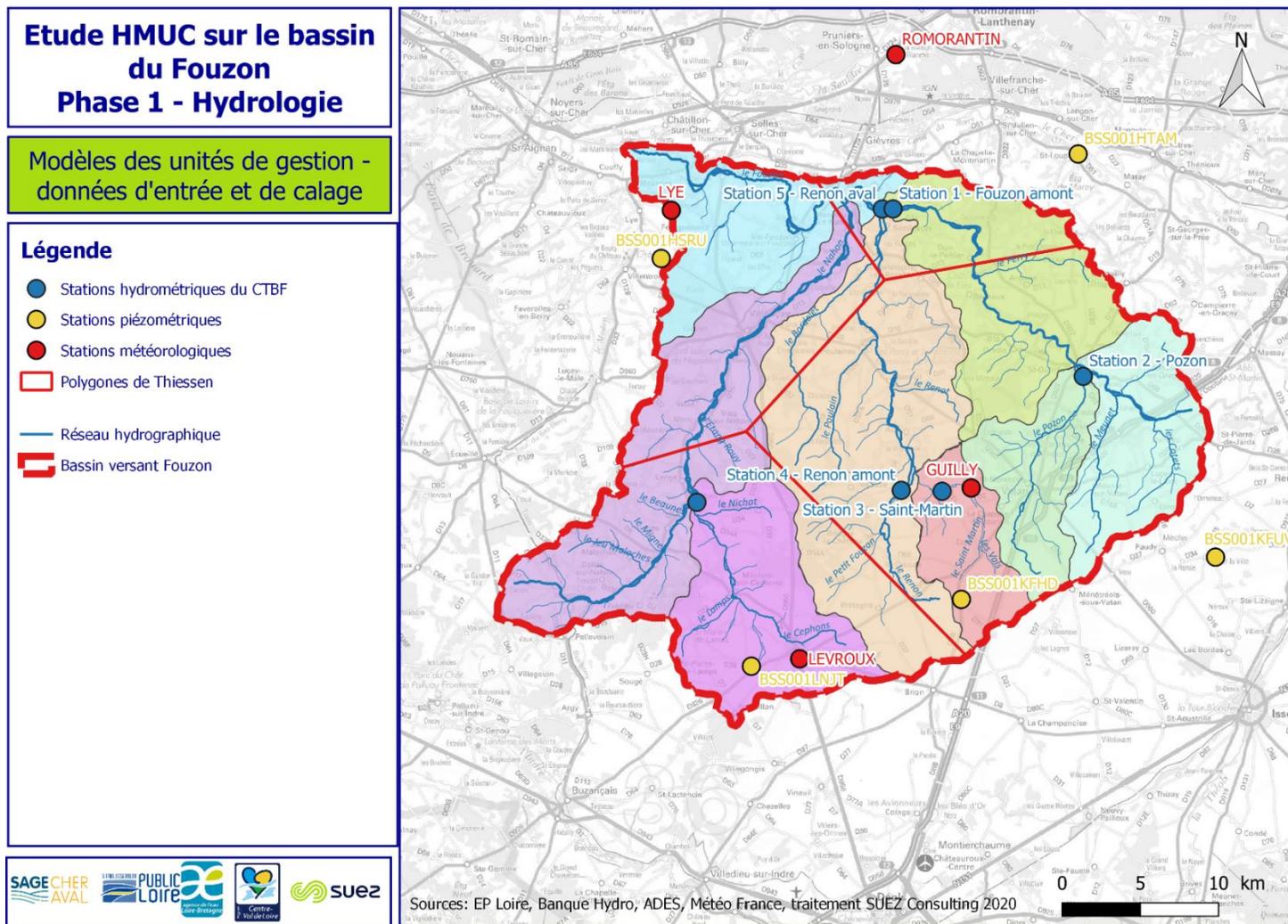


Figure 67 : Représentation cartographique des données d'entrée et de calage de la modélisation hydrologique au niveau des unités de gestion du territoire d'étude (Sources : EP Loire, SMPVB, ADES, Météo France, SUEZ Consulting 2020)

7.4.2 Validation des modèles

7.4.2.1 Le Fouzon amont

Aucune chronique hydrométrique n'est disponible sur cette unité de gestion.

La chronique de niveau du **compartiment souterrain** modélisé a été comparée à celle du **piézomètre BSS001KFUV** dans la nappe du **Jurassique supérieur libre**. Il en ressort que les **périodes de montée et de descente** du niveau de la nappe sont bien **synchronisées**. Les tendances interannuelles (montée ou descente par rapport à l'année précédente) sont également bien reproduites. Cependant, le modèle présente des fluctuations interannuelles plus importantes que ce qui est observé, ce qui peut indiquer une **surestimation de la recharge de nappe**.

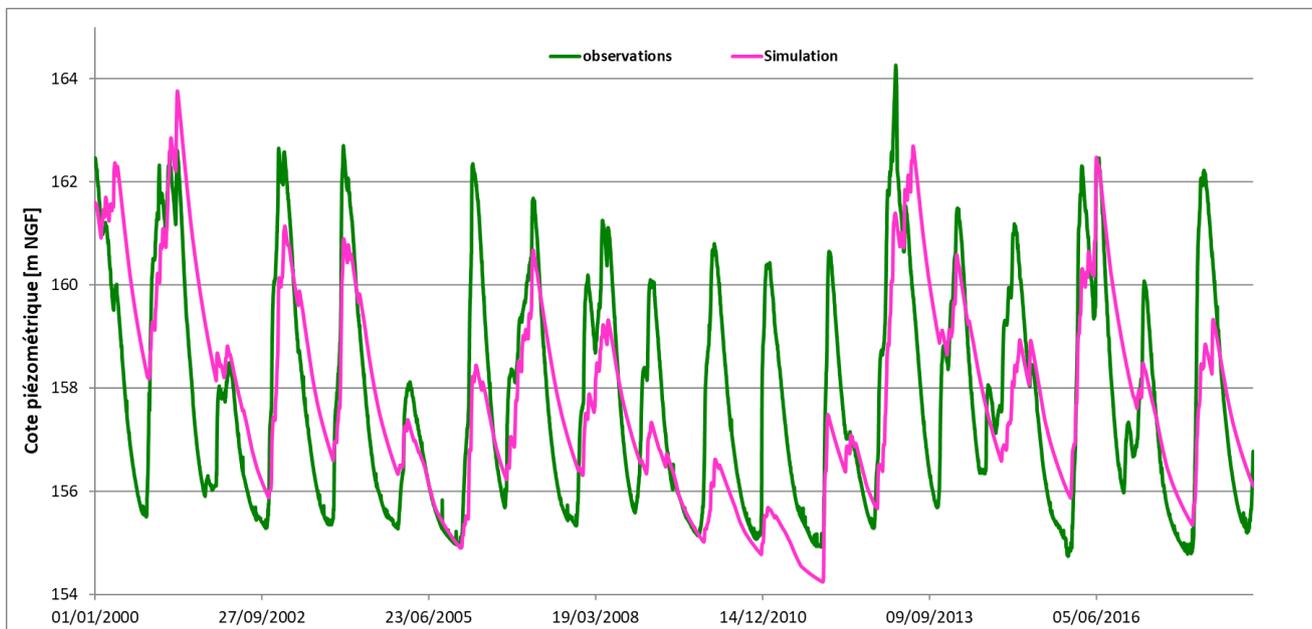


Figure 68 : Fouzon amont - Comparaison de la chronique piézométrique journalière simulée et observée (BSS001KFUV) sur la période d'analyse complète (2000 – 2018) (Sources : ADES, SUEZ Consulting, 2020)

7.4.2.2 Le Fouzon médian

Sur l’année 2018, les **débits modélisés** du Fouzon médian **sous-estiment les débits observés** en période de hautes eaux de presque 50% en mars. Cependant, en **période d’été**, une **bonne concordance** est observée.

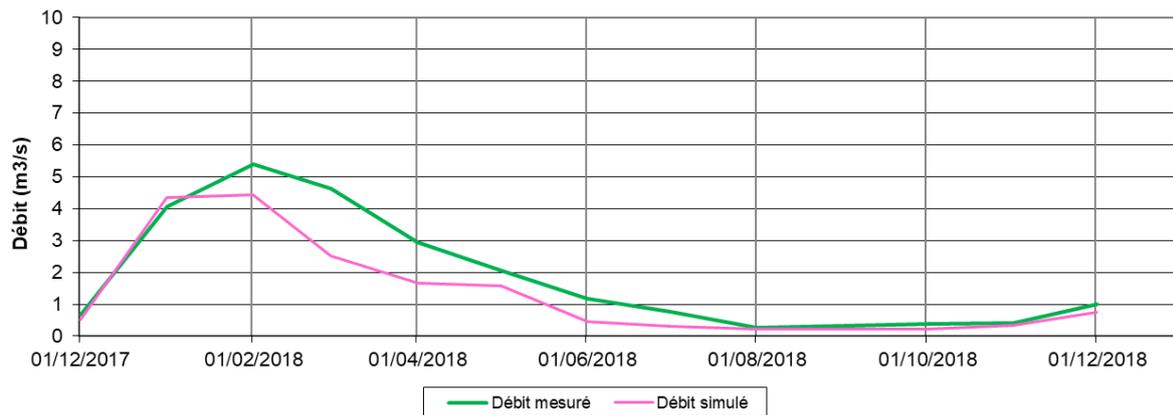


Figure 69 : Fouzon médian - Comparaison de la chronique hydrométrique simulée et observée (station 1 CTBF) sur la période de disponibilité de mesures (déc. 2017 – déc. 2018) (Sources : SMPVD, Terraqua, SUEZ Consulting, 2020)

Concernant le compartiment souterrain, il est important de souligner que le **piézomètre BSS001HTAM** dans la nappe du **Cénomaniens libre**, utilisé pour la validation du modèle, est **influencé par des prélèvements en nappe**. La comparaison de cette chronique avec le niveau de nappe modélisé n’est donc pas valide.

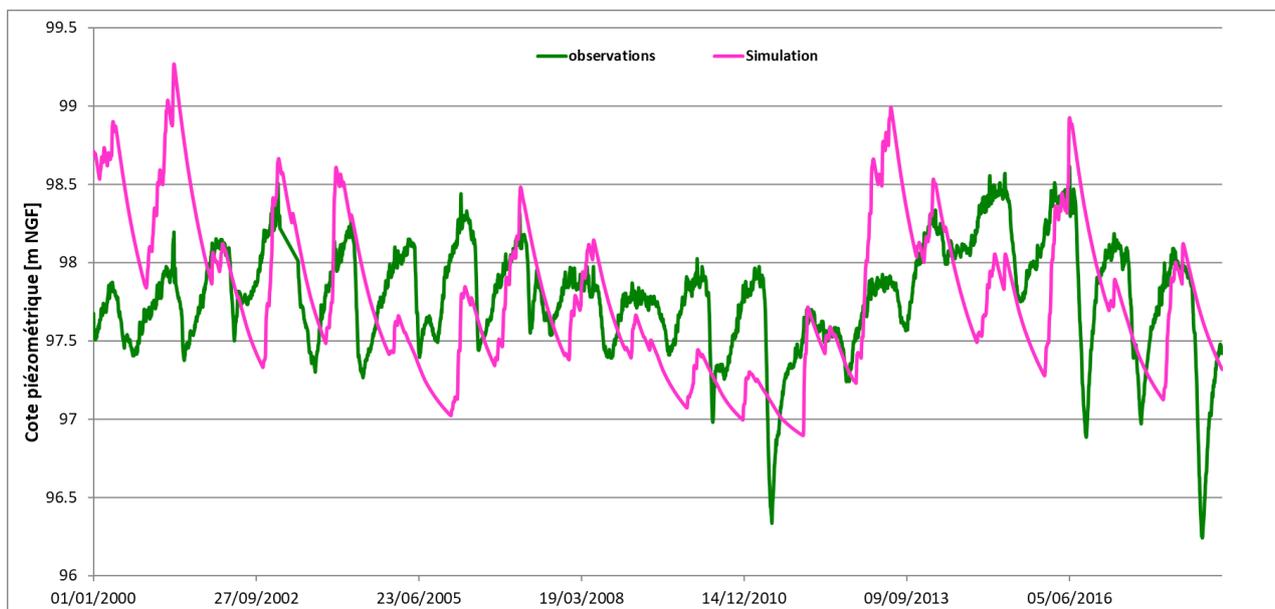


Figure 70 : Fouzon médian - Comparaison de la chronique piézométrique simulée et observée (BSS001HTAM) sur la période d’analyse complète (2000 – 2018) (Sources : ADES, SUEZ Consulting, 2020)

7.4.2.3 Le Pozon

Aucune chronique hydrométrique n'est disponible sur cette unité de gestion.

La chronique de niveau du **compartiment souterrain** modélisé a été comparée à celle du **piézomètre BSS001KFHD** dans la nappe du **Jurassique supérieur libre**. Il en ressort que les **périodes de montée et de descente** du niveau de la nappe sont **bien synchronisées**. Les tendances interannuelles (montée ou descente par rapport à l'année précédente) sont également bien reproduites. Cependant, le modèle présente des fluctuations interannuelles plus importantes que ce qui est observé, ce qui peut indiquer une **surestimation de la recharge de nappe**.

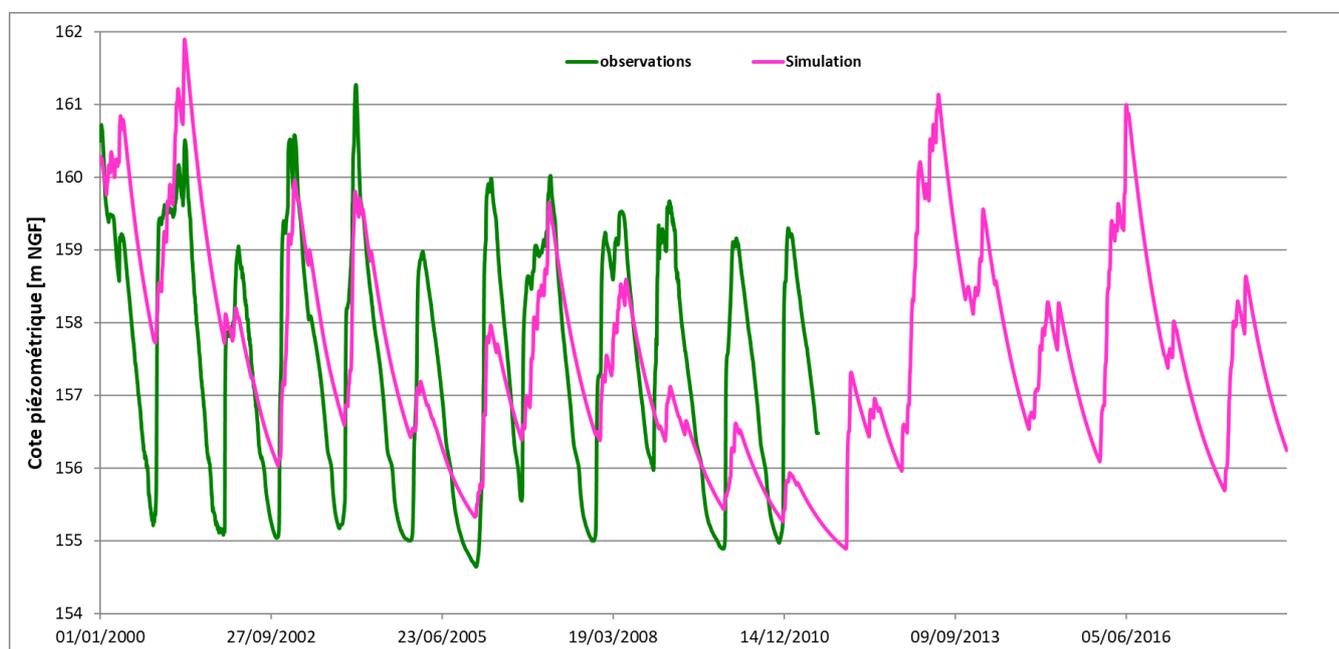


Figure 71 : Pozon - Comparaison de la chronique piézométrique simulée et observée (BSS001KFHD) sur la période d'analyse complète (2000 – 2018) (Sources : ADES, SUEZ Consulting, 2020)

7.4.2.4 Le Saint-Martin

Au niveau du Saint-Martin, la modélisation de l’année 2018 est **conforme** à celle réalisée et calée sur l’ensemble du bassin versant. Une légère **anticipation de la baisse de débit** est observée, de même qu’une légère surestimation des débits en période d’été.

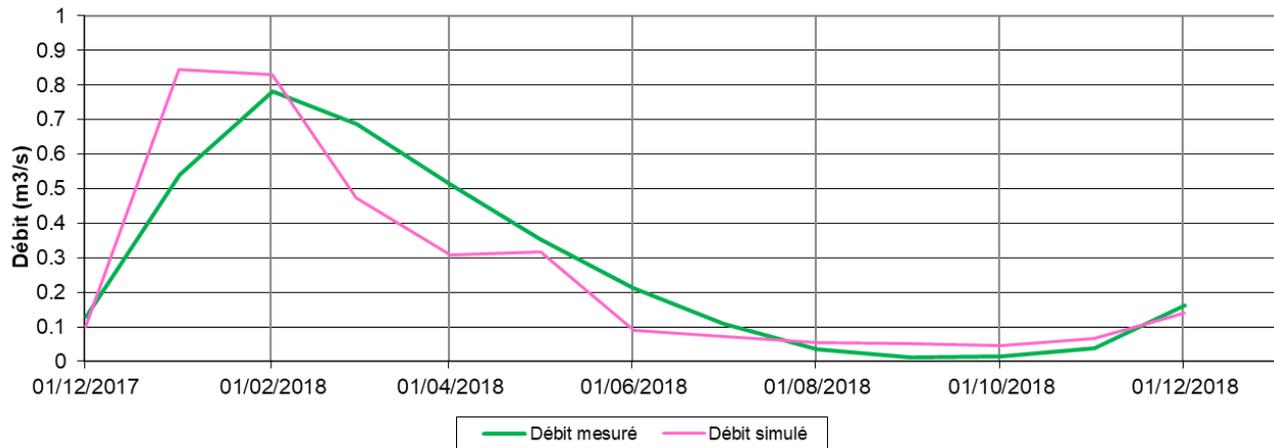


Figure 72 : Saint-Martin - Comparaison de la chronique hydrométrique simulée et observée (station 3 CTBF) sur la période de disponibilité de mesures (déc. 2017 – déc. 2018) (Sources : SMPVD, Terraqua, SUEZ Consulting, 2020)

La chronique de niveau du **compartiment souterrain** modélisé a été comparée à celle du piézomètre **BSS001KFHD** dans la nappe du **Jurassique supérieur libre**. Il en ressort que les **périodes de montée et de descente** du niveau de la nappe sont **bien synchronisées**. Les tendances interannuelles (montée ou descente par rapport à l’année précédente) sont également bien reproduites. Cependant, le modèle présente des fluctuations interannuelles plus importantes que ce qui est observé, ce qui peut indiquer **une surestimation de la recharge de nappe**.

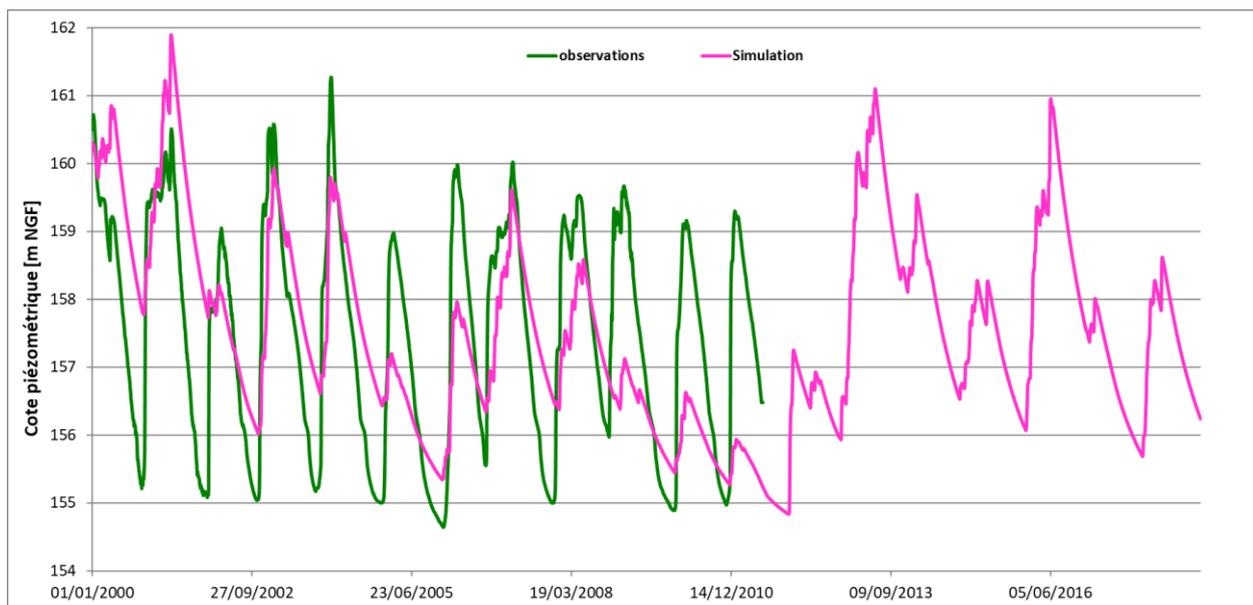


Figure 73 : Saint-Martin - Comparaison de la chronique piézométrique simulée et observée (BSS001KFHD) sur la période d’analyse complète (2000 – 2018) (Sources : ADES, SUEZ Consulting, 2020)

7.4.2.5 Le Renon

De même que pour le Fouzon médian, sur l’année 2018, les **débits modélisés** du Renon **surestiment les débits observés** en période de hautes eaux de presque 100%. En **période d’étiage**, une **bonne concordance** est observée.

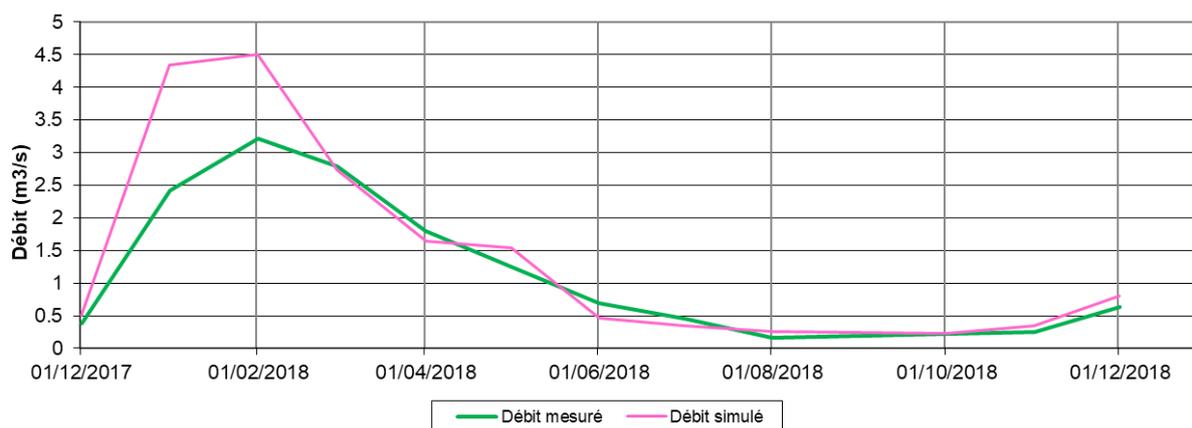


Figure 74 : Renon - Comparaison de la chronique hydrométrique simulée et observée (station 5) sur la période de disponibilité de mesures (déc. 2017 – déc. 2018) (Sources : SMPVD, Terraqua, SUEZ Consulting, 2020)

Le compartiment souterrain modélisé, comparée à la nappe du **Séno-Turonien libre** grâce au piézomètre **BSS001HSRU**, reproduit bien les **cinétiques de montée et de descente** du niveau de la nappe. Au niveau interannuel, on observe une bonne reproduction des évolutions du niveau de nappe également.

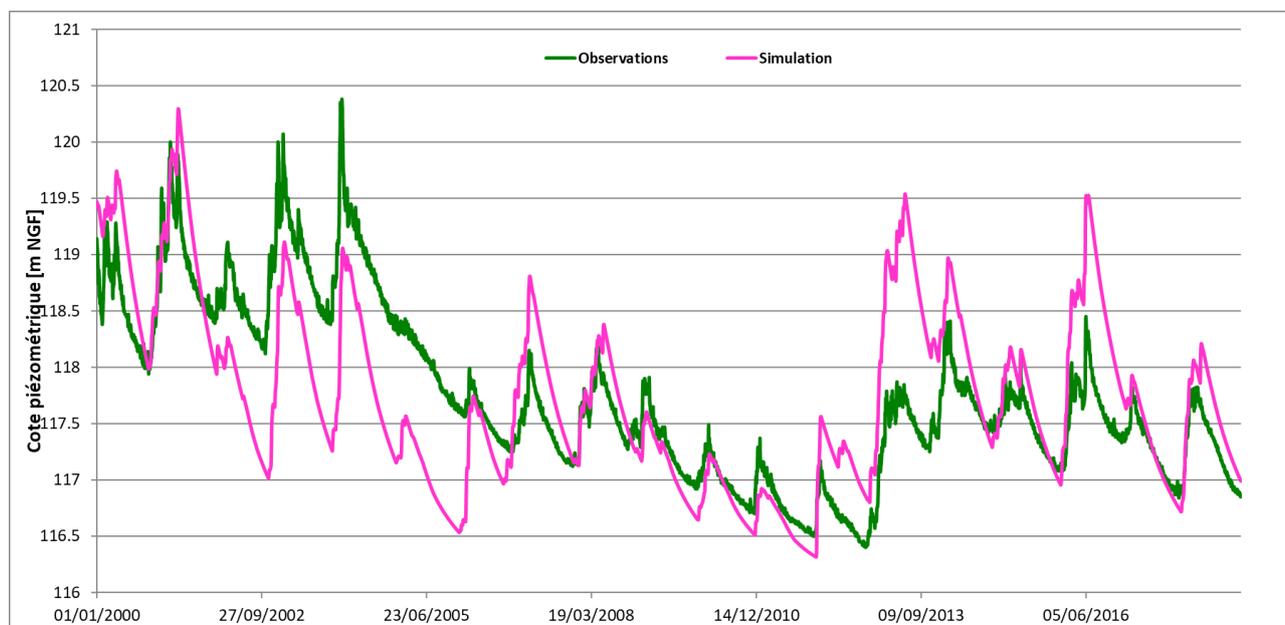


Figure 75 : Renon - Comparaison de la chronique piézométrique simulée et observée (BSS001HSRU) sur la période d’analyse complète (2000 – 2018) (Sources : ADES, SUEZ Consulting, 2020)

7.4.2.6 Le Céphons

Au niveau du Céphons, la modélisation de l’année 2018 est conforme à celle réalisée et calée sur l’ensemble du bassin versant, avec un critère de Nash de 88%. Une légère anticipation de la baisse de débit est observée.

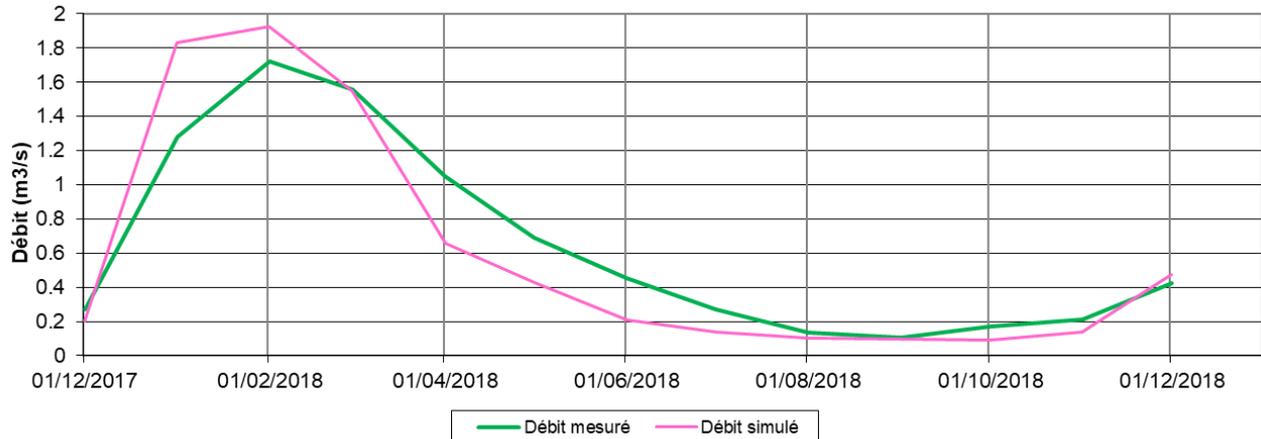


Figure 76 : Céphons - Comparaison de la chronique hydrométrique simulée et observée (station 6) sur la période de disponibilité de mesures (déc. 2017 – déc. 2018) (Sources : SMPVD, Terraqua, SUEZ Consulting, 2020)

La chronique de niveau du **compartiment souterrain** modélisé a été comparée à celle du piézomètre **BSS001LNJT** dans la nappe du **Jurassique supérieur libre**. Il en ressort que les **périodes de montée et de descente** du niveau de la nappe sont **bien synchronisées**. Les tendances interannuelles (montée ou descente par rapport à l’année précédente) sont également bien reproduites. Cependant, le modèle présente des fluctuations interannuelles plus importantes que ce qui est observé, ce qui peut indiquer une **surestimation de la recharge de nappe**.

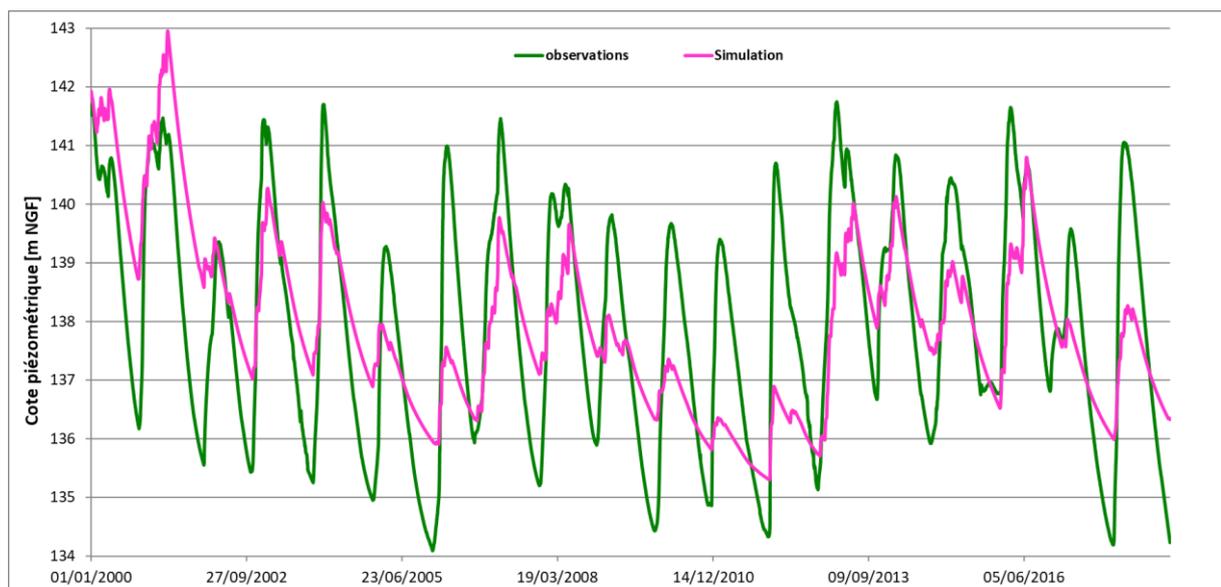


Figure 77 : Céphons - Comparaison de la chronique piézométrique simulée et observée (BSS001LNJT) sur la période d’analyse complète (2000 – 2018)

7.4.2.7 Le Nahon

Aucune chronique hydrométrique n'est disponible sur cette unité de gestion.

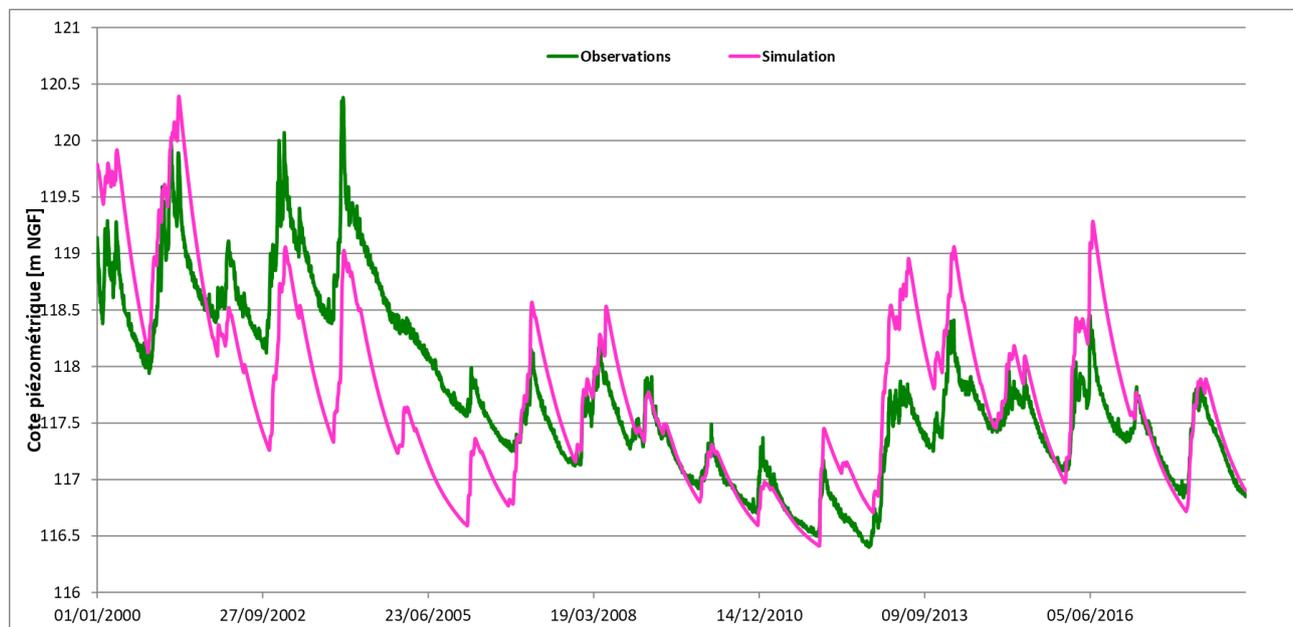


Figure 78 : Nahon - Comparaison de la chronique piézométrique simulée et observée (BSS001HSRU) sur la période d'analyse complète (2000 – 2018)

Le compartiment souterrain modélisé, comparée à la nappe du **Séno-Turonien libre** grâce au piézomètre **BSS001HSRU**, reproduit bien les cinétiques de montée et de descente du niveau de la nappe. Au niveau interannuel, on observe une bonne reproduction des évolutions du niveau de nappe également.

7.4.2.1 Le Fouzon aval (=modèle de référence)

Le **modèle de référence** est le modèle construit à l'exutoire du bassin du Fouzon, sur le Fouzon à la station hydrométrique de Meusnes. Il correspond au modèle qui sera utilisé sur l'unité de gestion **Fouzon aval**.

Se référer au **paragraphe 7.3.4**. pour la qualité du calage de ce modèle.

7.4.3 Synthèse sur la conformité des modèles

Les analyses réalisées au niveau des différentes unités de gestion indiquent que, malgré une période de validation particulière (une seule année et une année 2018 particulièrement sèche), **le modèle restitue de manière satisfaisante la dynamique hydrométrique et piézométrique de chacune de ces unités de gestion**. Il surestime les débits de hautes eaux sur certaines d'entre elles, mais donne systématiquement de bons résultats sur les périodes d'étiage, qui constituent le cœur des analyses à réaliser dans la suite de l'étude.

7.5 Analyse de l'hydrologie désinfluencée et impact des prélèvements actuels sur la ressource

7.5.1 Méthodologie

Les modèles étant validés, il est désormais possible de les utiliser pour décrire, au niveau de chaque unité de gestion :

- L'hydrologie influencée ;
- L'hydrologie désinfluencée ;
- La différence entre ces deux régimes.

Pour ce faire, une sélection d'indicateurs, ciblés sur l'étiage, est présentée. Elle inclut :

- Le QMNA moyen ;
- Le QMNA2 ;
- Le QMNA5 ;
- Le VCN10 moyen ;
- Le VCN10(2) ;
- Le VCN10(5) ;
- Le VCN3 moyen ;
- Le VCN3(2) ;
- Le VCN3(5) ;
- Le 1/10ème et le 1/20ème de module ;
- Le débit mensuel quinquennal sec de chaque mois de l'année ;
- Le nombre de jours moyen de bas débits (inférieurs au QMNA2) et de très bas débits (inférieurs au QMNA5) sur chaque mois de l'année.

Pour chacun de ces indicateurs, une marge d'incertitude basée sur l'erreur de calage et sur l'incertitude sur les usages de l'eau a été calculée (voir paragraphe 10.3.2). Il est important de mentionner que les marges ainsi constituées ne prennent en compte que ces deux types d'incertitudes (les seules qui soient quantifiables), mais que de nombreuses autres sources d'incertitudes existent.

7.5.2 Présentation des résultats par unité de gestion

7.5.2.1 Le Fouzon amont

Sur le Fouzon amont, on observe :

- ❖ Un **impact fort des usages** sur les débits minimums d'une **année moyenne**, avec un **QMNA influencé équivalent à 70%** de la valeur désinfluencée ;
- ❖ Un impact très fort des usages sur les épisodes de sécheresses plus rares, avec un QMNA5 influencé équivalent à seulement **44%** de la valeur qu'il aurait en régime désinfluencé. En comparaison avec une année moyenne, l'augmentation de l'écart est **principalement liée à des facteurs climatiques, mais aussi partiellement à des pics de pression anthropique** ;

Tableau 27 : Fouzon amont - Indicateurs d'étiage en régimes influencé et désinfluencé (Sources : SUEZ Consulting 2020)

	Influencé	Désinfluencé	Désinfl. - Infl. (% Infl vs désinfl.)	Influencé	Désinfluencé	Désinfl. - Infl. (% Infl vs désinfl.)	Influencé	Désinfluencé	Désinfl. - Infl. (% Infl vs désinfl.)
	QMNA moyen			QMNA2			QMNA5		
L/s	71 [61; 81]	100 [83; 118]	29 (71%)	55 [51; 60]	92 [80; 103]	37 (60%)	28 [26; 30]	63 [51; 75]	35 (44%)
L/s/km²	0.75 [0.64; 0.85]	1.06 [0.88; 1.24]	0.31 (71%)	0.58 [0.54; 0.63]	0.97 [0.84; 1.09]	0.39 (60%)	0.3 [0.28; 0.32]	0.66 [0.54; 0.79]	0.36 (45%)
	VCN10			VCN10 (2)			VCN10 (5)		
L/s	62 [47; 78]	91 [66; 117]	29 (68%)	37 [30; 45]	82 [61; 103]	45 (45%)	10 [9; 10]	54 [44; 64]	44 (19%)
L/s/km²	0.66 [0.49; 0.82]	0.96 [0.69; 1.23]	0.3 (69%)	0.39 [0.32; 0.47]	0.86 [0.64; 1.08]	0.47 (45%)	0.1 [0.1; 0.11]	0.57 [0.46; 0.67]	0.47 (18%)
	VCN3			VCN3 (2)			VCN3 (5)		
L/s	61 [42; 80]	89 [59; 119]	28 (69%)	36 [26; 45]	79 [54; 105]	43 (46%)	9 [8; 10]	52 [38; 66]	43 (17%)
L/s/km²	0.64 [0.44; 0.84]	0.94 [0.62; 1.25]	0.3 (68%)	0.38 [0.28; 0.48]	0.84 [0.57; 1.1]	0.46 (45%)	0.1 [0.08; 0.11]	0.55 [0.4; 0.69]	0.45 (18%)
	Module								
L/s	445 [421; 468]	466 [440; 493]	21 (95%)						
L/s/km²	4.68 [4.44; 4.93]	4.91 [4.63; 5.19]	0.23 (95%)						

Phase 1 –Volet Hydrologie : Analyse du fonctionnement hydro(géo)logique du bassin en régimes influencé et désinfluencé des usages anthropiques

Analyse HMUC et propositions d'actions pour une gestion équilibrée et durable des ressources en eau sur le bassin du Fouzon dans le cadre du SAGE Cher aval

- ❖ Une **pression anthropique concentrée sur la période estivale**, avec des débits mensuels quinquennaux secs influencés valant environ **50%** de leur valeur désinfluencée. Les impacts sur le restant de l'année étant modérés ;
- ❖ De manière générale, **un fort impact des usages anthropiques de l'eau** sur la capacité du sous-bassin à produire de l'eau tout au long de l'année.

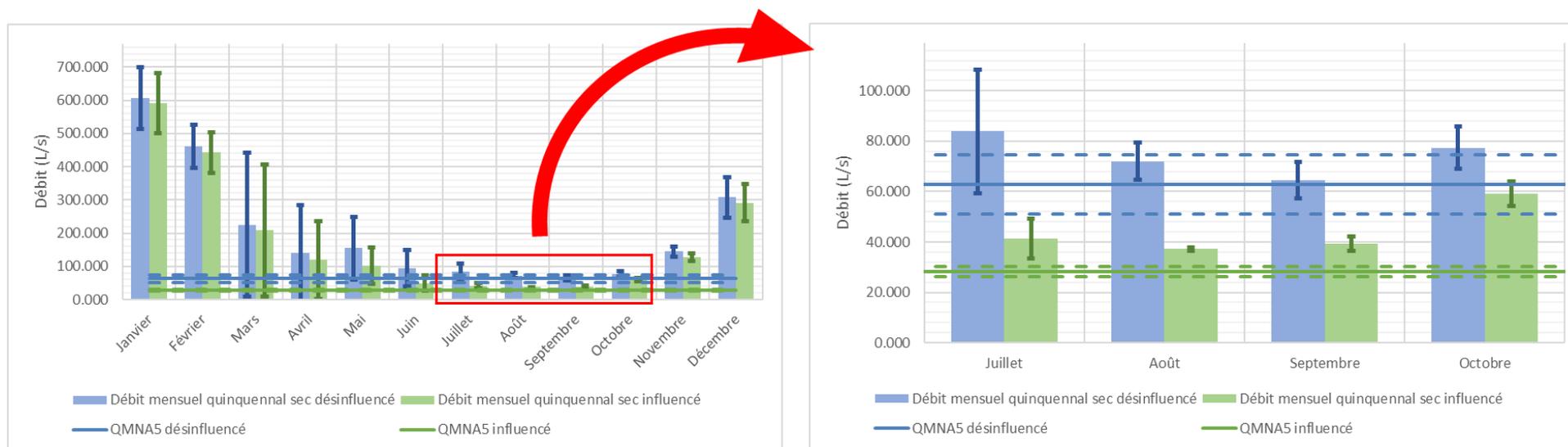


Figure 79 : Fouzon amont - Débits mensuels quinquennaux secs en régimes influencé et désinfluencé (Sources : SUEZ Consulting 2020)

Tableau 28 : Fouzon amont - Débits mensuels quinquennaux secs en régimes influencé et désinfluencé (Sources : SUEZ Consulting 2020)

Unité: L/s	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
QMNA5 influencé	591 [501; 681]	443 [382; 504]	208 [10; 407]	119 [0; 237]	103 [48; 158]	49 [27; 72]	41 [33; 49]	37 [37; 38]	39 [36; 42]	59 [54; 64]	128 [116; 140]	292 [235; 348]
QMNA5 désinfluencé	607 [513; 700]	462 [397; 526]	225 [8; 443]	140 [-5; 285]	155 [60; 249]	95 [40; 149]	84 [59; 108]	72 [65; 79]	64 [57; 72]	77 [69; 86]	144 [129; 159]	307 [247; 368]

- ❖ Une plus longue durée de période de bas et très bas débit sur les mois estivaux que sur le restant de l'année, particulièrement en régime influencé ;

Phase 1 –Volet Hydrologie : Analyse du fonctionnement hydro(géo)logique du bassin en régimes influencé et désinfluencé des usages anthropiques

Analyse HMUC et propositions d'actions pour une gestion équilibrée et durable des ressources en eau sur le bassin du Fouzon dans le cadre du SAGE Cher aval

- ❖ De très rares périodes de très bas débits en régime désinfluencé, et rares en régime influencé en comparaison aux autres unités de gestion ;
- ❖ Un clivage marqué entre le nombre de jours de bas débits en régime influencé et désinfluencé ;
- ❖ En comparant le régime désinfluencé et influencé, des étiages non seulement substantiellement plus fréquents, mais également plus marqués en régime influencé.

Phase 1 –Volet Hydrologie : Analyse du fonctionnement hydro(géo)logique du bassin en régimes influencé et désinfluencé des usages anthropiques

Analyse HMUC et propositions d'actions pour une gestion équilibrée et durable des ressources en eau sur le bassin du Fouzon dans le cadre du SAGE Cher aval

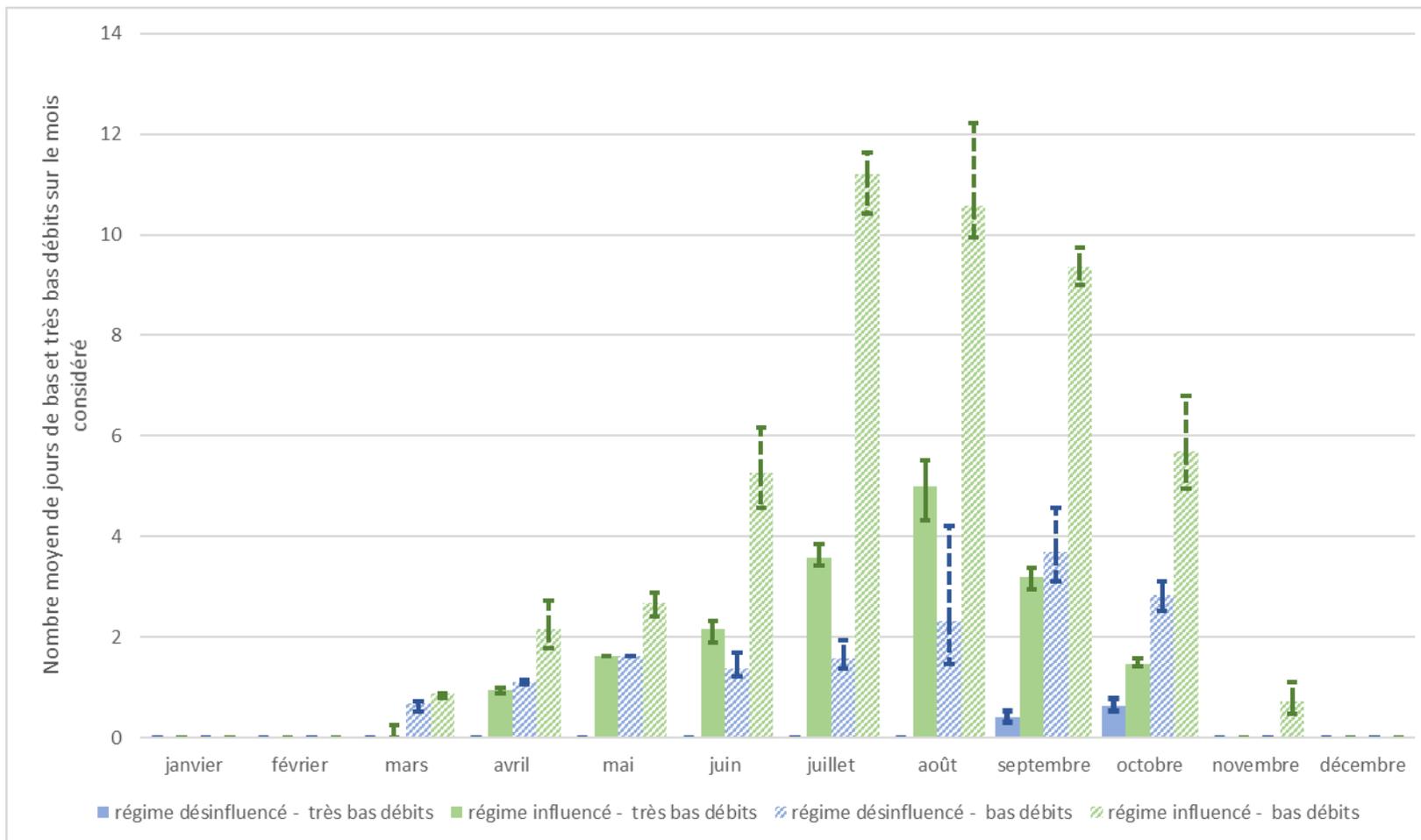


Figure 80 : Fouzon amont – nombre moyen de jours de bas et très bas débits sur chaque mois de l'année (Sources : SUEZ Consulting 2020)

7.5.2.1 Le Fouzon médian

Sur le Fouzon médian, on observe :

- ❖ Un **impact modéré** des usages sur les débits minimums d'une **année moyenne**, avec un **QMNA influencé équivalent à 84%** de la valeur désinfluencée ;
- ❖ Un impact plus marqué des usages sur les épisodes de sécheresses plus rares, avec un QMNA5 influencé équivalent à **70%** de la valeur qu'il aurait en régime désinfluencé. En comparaison avec une année moyenne, l'augmentation de l'écart est **principalement liée à des facteurs climatiques, mais aussi partiellement à des pics de pressions anthropique** ;

Tableau 29 : Fouzon médian - Indicateurs d'étiage en régimes influencé et désinfluencé (Sources : SMPVB, Terraqua, SUEZ Consulting 2020)

	Influencé	Désinfluencé	Désinfl. - Infl. (% Infl vs désinfl.)	Influencé	Désinfluencé	Désinfl. - Infl. (% Infl vs désinfl.)	Influencé	Désinfluencé	Désinfl. - Infl. (% Infl vs désinfl.)
	QMNA moyen			QMNA2			QMNA5		
L/s	260 [223; 297]	311 [258; 365]	51 (84%)	225 [207; 242]	285 [249; 322]	60 (79%)	138 [129; 148]	198 [161; 236]	60 (70%)
L/s/km ²	0.86 [0.74; 0.99]	1.03 [0.86; 1.21]	0.17 (83%)	0.75 [0.69; 0.81]	0.95 [0.83; 1.07]	0.2 (79%)	0.46 [0.43; 0.49]	0.66 [0.54; 0.78]	0.2 (70%)
	VCN10			VCN10 (2)			VCN10 (5)		
L/s	233 [175; 291]	281 [202; 360]	48 (83%)	187 [151; 224]	254 [189; 318]	67 (74%)	97 [91; 103]	169 [137; 201]	72 (57%)
L/s/km ²	0.77 [0.58; 0.97]	0.94 [0.67; 1.2]	0.17 (82%)	0.62 [0.5; 0.75]	0.84 [0.63; 1.06]	0.22 (74%)	0.32 [0.3; 0.34]	0.56 [0.46; 0.67]	0.24 (57%)
	VCN3			VCN3 (2)			VCN3 (5)		
L/s	229 [159; 299]	274 [182; 366]	45 (84%)	183 [135; 231]	246 [167; 324]	63 (74%)	93 [79; 107]	161 [118; 205]	68 (58%)
L/s/km ²	0.76 [0.53; 1]	0.91 [0.6; 1.22]	0.15 (84%)	0.61 [0.45; 0.77]	0.82 [0.55; 1.08]	0.21 (74%)	0.31 [0.26; 0.35]	0.54 [0.39; 0.68]	0.23 (57%)
	Module								
L/s	1413 [1339; 1487]	1444 [1362; 1527]	31 (98%)						
L/s/km ²	4.7 [4.45; 4.94]	4.8 [4.53; 5.07]	0.1 (98%)						

Phase 1 –Volet Hydrologie : Analyse du fonctionnement hydro(géo)logique du bassin en régimes influencé et désinfluencé des usages anthropiques

Analyse HMUC et propositions d'actions pour une gestion équilibrée et durable des ressources en eau sur le bassin du Fouzon dans le cadre du SAGE Cher aval

- ❖ Une **pression anthropique concentrée sur la période estivale**, avec des débits mensuels quinquennaux secs influencés valant d'environ **66% à 80%** de leur valeur désinfluencée, les impacts sur le restant de l'année étant modérés voire faibles ;
- ❖ De manière générale, un **fort impact des usages anthropiques de l'eau** sur la capacité du sous-bassin à produire de l'eau tout au long de l'année.

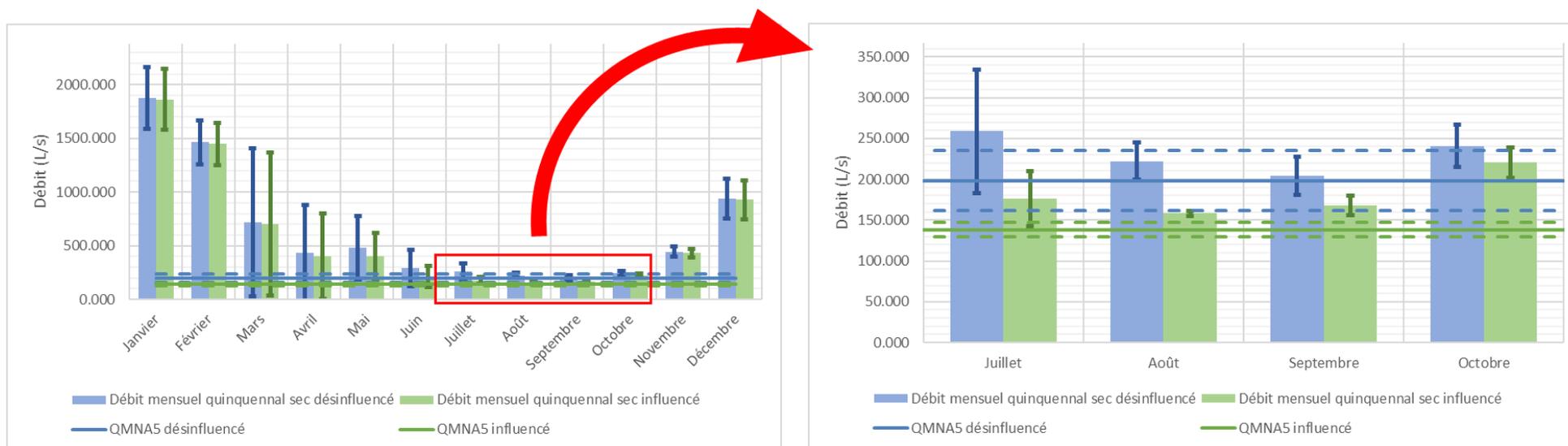


Figure 81 : Fouzon médian - Débits mensuels quinquennaux secs en régimes influencé et désinfluencé (Sources : SMPVB, Terraqua, SUEZ Consulting 2020)

Tableau 30 : Fouzon médian - Débits mensuels quinquennaux secs en régimes influencé et désinfluencé (Sources : SUEZ Consulting 2020)

Unité: L/s	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
QMNA5 influencé	1863 [1580; 2147]	1449 [1250; 1647]	701 [34; 1368]	400 [2; 799]	403 [187; 619]	214 [117; 311]	176 [143; 210]	158 [155; 161]	168 [156; 180]	220 [202; 239]	431 [389; 472]	927 [748; 1107]
QMNA5 désinfluencé	1876 [1588; 2165]	1463 [1258; 1668]	716 [25; 1407]	434 [-14; 882]	483 [187; 779]	295 [125; 465]	259 [183; 334]	222 [200; 245]	204 [181; 227]	241 [215; 267]	444 [398; 490]	939 [754; 1124]

Phase 1 –Volet Hydrologie : Analyse du fonctionnement hydro(géo)logique du bassin en régimes influencé et désinfluencé des usages anthropiques

Analyse HMUC et propositions d'actions pour une gestion équilibrée et durable des ressources en eau sur le bassin du Fouzon dans le cadre du SAGE Cher aval

- ❖ Une plus longue durée de périodes de bas et très bas débit sur les mois estivaux que sur le restant de l'année, particulièrement en régime influencé ;
- ❖ De rares périodes de très bas débits en régime désinfluencé ;
- ❖ En comparant le régime désinfluencé et influencé, des étiages non seulement substantiellement plus fréquents, mais également plus marqués en régime influencé.

Phase 1 –Volet Hydrologie : Analyse du fonctionnement hydro(géo)logique du bassin en régimes influencé et désinfluencé des usages anthropiques

Analyse HMUC et propositions d'actions pour une gestion équilibrée et durable des ressources en eau sur le bassin du Fouzon dans le cadre du SAGE Cher aval

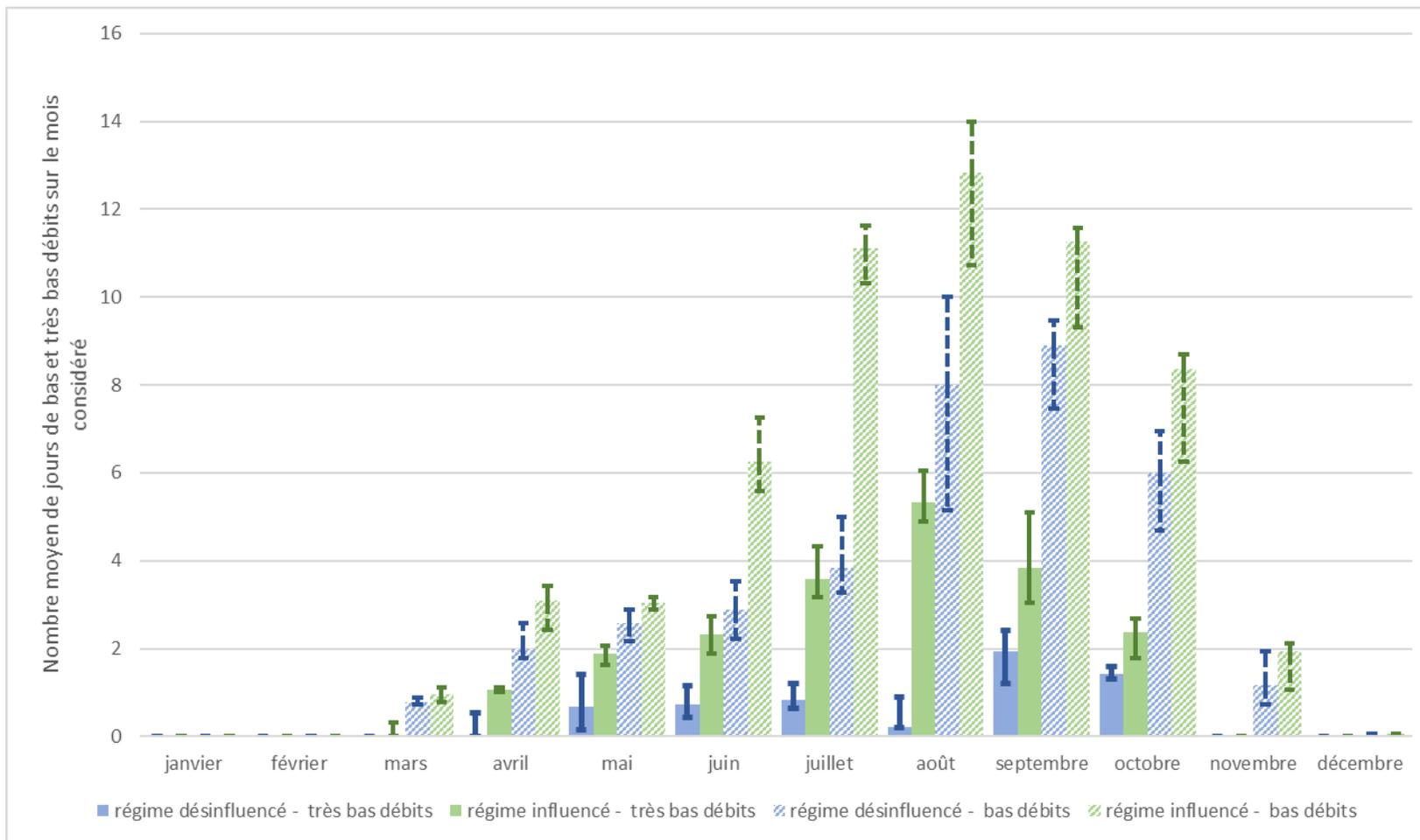


Figure 82 : Fouzon amont – nombre moyen de jours de bas et très bas débits sur chaque mois de l'année (Sources : SUEZ Consulting 2020)

7.5.2.2 Le Pozon

Sur le Pozon, on observe :

- ❖ Un **impact nul** des usages sur les débits minimums d'une **année moyenne**, avec un **QMNA influencé équivalent à 99%** de la valeur désinfluencée. Le bilan prélèvements-rejets étant positif en moyenne sur cette UG, on observe que le module influencé est supérieur au module désinfluencé ;
- ❖ Un impact également pratiquement nul des usages sur les épisodes de sécheresses plus rares, avec un QMNA5 influencé équivalent à **99%** de la valeur qu'il aurait en régime désinfluencé. En comparaison avec une année moyenne, l'augmentation de l'écart est **intégralement liée aux facteurs climatiques**, les usages ne semblant pas présenter de pic particulier ;

Tableau 31 : Pozon - Indicateurs d'étiage en régimes influencé et désinfluencé (Sources : SUEZ Consulting 2020)

	Influencé	Désinfluencé	Désinfl. - Infl. (% Infl vs désinfl.)	Influencé	Désinfluencé	Désinfl. - Infl. (% Infl vs désinfl.)	Influencé	Désinfluencé	Désinfl. - Infl. (% Infl vs désinfl.)
	QMNA moyen			QMNA2			QMNA5		
L/s	71 [61; 81]	72 [59; 84]	1 (99%)	64 [59; 69]	65 [57; 74]	1 (98%)	44 [41; 46]	45 [36; 53]	1 (98%)
L/s/km ²	1.04 [0.9; 1.19]	1.06 [0.88; 1.24]	0.02 (98%)	0.95 [0.87; 1.02]	0.97 [0.84; 1.09]	0.02 (98%)	0.64 [0.6; 0.69]	0.66 [0.54; 0.79]	0.02 (97%)
	VCN10			VCN10 (2)			VCN10 (5)		
L/s	65 [49; 81]	65 [47; 84]	0 (100%)	58 [46; 69]	59 [44; 73]	1 (98%)	37 [35; 40]	38 [31; 46]	1 (97%)
L/s/km ²	0.96 [0.72; 1.19]	0.96 [0.69; 1.23]	0 (100%)	0.85 [0.69; 1.02]	0.86 [0.64; 1.08]	0.01 (99%)	0.55 [0.52; 0.59]	0.57 [0.46; 0.67]	0.02 (96%)
	VCN3			VCN3 (2)			VCN3 (5)		
L/s	64 [44; 83]	63 [42; 85]	-1 (102%)	57 [42; 72]	57 [39; 75]	0 (100%)	37 [31; 42]	37 [27; 47]	0 (100%)
L/s/km ²	0.94 [0.65; 1.23]	0.94 [0.62; 1.25]	0 (100%)	0.84 [0.62; 1.06]	0.84 [0.57; 1.1]	0 (100%)	0.54 [0.46; 0.63]	0.55 [0.4; 0.69]	0.01 (98%)
	Module								
L/s	334 [317; 352]	333 [314; 352]	-1 (100%)						
L/s/km ²	4.93 [4.68; 5.19]	4.91 [4.63; 5.19]	-0.02 (100%)						

Phase 1 –Volet Hydrologie : Analyse du fonctionnement hydro(géo)logique du bassin en régimes influencé et désinfluencé des usages anthropiques

Analyse HMUC et propositions d'actions pour une gestion équilibrée et durable des ressources en eau sur le bassin du Fouzon dans le cadre du SAGE Cher aval

- ❖ Une **pression anthropique concentrée sur la période estivale**, avec des débits mensuels quinquennaux secs influencés valant plus de **85%** de leur valeur désinfluencée, les impacts sur le restant de l'année étant faibles ;
- ❖ De manière générale, **un faible impact des usages anthropiques de l'eau** sur la capacité du sous-bassin à produire de l'eau tout au long de l'année.

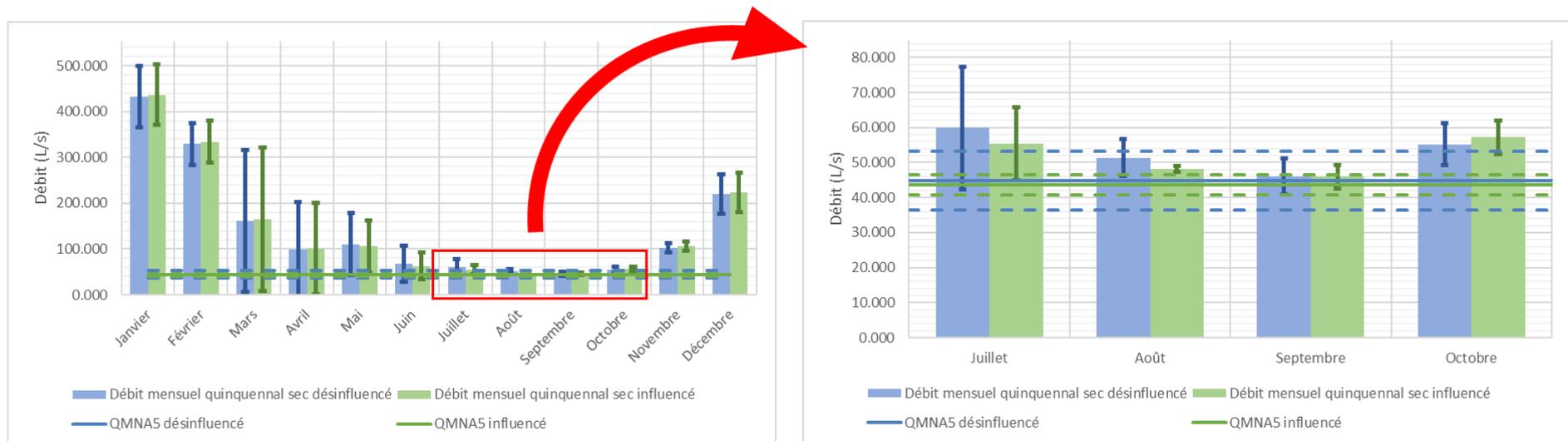


Figure 83 : Pozon - Débits mensuels quinquennaux secs en régimes influencé et désinfluencé (Sources : SUEZ Consulting 2020)

Tableau 32 : Pozon - Débits mensuels quinquennaux secs en régimes influencé et désinfluencé (Sources : SUEZ Consulting 2020)

Unité: L/s	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
QMNA5 influencé	437 [370; 503]	334 [289; 380]	165 [8; 322]	101 [0; 201]	106 [49; 163]	63 [34; 92]	55 [45; 66]	48 [47; 49]	46 [43; 49]	57 [52; 62]	107 [96; 117]	224 [180; 267]
QMNA5 désinfluencé	433 [366; 499]	329 [283; 376]	161 [6; 316]	100 [-3; 203]	110 [43; 178]	68 [29; 106]	60 [42; 77]	51 [46; 57]	46 [41; 51]	55 [49; 61]	103 [92; 114]	219 [176; 263]

- ❖ Une plus longue durée de périodes de bas et très bas débit sur les mois estivaux que sur le restant de l'année ;

Phase 1 –Volet Hydrologie : Analyse du fonctionnement hydro(géo)logique du bassin en régimes influencé et désinfluencé des usages anthropiques

Analyse HMUC et propositions d'actions pour une gestion équilibrée et durable des ressources en eau sur le bassin du Fouzon dans le cadre du SAGE Cher aval

- ❖ Des périodes de très bas débits modérément rares en régime désinfluencé ;
- ❖ Une différence entre les régimes influencé et désinfluencé nettement moins marquée que sur les autres unités de gestion.

Phase 1 –Volet Hydrologie : Analyse du fonctionnement hydro(géo)logique du bassin en régimes influencé et désinfluencé des usages anthropiques

Analyse HMUC et propositions d'actions pour une gestion équilibrée et durable des ressources en eau sur le bassin du Fouzon dans le cadre du SAGE Cher aval

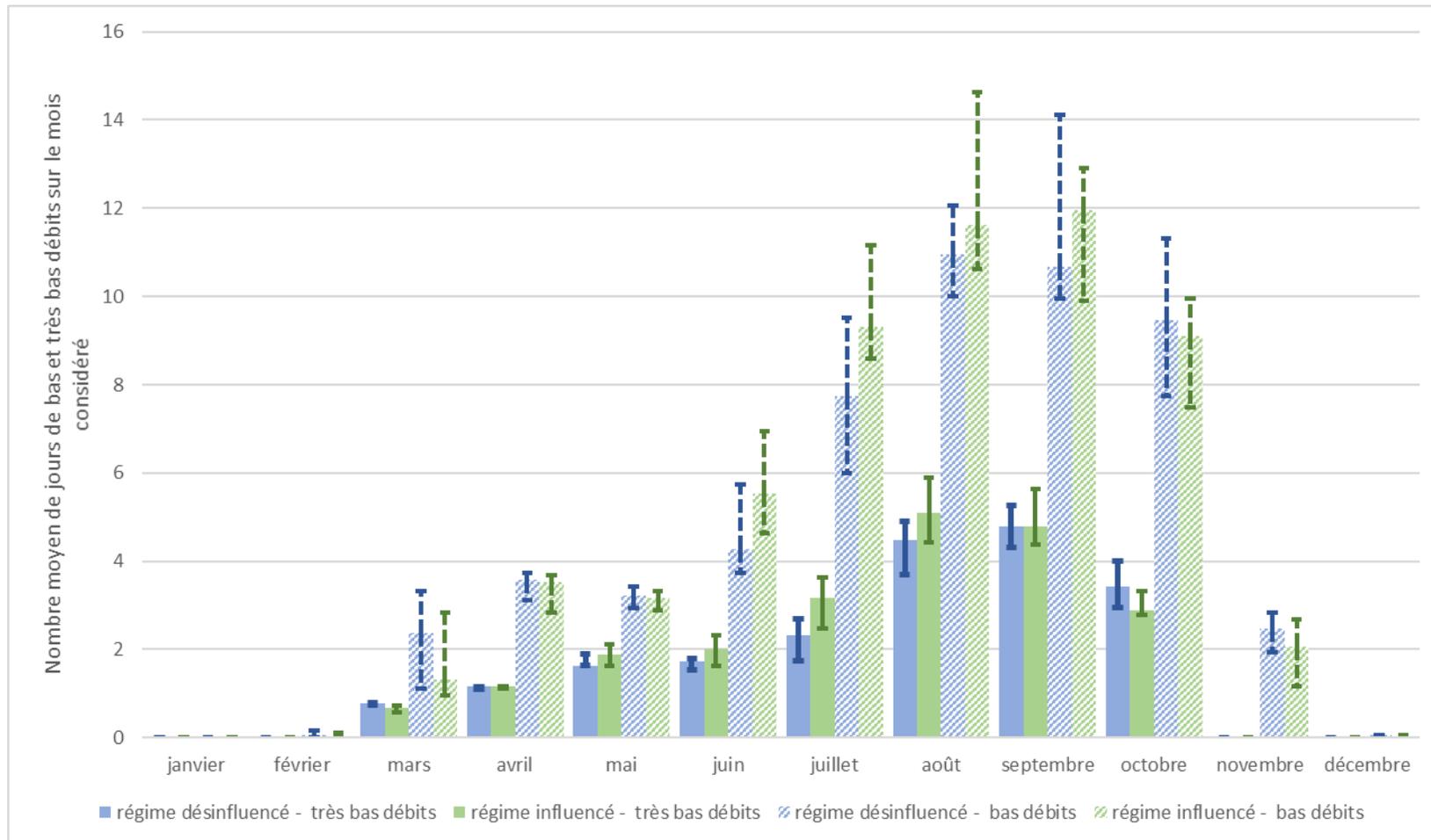


Figure 84 : Fouzon amont – nombre moyen de jours de bas et très bas débits sur chaque mois de l'année (Sources : SUEZ Consulting 2020)

7.5.2.3 Le Saint-Martin

Sur le Saint-Martin, on observe :

- ❖ Un **impact faible des usages** sur les débits minimums d'une **année moyenne**, avec un **QMNA influencé équivalent à 95%** de la valeur désinfluencée ;
- ❖ Un impact légèrement plus marqué des usages sur les épisodes de sécheresses plus rares, avec un QMNA5 influencé équivalent à **92%** de la valeur qu'il aurait en régime désinfluencé. En comparaison avec une année moyenne, l'augmentation de l'écart est **intégralement liée aux facteurs climatiques**, les usages ne semblant pas présenter de pic particulier ;

Tableau 33 : Saint-Martin - Indicateurs d'étiage en régimes influencé et désinfluencé (Sources : SMPVB, Terraqua, SUEZ Consulting 2020)

	Influencé	Désinfluencé	Désinfl. - Infl. (% Infl vs désinfl.)	Influencé	Désinfluencé	Désinfl. - Infl. (% Infl vs désinfl.)	Influencé	Désinfluencé	Désinfl. - Infl. (% Infl vs désinfl.)
	QMNA moyen			QMNA2			QMNA5		
L/s	55 [48; 63]	58 [48; 68]	3 (95%)	50 [46; 54]	53 [46; 60]	3 (94%)	33 [31; 36]	36 [29; 43]	3 (92%)
L/s/km ²	1.01 [0.87; 1.16]	1.06 [0.88; 1.24]	0.05 (95%)	0.91 [0.84; 0.98]	0.97 [0.84; 1.09]	0.06 (94%)	0.61 [0.57; 0.65]	0.66 [0.54; 0.79]	0.05 (92%)
	VCN10			VCN10 (2)			VCN10 (5)		
L/s	50 [38; 63]	53 [38; 67]	3 (94%)	44 [35; 53]	47 [35; 59]	3 (94%)	28 [26; 29]	31 [25; 37]	3 (90%)
L/s/km ²	0.92 [0.69; 1.15]	0.96 [0.69; 1.23]	0.04 (96%)	0.81 [0.65; 0.96]	0.86 [0.64; 1.08]	0.05 (94%)	0.5 [0.47; 0.53]	0.57 [0.46; 0.67]	0.07 (88%)
	VCN3			VCN3 (2)			VCN3 (5)		
L/s	49 [34; 64]	51 [34; 68]	2 (96%)	43 [31; 54]	46 [31; 60]	3 (93%)	26 [23; 30]	30 [22; 38]	4 (87%)
L/s/km ²	0.9 [0.62; 1.18]	0.94 [0.62; 1.25]	0.04 (96%)	0.78 [0.58; 0.99]	0.84 [0.57; 1.1]	0.06 (93%)	0.48 [0.41; 0.56]	0.55 [0.4; 0.69]	0.07 (87%)
	Module								
L/s	267 [253; 281]	268 [253; 284]	1 (100%)						
L/s/km ²	4.89 [4.64; 5.15]	4.91 [4.63; 5.19]	0.02 (100%)						

Phase 1 –Volet Hydrologie : Analyse du fonctionnement hydro(géo)logique du bassin en régimes influencé et désinfluencé des usages anthropiques

Analyse HMUC et propositions d'actions pour une gestion équilibrée et durable des ressources en eau sur le bassin du Fouzon dans le cadre du SAGE Cher aval

- ❖ Une **pression anthropique concentrée sur la période estivale**, avec des débits mensuels quinquennaux secs influencés valant environ **90%** de leur valeur désinfluencée, les impacts sur le restant de l'année étant faibles ;
- ❖ De manière générale, **un faible impact des usages anthropiques de l'eau** sur la capacité du sous-bassin à produire de l'eau tout au long de l'année.

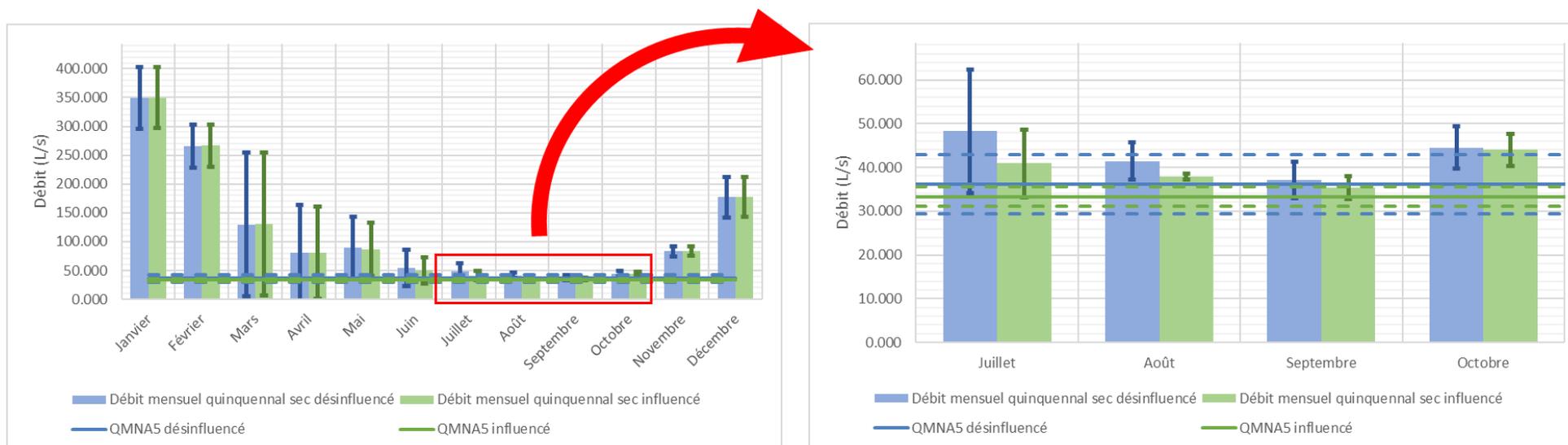


Figure 85 : Saint-Martin - Débits mensuels quinquennaux secs en régimes influencé et désinfluencé (Sources : SMPVB, Terraqua, SUEZ Consulting 2020)

Tableau 34 : Saint-Martin - Débits mensuels quinquennaux secs en régimes influencé et désinfluencé (Sources : SUEZ Consulting 2020)

Unité: L/s	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
QMNA5 influencé	350 [297; 403]	266 [230; 303]	130 [6; 255]	80 [0; 161]	87 [40; 133]	50 [27; 73]	41 [33; 49]	38 [37; 39]	35 [33; 38]	44 [40; 48]	83 [75; 91]	177 [143; 212]
QMNA5 désinfluencé	349 [295; 403]	266 [228; 303]	130 [5; 255]	81 [-3; 164]	89 [34; 144]	54 [23; 86]	48 [34; 62]	41 [37; 46]	37 [33; 41]	45 [40; 49]	83 [74; 92]	177 [142; 212]

Phase 1 –Volet Hydrologie : Analyse du fonctionnement hydro(géo)logique du bassin en régimes influencé et désinfluencé des usages anthropiques

Analyse HMUC et propositions d'actions pour une gestion équilibrée et durable des ressources en eau sur le bassin du Fouzon dans le cadre du SAGE Cher aval

- ❖ Une plus longue durée de périodes de bas et très bas débit sur les mois estivaux que sur le restant de l'année, particulièrement en régime influencé ;
- ❖ Des périodes de très bas débits relativement fréquentes en régime désinfluencé ;
- ❖ Une faible différence entre les régimes influencé et désinfluencé.

Phase 1 –Volet Hydrologie : Analyse du fonctionnement hydro(géo)logique du bassin en régimes influencé et désinfluencé des usages anthropiques

Analyse HMUC et propositions d'actions pour une gestion équilibrée et durable des ressources en eau sur le bassin du Fouzon dans le cadre du SAGE Cher aval

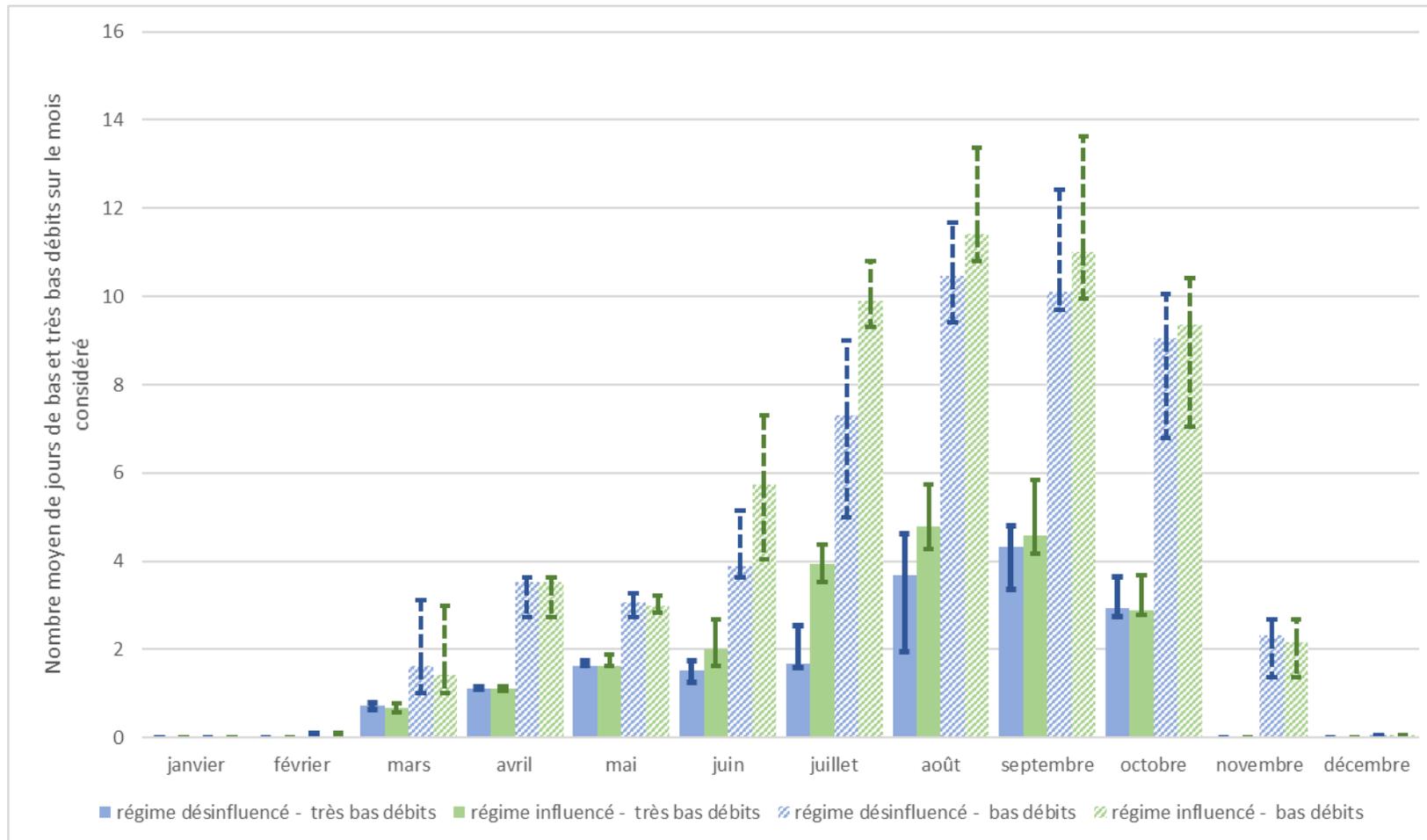


Figure 86 : Fouzon amont – nombre moyen de jours de bas et très bas débits sur chaque mois de l'année (Sources : SUEZ Consulting 2020)

7.5.2.4 Le Renon

Sur le Renon, on observe :

- ❖ Un **impact modéré** des usages sur les débits minimums d'une **année moyenne**, avec un **QMNA influencé équivalent à 90%** de la valeur désinfluencée ;
- ❖ Un impact légèrement plus marqué des usages sur les épisodes de sécheresses plus rares, avec un QMNA5 influencé équivalent à **82%** de la valeur qu'il aurait en régime désinfluencé. En comparaison avec une année moyenne, l'augmentation de l'écart **est principalement liée aux facteurs climatiques**, les usages ne semblant pas présenter de pic particulier, du moins au pas de temps mensuel ;

Tableau 35 : Renon - Indicateurs d'étiage en régimes influencé et désinfluencé (Sources : SMPVB, Terraqua, SUEZ Consulting 2020)

	Influencé	Désinfluencé	Désinfl. - Infl. (% Infl vs désinfl.)	Influencé	Désinfluencé	Désinfl. - Infl. (% Infl vs désinfl.)	Influencé	Désinfluencé	Désinfl. - Infl. (% Infl vs désinfl.)
	QMNA moyen			QMNA2			QMNA5		
L/s	291 [250; 332]	324 [268; 379]	33 (90%)	256 [236; 276]	294 [256; 332]	38 (87%)	164 [153; 174]	200 [163; 238]	36 (82%)
L/s/km ²	0.96 [0.83; 1.1]	1.07 [0.89; 1.25]	0.11 (90%)	0.85 [0.78; 0.91]	0.97 [0.85; 1.1]	0.12 (88%)	0.54 [0.5; 0.58]	0.66 [0.54; 0.79]	0.12 (82%)
	VCN10			VCN10 (2)			VCN10 (5)		
L/s	264 [198; 330]	293 [211; 375]	29 (90%)	226 [181; 270]	262 [195; 329]	36 (86%)	135 [126; 143]	171 [139; 204]	36 (79%)
L/s/km ²	0.87 [0.65; 1.09]	0.97 [0.7; 1.24]	0.1 (90%)	0.75 [0.6; 0.89]	0.87 [0.64; 1.09]	0.12 (86%)	0.44 [0.42; 0.47]	0.57 [0.46; 0.67]	0.13 (77%)
	VCN3			VCN3 (2)			VCN3 (5)		
L/s	260 [180; 340]	285 [189; 381]	25 (91%)	222 [163; 281]	253 [172; 334]	31 (88%)	132 [112; 151]	164 [120; 208]	32 (80%)
L/s/km ²	0.86 [0.6; 1.12]	0.94 [0.62; 1.26]	0.08 (91%)	0.73 [0.54; 0.93]	0.84 [0.57; 1.11]	0.11 (87%)	0.44 [0.37; 0.5]	0.54 [0.4; 0.69]	0.1 (81%)
	Module								
L/s	1482 [1404; 1560]	1500 [1415; 1586]	18 (99%)						
L/s/km ²	4.9 [4.64; 5.15]	4.96 [4.67; 5.24]	0.06 (99%)						

Phase 1 –Volet Hydrologie : Analyse du fonctionnement hydro(géo)logique du bassin en régimes influencé et désinfluencé des usages anthropiques

Analyse HMUC et propositions d'actions pour une gestion équilibrée et durable des ressources en eau sur le bassin du Fouzon dans le cadre du SAGE Cher aval

- ❖ Une **pression anthropique concentrée sur la période estivale**, avec des débits mensuels quinquennaux secs influencés atteignant environ **75%** de leur valeur désinfluencée, les impacts sur le restant de l'année étant modérés à faibles ;
- ❖ De manière générale, un **impact modéré des usages anthropiques de l'eau** sur la capacité du sous-bassin à produire de l'eau tout au long de l'année.

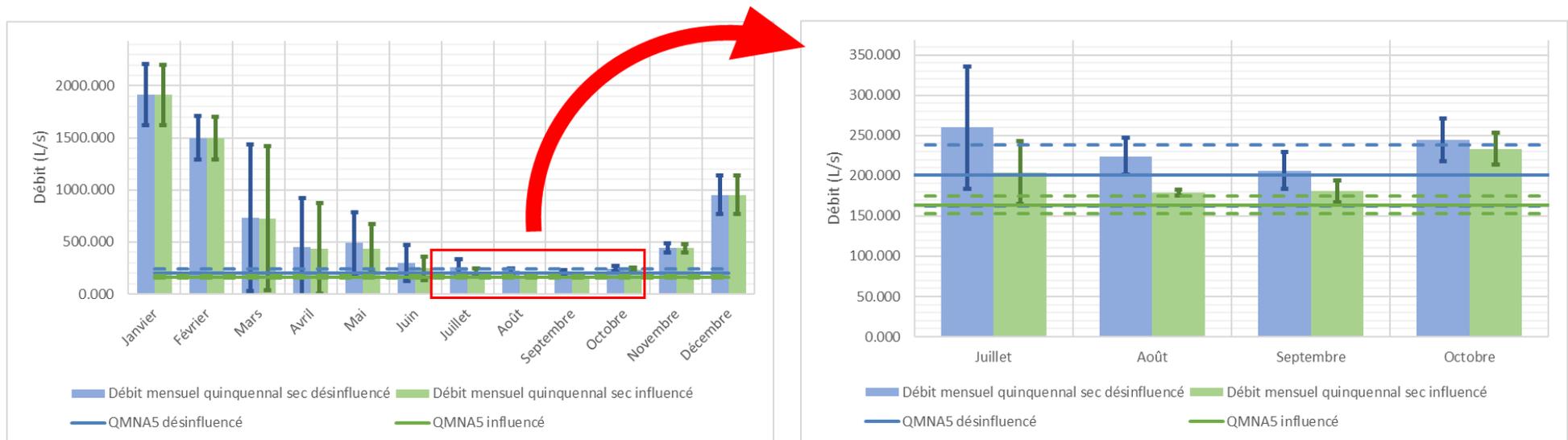


Figure 87 : Renon - Débits mensuels quinquennaux secs en régimes influencé et désinfluencé (Sources : SMPVB, Terraqua, SUEZ Consulting 2020)

Tableau 36 : Renon - Débits mensuels quinquennaux secs en régimes influencé et désinfluencé (Sources : SUEZ Consulting 2020)

Unité: L/s	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
QMNA5 influencé	1912 [1621; 2203]	1496 [1291; 1701]	727 [35; 1418]	436 [2; 869]	439 [204; 674]	247 [135; 360]	204 [165; 243]	179 [176; 182]	181 [167; 194]	234 [214; 253]	440 [398; 482]	951 [767; 1135]
QMNA5 désinfluencé	1916 [1621; 2210]	1499 [1289; 1709]	731 [26; 1437]	455 [-15; 924]	489 [189; 788]	301 [128; 473]	260 [184; 335]	224 [201; 247]	206 [183; 230]	245 [218; 271]	443 [397; 489]	953 [766; 1141]

Phase 1 –Volet Hydrologie : Analyse du fonctionnement hydro(géo)logique du bassin en régimes influencé et désinfluencé des usages anthropiques

Analyse HMUC et propositions d'actions pour une gestion équilibrée et durable des ressources en eau sur le bassin du Fouzon dans le cadre du SAGE Cher aval

- ❖ Une plus longue durée de périodes de bas et très bas débit sur les mois estivaux que sur le restant de l'année, particulièrement en régime influencé ;
- ❖ De rares périodes de très bas débits en régime désinfluencé ;
- ❖ Une différence légère entre les régimes influencé et désinfluencé lorsqu'on observe les bas débits, et marquée lorsqu'on observe les très bas débits.

Phase 1 –Volet Hydrologie : Analyse du fonctionnement hydro(géo)logique du bassin en régimes influencé et désinfluencé des usages anthropiques

Analyse HMUC et propositions d'actions pour une gestion équilibrée et durable des ressources en eau sur le bassin du Fouzon dans le cadre du SAGE Cher aval

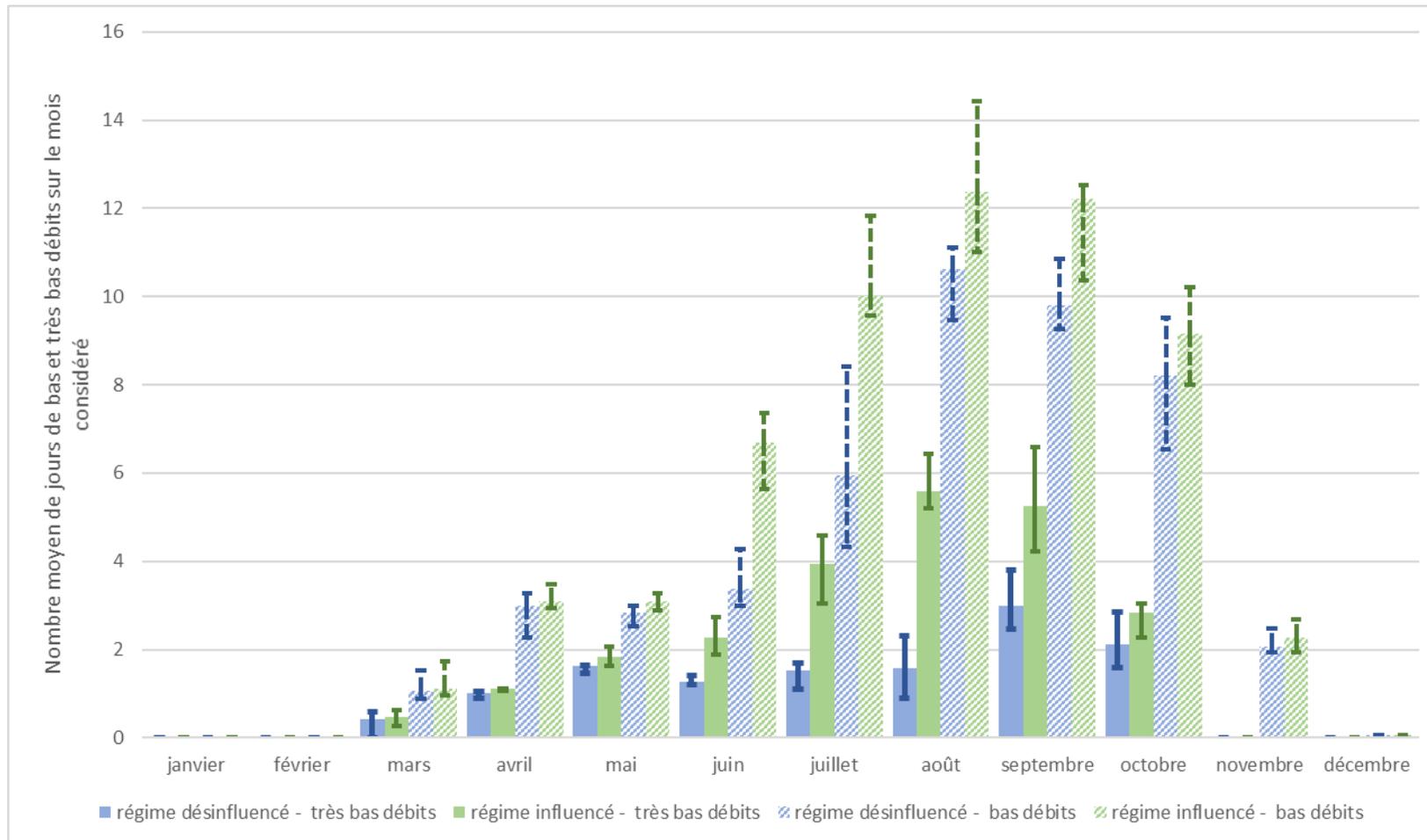


Figure 88 : Fouzon amont – nombre moyen de jours de bas et très bas débits sur chaque mois de l'année (Sources : SUEZ Consulting 2020)

7.5.2.5 Le Céphons

Sur le Céphons, on observe :

- ❖ Un **impact modéré** des usages sur les débits minimums d'une **année moyenne**, avec un QMNA influencé équivalent à **90%** de la valeur désinfluencée ;
- ❖ Un impact plus marqué des usages sur les épisodes de sécheresses plus rares, avec un QMNA5 influencé équivalent à **76%** de la valeur qu'il aurait en régime désinfluencé. En comparaison avec une année moyenne, l'augmentation de l'écart **est principalement liée à des facteurs climatiques, mais aussi partiellement à des pics de pressions anthropique** ;

Tableau 37 : Céphons - Indicateurs d'étiage en régimes influencé et désinfluencé (Sources : SMPVB, Terraqua, SUEZ Consulting 2020)

	Influencé	Désinfluencé	Désinfl. - Infl. (% Infl vs désinfl.)	Influencé	Désinfluencé	Désinfl. - Infl. (% Infl vs désinfl.)	Influencé	Désinfluencé	Désinfl. - Infl. (% Infl vs désinfl.)
	QMNA moyen			QMNA2			QMNA5		
L/s	145 [124; 165]	161 [133; 188]	16 (90%)	124 [114; 134]	145 [127; 164]	21 (86%)	74 [69; 79]	98 [79; 116]	24 (76%)
L/s/km ²	1.19 [1.02; 1.36]	1.32 [1.09; 1.55]	0.13 (90%)	1.02 [0.94; 1.1]	1.19 [1.04; 1.35]	0.17 (86%)	0.61 [0.57; 0.65]	0.8 [0.65; 0.95]	0.19 (76%)
	VCN10			VCN10 (2)			VCN10 (5)		
L/s	129 [97; 161]	141 [101; 180]	12 (91%)	110 [88; 131]	126 [94; 158]	16 (87%)	64 [60; 68]	82 [67; 98]	18 (78%)
L/s/km ²	1.06 [0.79; 1.32]	1.16 [0.83; 1.48]	0.1 (91%)	0.9 [0.72; 1.08]	1.03 [0.77; 1.3]	0.13 (87%)	0.53 [0.49; 0.56]	0.68 [0.55; 0.8]	0.15 (78%)
	VCN3			VCN3 (2)			VCN3 (5)		
L/s	125 [87; 164]	137 [91; 183]	12 (91%)	107 [79; 135]	122 [83; 162]	15 (88%)	63 [53; 72]	80 [59; 102]	17 (79%)
L/s/km ²	1.03 [0.71; 1.35]	1.12 [0.74; 1.5]	0.09 (92%)	0.88 [0.65; 1.11]	1.01 [0.68; 1.33]	0.13 (87%)	0.52 [0.44; 0.59]	0.66 [0.48; 0.84]	0.14 (79%)
	Module								
L/s	718 [681; 756]	727 [686; 769]	9 (99%)						
L/s/km ²	5.9 [5.59; 6.21]	5.97 [5.63; 6.31]	0.07 (99%)						

Phase 1 –Volet Hydrologie : Analyse du fonctionnement hydro(géo)logique du bassin en régimes influencé et désinfluencé des usages anthropiques

Analyse HMUC et propositions d'actions pour une gestion équilibrée et durable des ressources en eau sur le bassin du Fouzon dans le cadre du SAGE Cher aval

- ❖ Une **pression anthropique concentrée sur la période estivale**, avec des débits mensuels quinquennaux secs influencés atteignant environ **75%** de leur valeur désinfluencée, les impacts sur le restant de l'année étant modérés à faibles ;
- ❖ De manière générale, **un impact fort des usages anthropiques de l'eau** sur la capacité du sous-bassin à produire de l'eau tout au long de l'année.

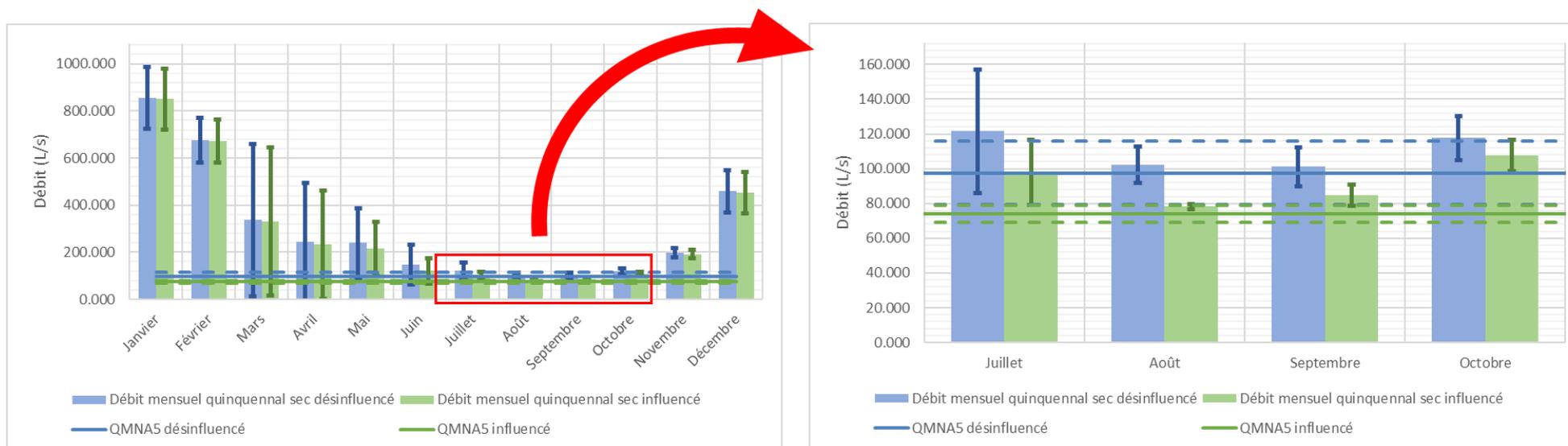


Figure 89 : Céphons - Débits mensuels quinquennaux secs en régimes influencé et désinfluencé (Sources : SMPVB, Terraqua, SUEZ Consulting 2020)

Tableau 38 : Céphons - Débits mensuels quinquennaux secs en régimes influencé et désinfluencé (Sources : SUEZ Consulting 2020)

Unité: L/s	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
QMNA5 influencé	851 [721; 980]	671 [579; 763]	331 [16; 645]	232 [1; 463]	215 [100; 330]	121 [66; 175]	98 [79; 116]	78 [77; 80]	85 [79; 91]	108 [99; 117]	192 [174; 211]	454 [366; 542]
QMNA5 désinfluencé	855 [724; 987]	675 [580; 770]	336 [12; 661]	243 [-8; 494]	239 [93; 386]	147 [62; 232]	122 [86; 157]	102 [92; 113]	101 [90; 112]	118 [105; 130]	198 [178; 219]	459 [369; 549]

Phase 1 –Volet Hydrologie : Analyse du fonctionnement hydro(géo)logique du bassin en régimes influencé et désinfluencé des usages anthropiques

Analyse HMUC et propositions d'actions pour une gestion équilibrée et durable des ressources en eau sur le bassin du Fouzon dans le cadre du SAGE Cher aval

- ❖ Une plus longue durée de périodes de bas et très bas débit sur les mois estivaux que sur le restant de l'année, particulièrement en régime influencé ;
- ❖ De rares périodes de très bas débits en régime désinfluencé ;
- ❖ En comparant le régime désinfluencé et influencé, des étiages non seulement substantiellement plus fréquents, mais également plus marqués en régime influencé.

Phase 1 –Volet Hydrologie : Analyse du fonctionnement hydro(géo)logique du bassin en régimes influencé et désinfluencé des usages anthropiques

Analyse HMUC et propositions d'actions pour une gestion équilibrée et durable des ressources en eau sur le bassin du Fouzon dans le cadre du SAGE Cher aval

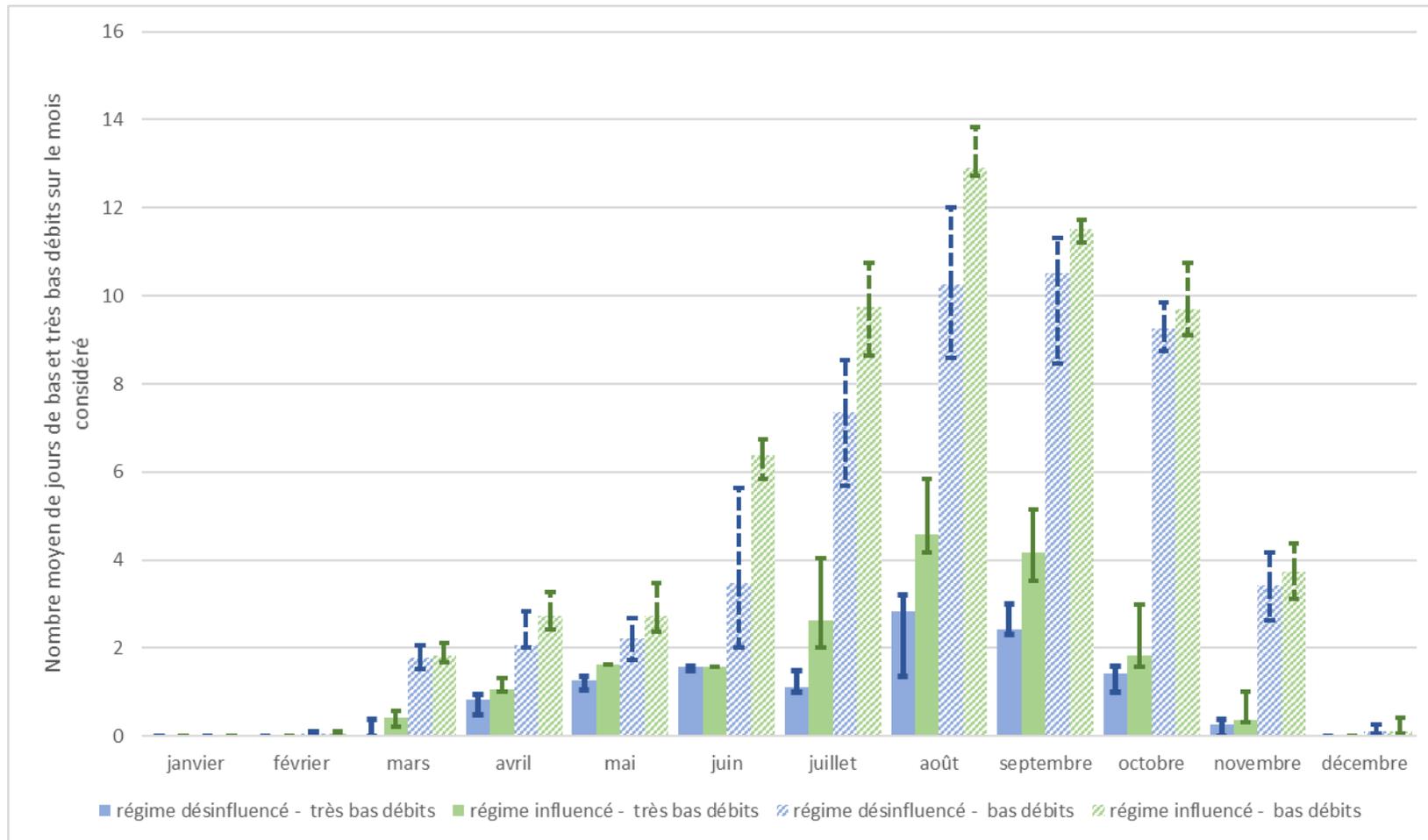


Figure 90 : Fouzon amont – nombre moyen de jours de bas et très bas débits sur chaque mois de l'année (Sources : SUEZ Consulting 2020)

7.5.2.6 Le Nahon

Sur le Nahon, on observe :

- ❖ Un **impact modéré** des usages sur les débits minimums d'une **année moyenne**, avec un **QMNA influencé équivalent à 92%** de la valeur désinfluencée ;
- ❖ Un impact plus marqué des usages sur les épisodes de sécheresses plus rares, avec un QMNA5 influencé équivalent à **79%** de la valeur qu'il aurait en régime désinfluencé. En comparaison avec une année moyenne, l'augmentation de l'écart **est principalement liée à des facteurs climatiques, mais aussi partiellement à des pics de pressions anthropique** ;

Tableau 39 : Nahon - Indicateurs d'étiage en régimes influencé et désinfluencé (Sources : SUEZ Consulting 2020)

	Influencé	Désinfluencé	Désinfl. - Infl. (% Infl vs désinfl.)	Influencé	Désinfluencé	Désinfl. - Infl. (% Infl vs désinfl.)	Influencé	Désinfluencé	Désinfl. - Infl. (% Infl vs désinfl.)
	QMNA moyen			QMNA2			QMNA5		
L/s	334 [287; 381]	365 [302; 428]	31 (92%)	286 [264; 308]	329 [287; 371]	43 (87%)	173 [161; 184]	220 [179; 262]	47 (79%)
L/s/km ²	1.09 [0.93; 1.24]	1.19 [0.99; 1.4]	0.1 (92%)	0.93 [0.86; 1.01]	1.07 [0.93; 1.21]	0.14 (87%)	0.56 [0.53; 0.6]	0.72 [0.58; 0.85]	0.16 (78%)
	VCN10			VCN10 (2)			VCN10 (5)		
L/s	300 [225; 375]	323 [232; 414]	23 (93%)	254 [204; 304]	286 [213; 359]	32 (89%)	149 [140; 158]	185 [150; 220]	36 (81%)
L/s/km ²	0.98 [0.73; 1.22]	1.05 [0.76; 1.35]	0.07 (93%)	0.83 [0.67; 0.99]	0.93 [0.69; 1.17]	0.1 (89%)	0.49 [0.46; 0.52]	0.6 [0.49; 0.72]	0.11 (82%)
	VCN3			VCN3 (2)			VCN3 (5)		
L/s	293 [203; 383]	313 [208; 419]	20 (94%)	249 [183; 315]	278 [189; 367]	29 (90%)	146 [124; 168]	180 [131; 228]	34 (81%)
L/s/km ²	0.96 [0.66; 1.25]	1.02 [0.68; 1.37]	0.06 (94%)	0.81 [0.6; 1.03]	0.91 [0.62; 1.2]	0.1 (89%)	0.48 [0.41; 0.55]	0.59 [0.43; 0.74]	0.11 (81%)
	Module								
L/s	1661 [1574; 1748]	1675 [1579; 1770]	14 (99%)						
L/s/km ²	5.41 [5.13; 5.7]	5.46 [5.15; 5.77]	0.05 (99%)						

Phase 1 –Volet Hydrologie : Analyse du fonctionnement hydro(géo)logique du bassin en régimes influencé et désinfluencé des usages anthropiques

Analyse HMUC et propositions d'actions pour une gestion équilibrée et durable des ressources en eau sur le bassin du Fouzon dans le cadre du SAGE Cher aval

- ❖ Une **pression anthropique concentrée sur la période estivale**, avec des débits mensuels quinquennaux secs influencés atteignant environ **80%** de leur valeur désinfluencée, les impacts sur le restant de l'année étant modérés à faibles ;
- ❖ De manière générale, un **impact moyen des usages anthropiques de l'eau** sur la capacité du sous-bassin à produire de l'eau tout au long de l'année.

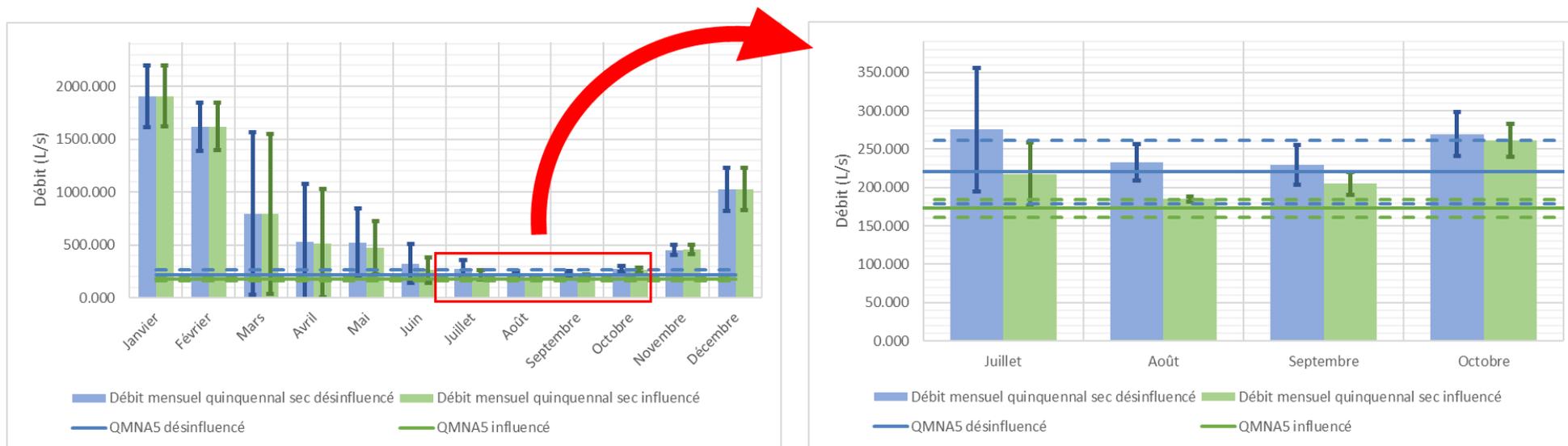


Figure 91 : Nahon - Débits mensuels quinquennaux secs en régimes influencé et désinfluencé (Sources : SUEZ Consulting 2020)

Tableau 40 : Nahon - Débits mensuels quinquennaux secs en régimes influencé et désinfluencé (Sources : SUEZ Consulting 2020)

Unité: L/s	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
QMNA5 influencé	1910 [1620; 2201]	1621 [1399; 1843]	796 [39; 1553]	515 [2; 1027]	470 [218; 722]	261 [142; 380]	217 [176; 259]	185 [182; 188]	205 [190; 220]	261 [240; 283]	454 [411; 497]	1029 [830; 1228]
QMNA5 désinfluencé	1907 [1614; 2201]	1617 [1390; 1844]	796 [28; 1563]	532 [-18; 1081]	522 [202; 842]	323 [137; 509]	275 [195; 355]	233 [209; 257]	230 [204; 255]	270 [241; 299]	452 [406; 499]	1025 [823; 1227]

Phase 1 –Volet Hydrologie : Analyse du fonctionnement hydro(géo)logique du bassin en régimes influencé et désinfluencé des usages anthropiques

Analyse HMUC et propositions d'actions pour une gestion équilibrée et durable des ressources en eau sur le bassin du Fouzon dans le cadre du SAGE Cher aval

- ❖ Une plus longue durée de périodes de bas et très bas débit sur les mois estivaux que sur le restant de l'année, particulièrement en régime influencé ;
- ❖ De rares périodes de très bas débits en régime désinfluencé ;
- ❖ Une différence légère entre les régimes influencé et désinfluencé lorsqu'on observe les bas débits, et marquée lorsqu'on observe les très bas débits.

Phase 1 –Volet Hydrologie : Analyse du fonctionnement hydro(géo)logique du bassin en régimes influencé et désinfluencé des usages anthropiques

Analyse HMUC et propositions d'actions pour une gestion équilibrée et durable des ressources en eau sur le bassin du Fouzon dans le cadre du SAGE Cher aval

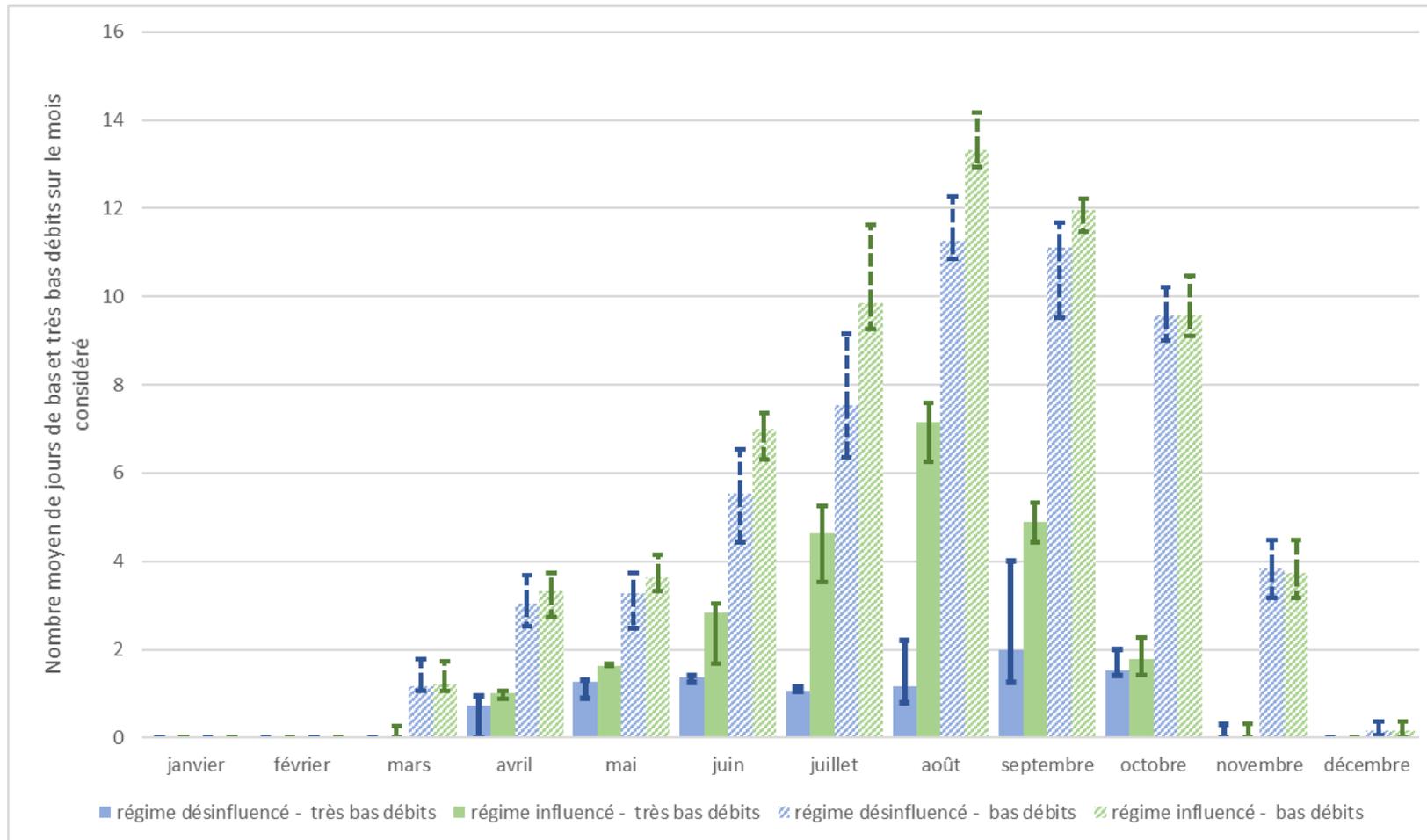


Figure 92 : Fouzon amont – nombre moyen de jours de bas et très bas débits sur chaque mois de l'année (Sources : SUEZ Consulting 2020)

7.5.2.7 Le Fouzon aval (= BV Fouzon)

Sur le Fouzon aval, on observe :

- ❖ Un **impact modéré des usages** sur les débits minimums d'une année moyenne, avec un **QMNA influencé équivalent à 87%** de la valeur désinfluencée ;
- ❖ Un impact plus marqué des usages sur les épisodes de sécheresses plus rares, avec un QMNA5 influencé équivalent à **73%** de la valeur qu'il aurait en régime désinfluencé. En comparaison avec une année moyenne, l'augmentation de l'écart **est principalement liée à des facteurs climatiques, mais aussi partiellement à des pics de pressions anthropique** ;

Tableau 41 : Fouzon aval - Indicateurs d'étiage en régime influencé et désinfluencé (Sources : Banque hydro, SUEZ Consulting 2020)

	Influencé	Désinfluencé	Désinfl. - Infl. (% Infl vs désinfl.)	Influencé	Désinfluencé	Désinfl. - Infl. (% Infl vs désinfl.)	Influencé	Désinfluencé	Désinfl. - Infl. (% Infl vs désinfl.)
	QMNA moyen			QMNA2			QMNA5		
L/s	940 [808; 1073]	1083 [896; 1269]	143 (87%)	801 [739; 864]	979 [854; 1105]	178 (82%)	482 [450; 514]	663 [539; 787]	181 (73%)
L/s/km ²	0.93 [0.8; 1.06]	1.07 [0.89; 1.25]	0.14 (87%)	0.79 [0.73; 0.85]	0.97 [0.84; 1.09]	0.18 (81%)	0.48 [0.44; 0.51]	0.66 [0.53; 0.78]	0.18 (73%)
	VCN10			VCN10 (2)			VCN10 (5)		
L/s	849 [638; 1061]	970 [697; 1242]	121 (88%)	697 [560; 834]	862 [641; 1082]	165 (81%)	383 [359; 406]	559 [454; 664]	176 (69%)
L/s/km ²	0.84 [0.63; 1.05]	0.96 [0.69; 1.23]	0.12 (88%)	0.69 [0.55; 0.82]	0.85 [0.63; 1.07]	0.16 (81%)	0.38 [0.36; 0.4]	0.55 [0.45; 0.66]	0.17 (69%)
	VCN3			VCN3 (2)			VCN3 (5)		
L/s	837 [579; 1094]	944 [626; 1262]	107 (89%)	684 [503; 865]	836 [568; 1103]	152 (82%)	373 [318; 429]	538 [394; 683]	165 (69%)
L/s/km ²	0.83 [0.57; 1.08]	0.93 [0.62; 1.25]	0.1 (89%)	0.68 [0.5; 0.86]	0.83 [0.56; 1.09]	0.15 (82%)	0.37 [0.31; 0.42]	0.53 [0.39; 0.67]	0.16 (70%)
	Module								
L/s	4927 [4669; 5185]	5004 [4718; 5291]	77 (98%)						
L/s/km ²	4.87 [4.62; 5.13]	4.95 [4.66; 5.23]	0.08 (98%)						

Phase 1 –Volet Hydrologie : Analyse du fonctionnement hydro(géo)logique du bassin en régimes influencé et désinfluencé des usages anthropiques

Analyse HMUC et propositions d'actions pour une gestion équilibrée et durable des ressources en eau sur le bassin du Fouzon dans le cadre du SAGE Cher aval

- ❖ Une pression anthropique concentrée sur la période estivale, avec des débits mensuels quinquennaux secs influencés atteignant environ **75%** de leur valeur désinfluencée, les impacts sur le restant de l'année étant modérés à faibles ;
- ❖ De manière générale, **un fort impact des usages anthropiques de l'eau** sur la capacité du sous-bassin à produire de l'eau tout au long de l'année.

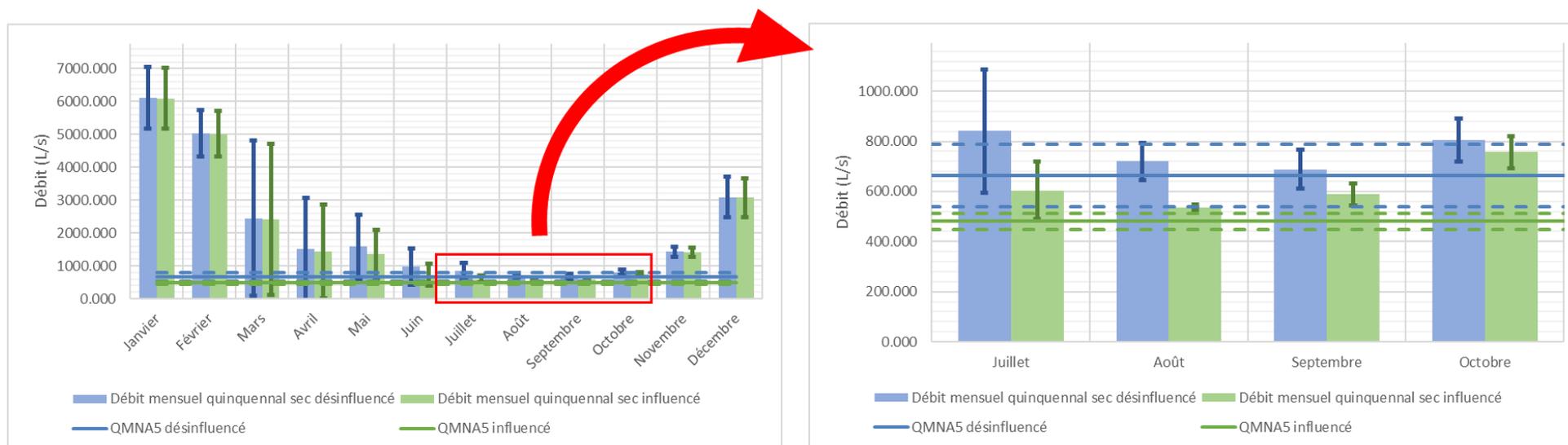


Figure 93 : Fouzon aval - Débits mensuels quinquennaux secs en régime influencé et désinfluencé (Sources : Banque hydro, SUEZ Consulting 2020)

Tableau 42 : Fouzon aval - Débits mensuels quinquennaux secs en régimes influencé et désinfluencé (Sources : SUEZ Consulting 2020)

Unité: L/s	Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
QMNA5 influencé	6089 [5163; 7015]	5012 [4325; 5699]	2417 [117; 4718]	1430 [6; 2855]	1369 [635; 2103]	731 [399; 1063]	603 [489; 718]	537 [527; 547]	588 [545; 631]	757 [694; 820]	1410 [1275; 1545]	3072 [2477; 3667]
QMNA5 désinfluencé	6110 [5170; 7050]	5033 [4327; 5739]	2447 [87; 4808]	1513 [-50; 3076]	1590 [616; 2565]	975 [414; 1537]	841 [596; 1085]	720 [646; 794]	688 [611; 765]	806 [720; 893]	1432 [1284; 1580]	3091 [2482; 3699]

Phase 1 –Volet Hydrologie : Analyse du fonctionnement hydro(géo)logique du bassin en régimes influencé et désinfluencé des usages anthropiques

Analyse HMUC et propositions d'actions pour une gestion équilibrée et durable des ressources en eau sur le bassin du Fouzon dans le cadre du SAGE Cher aval

- ❖ Une plus longue durée de périodes de bas et très bas débit sur les mois estivaux que sur le restant de l'année, particulièrement en régime influencé ;
- ❖ De rares périodes de très bas débits en régime désinfluencé ;
- ❖ En comparant le régime désinfluencé et influencé, des étiages non seulement substantiellement plus fréquents, mais également plus marqués en régime influencé.

Phase 1 –Volet Hydrologie : Analyse du fonctionnement hydro(géo)logique du bassin en régimes influencé et désinfluencé des usages anthropiques

Analyse HMUC et propositions d'actions pour une gestion équilibrée et durable des ressources en eau sur le bassin du Fouzon dans le cadre du SAGE Cher aval

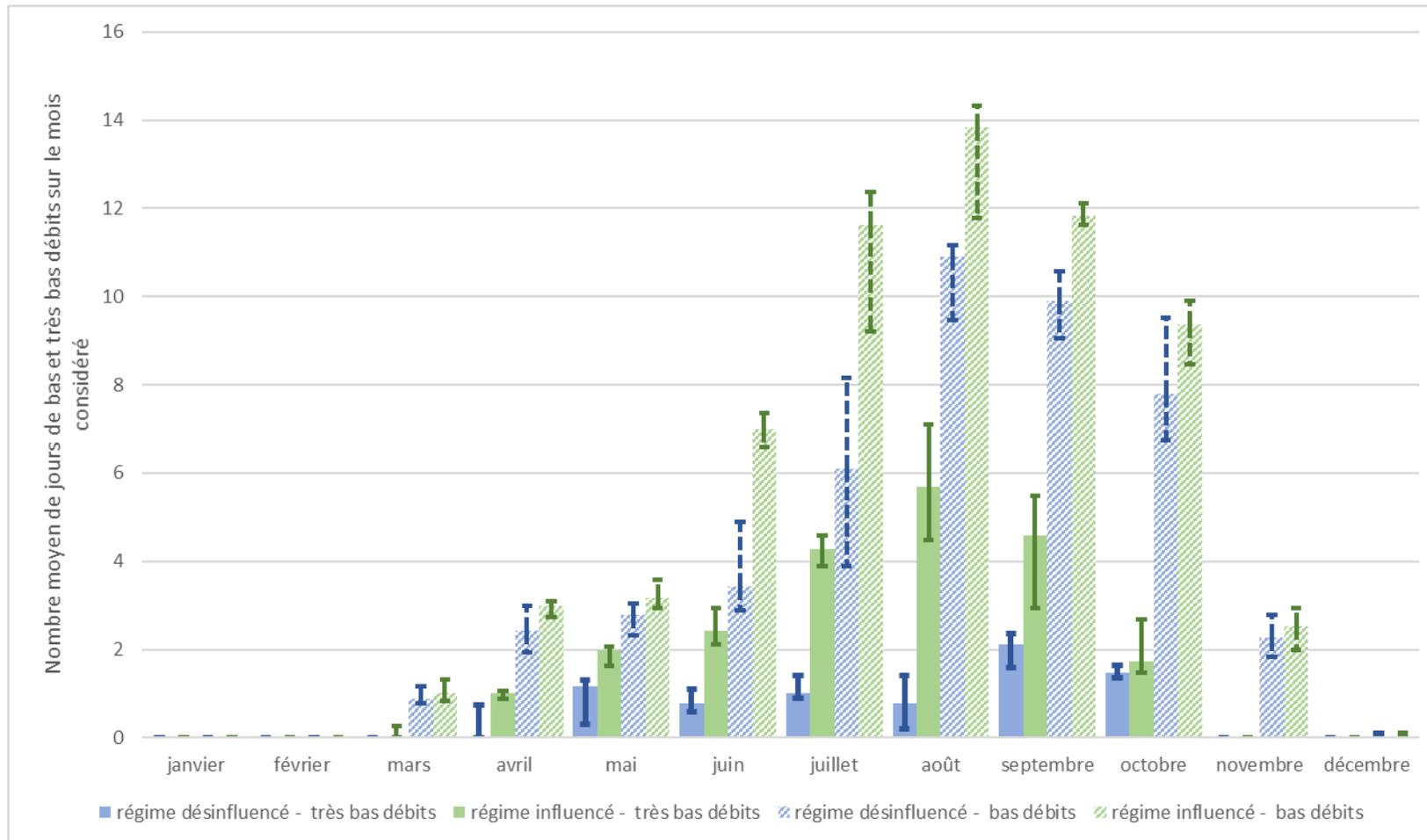


Figure 94 : Fouzon amont – nombre moyen de jours de bas et très bas débits sur chaque mois de l'année (Sources : SUEZ Consulting 2020)

7.5.3 Comparaison avec d'autres résultats de modèles (OFB/INRAE)

L'INRAE a établi, en partenariat avec l'OFB entre 2008 et 2012, une **cartographie nationale des débits moyens** et des **débits d'étiages** (désinfluencés des usages anthropiques). Cette carte a été réalisée à l'aide d'une approche multi-modèle et a abouti aux résultats suivants :

Pour chaque cours d'eau inclus dans la démarche, on dispose d'une **estimation de son QMNA5** et de son **module**, ainsi que, pour chacune de ces valeurs :

- D'un **intervalle de confiance à 80%** basé sur la qualité du calage par rapport à des observations ;
- D'un **indicateur de robustesse** indiquant le niveau de convergence des modèles qui ont servi à réaliser la cartographie. Si l'indicateur est faible, cela signifie que les modèles ont donné des résultats différents. A l'inverse, s'il est fort, cela signifie que les modèles ont abouti à des résultats concordants.

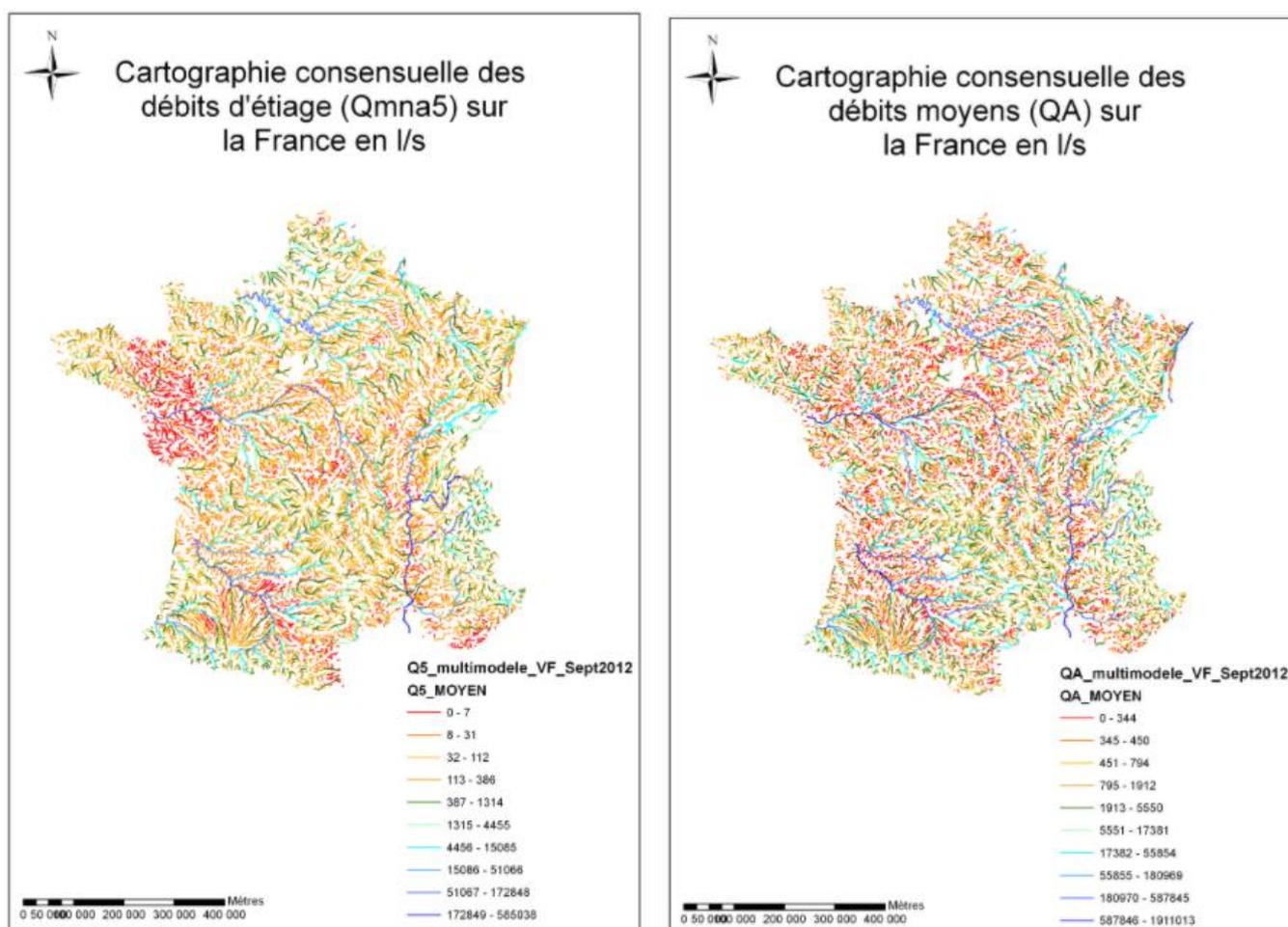


Figure 95 : Cartographie nationale des débits moyens et des débits d'étiage sur la France (Sources : INRAE, OFB, 2012)

Les tableaux et figures suivants présentent une **comparaison**, pour chaque **unité de gestion** du bassin versant, des **valeurs obtenues par l’INRAE/OFB** et de **celle obtenues dans le cadre de la présente étude** (modélisation en régime désinfluencé)¹⁹.

On observe que les **QMNA5**, désinfluencés des usages anthropiques, estimés dans le cadre de la **présente étude** sont **plus importants** que ceux estimés par l’INRAE/OFB sur les 8 unités de gestion. Cependant, ils sont tous **compris dans l’intervalle de confiance** à 80% de l’INRAE/OFB. En tout état de cause, l’indice de confiance de l’INRAE/OFB est considéré en « **Prudence** » pour chaque valeur. Ainsi, au regard de ces éléments, **l’écart constaté** entre les valeurs INRAE/OFB et celles de la présente étude reste **raisonnable** et l’on peut considérer les **estimations comme étant concordantes**²⁰.

Tableau 43 : QMNA5 désinfluencés calculés par l’INRAE/OFB et par SUEZ Consulting par unité de gestion (Sources : INRAE, OFB, SUEZ Consulting 2020)

Unité de gestion	QMNA5 désinfluencé [l/s] OFB/INRAE	Indice de confiance OFB/INRAE	QMNA5 désinfluencé étude HMUC [l/s] (SUEZ Consulting)
Fouzon amont	31 [1 ; 99]	Prudence	63
Fouzon médian	114 [8 ; 242]	Prudence	198
Fouzon aval	570 [90 ; 1463]	Prudence	663
Pozon	24 [2 ; 73]	Prudence	45
Saint-Martin	21 [1 ; 62]	Prudence	36
Renon	130 [12 ; 374]	Prudence	200
Céphons	82 [17 ; 198]	Prudence	98
Nahon	219 [48 ; 516]	Prudence	220

¹⁹ Il convient de noter que la période sur laquelle ces indicateurs sont calculés diffère entre la démarche INRAE/OFB et la démarche SUEZ Consulting (globalement 1970-2005 pour INRAE/OFB et 200-2018 pour SUEZ Consulting). La stationnarité observée du QMNA5 (paragraphe 4.1.3) permet toutefois de considérer l’approche comme étant pertinente.

²⁰ Les valeurs de QMNA5 établies par l’OFB/INRAE sont, par la nature de la méthode ayant permis de les déterminer (implémentée à l’échelle du territoire métropolitain, sans prise en compte des spécificités locales des bassins versants), incertaines. Par conséquent, leur intervalle de confiance est large. Le fait que les valeurs obtenues dans le cadre de la présente étude figurent dans ces intervalles de confiance contribue à les considérer comme des valeurs robustes. Le fait qu’elles puissent s’éloigner de manière parfois conséquente des valeurs modélisées par l’OFB/INRAE ne constitue pas un critère déclassant, au vu de l’incertitude précédemment évoquée de ces dernières.

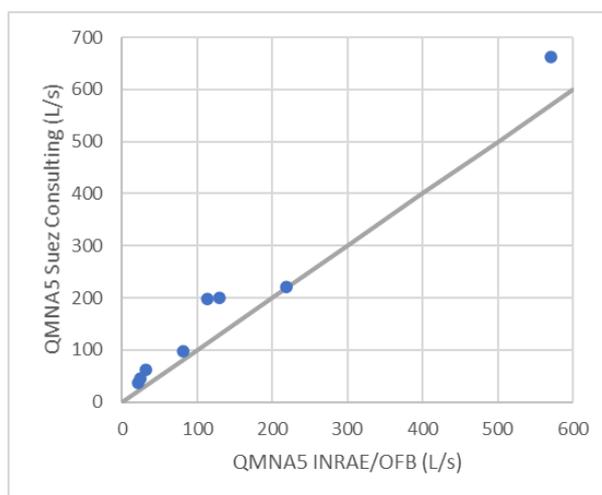


Figure 96 : Comparaison graphique des QMNA5 désinfluencés calculés par l’INRAE/OFB et par SUEZ Consulting (Sources : INRAE, OFB, SUEZ Consulting 2020)

Concernant les **modules désinfluencés** des usages anthropiques, une **meilleure correspondance** est observée entre les valeurs estimées par l’INRAE/OFB et celles de la présente étude : toutes les estimations de SUEZ Consulting figurent à l’intérieur de l’intervalle de confiance établi par l’INRAE/OFB, l’indice de confiance étant considéré comme « **Robuste** ».

Tableau 44 : Modules désinfluencés calculés par l’INRAE/OFB et par SUEZ Consulting par unité de gestion (Sources : INRAE, OFB, SUEZ Consulting 2020)

Unité de gestion	Module désinfluencé [l/s] OFB/INRAE	Indice de confiance OFB/INRAE	Module désinfluencé étude HMUC [l/s] (SUEZ Consulting)
Fouzon amont	556 [420 ; 737]	Robuste	466
Fouzon médian	1723 [1301 ; 2230]	Robuste	1444
Fouzon aval	5879 [4439 ; 7787]	Prudence	5004
Pozon	374 [283 ; 496]	Robuste	333
Saint-Martin	332 [251 ; 440]	Robuste	268
Renon	1806 [1363 ; 2392]	Robuste	1500
Céphons	730 [551 ; 967]	Robuste	727
Nahon	1797 [1357 ; 2380]	Prudence	1675

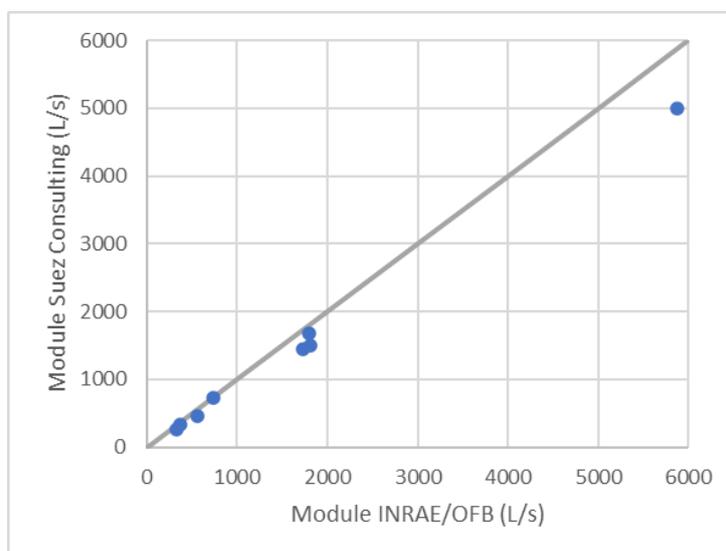


Figure 97 : Comparaison graphique des modules désinfluencés calculés par l'INRAE/OFB et par SUEZ Consulting (Sources : INRAE, OFB, SUEZ Consulting 2020)

7.6 Niveaux piézométriques minimaux

A ce stade de l'étude il est prématuré de définir les niveaux piézométriques minimaux. En pratique ils sont déterminés après avoir défini les débits de référence sur chaque unité de gestion.

Le contexte hydrogéologique du secteur d'étude indique que les **rivières drainent globalement la nappe de surface**. Les niveaux piézométriques sont obtenus par **corrélation débits-niveaux piézométriques**. Ainsi pour un débit-seuil défini il sera possible de proposer le niveau piézométrique minimal à ne pas dépasser.

7.7 Analyse et synthèse des résultats

Note préalable 1 : il est important de garder en tête que les impacts relevés sur les unités de gestion se répercutent d'amont en aval. Ainsi, si une unité de gestion présente un bilan de comparaison « situation désinfluencée – situation influencée » défavorable, ce dernier peut non seulement être causé par les processus ayant lieu sur l'unité de gestion en question, mais également par ceux ayant lieu en amont.

Note préalable 2 : l'ETP étant mesurée et calculée à un pas de temps décadaire, on privilégie ici l'analyse d'indicateurs mensuels (QMNA) plutôt qu'infra-mensuels (VCN), les premiers étant plus robustes.

D'après les résultats obtenus, les **unités de gestion ont été classées dans l'ordre décroissant en termes d'impacts par les usages anthropiques (en tenant compte des débits spécifiques, ce qui permet d'assurer leur comparabilité) :**

- Le **Fouzon amont**, avec d'importants prélèvements pour l'**eau potable** et l'**irrigation** et peu de rejets pour les compenser. Il présente toutefois de courtes périodes de bas et de très bas débits, en comparaison avec les autres unités de gestion ;
- Le **Fouzon médian** qui, en addition du fait de souffrir du déficit d'apport par le Fouzon amont, présente de plus d'importantes **pertes par surévaporation des plans d'eau** et également peu de restitutions pour les compenser. La durée importante des périodes de très bas débits (<QMNA5) est principalement liée aux usages de l'eau ;

- Le **Fouzon aval**, qui cumule les impacts sur chaque unité de gestion du bassin versant. La durée importante des périodes de très bas débits (<QMNA5) est principalement liée aux usages de l’eau ;
- Le **Céphons**, dont les prélèvements **d’eau potable** sont les plus importants du bassin versant, ces derniers étant partiellement compensés par **d’importants rejets d’assainissement** collectif ;
- Le **Renon** qui, malgré des apports peu influencés en provenance du Saint-Martin, présente d’importantes **pertes par surévaporation des plans d’eau** ;
- Le **Nahon** qui, en addition du fait de souffrir du déficit d’apport par le Céphons, présente des pertes considérables par **surévaporation des plans d’eau**. Il présente néanmoins moins de pressions que le Céphons au prorata de sa surface. La durée des périodes de très bas débits (<QMNA5) est principalement liée aux usages de l’eau ;
- Le **Saint-Martin**, qui présente peu d’usages de l’eau et peu de plans d’eau ;
- Le **Pozon**, qui présente quelques plans d’eau provoquant une **surévaporation** largement **compensée par les restitutions d’assainissement** collectif.

Concernant les **débits mensuels quinquennaux secs**, on remarque que quelle que soit l’unité de gestion considérée, **c’est sur les mois d’été que l’impact des pressions anthropiques est le plus fort**. Il convient de rappeler que les mois de mars et d’avril sont sous-estimés par le modèle. Ainsi, l’écart relatif entre situation influencée et désinfluencée est surestimé pour cette période de l’année.

On observe également que les périodes de bas et de très bas débit en régime influencé ont lieu principalement au mois d’août, tandis qu’elles ont lieu principalement en septembre en régime désinfluencé.

Tableau 45 : Nombre de jours, de jours de très bas débits (<QMNA5) et de bas débit (<QMNA2) en régime influencé et désinfluencé, sur le mois de plus faible hydraulicité, en moyenne sur la période 2000-2018

	très bas débits - désinfluencé	très bas débits - influencé	bas débits - désinfluencé	bas débits - influencé
Fouzon amont	<1	5	4	11
Fouzon médian	2	5	9	13
Pozon	5	5	11	12
Saint-Martin	4	5	10	11
Renon	3	6	11	12
Céphons	3	5	11	13
Nahon	2	7	11	13
Fouzon aval	2	6	11	14

L’analyse des relations nappes rivières indique que les cours d’eau du secteur d’étude drainent majoritairement la nappe, hormis pour les secteurs de Vatan et du Pozon, où le lien entre la nappe du Jurassique et les cours d’eau n’est pas clairement mise en évidence au vu des données disponibles. La carte suivante classe les **unités de gestion par niveau de pression anthropique** (cf. Figure 98). Ce niveau est estimé sur la base de l’ensemble des indicateurs recensés dans les paragraphes précédents. Le QMNA5 de chaque régime (influencé et désinfluencé) est également donné pour rendre compte de l’ordre de grandeur des pressions.

Phase 1 –Volet Hydrologie : Analyse du fonctionnement hydro(géo)logique du bassin en régimes influencé et désinfluencé des usages anthropiques

Analyse HMUC et propositions d’actions pour une gestion équilibrée et durable des ressources en eau sur le bassin du Fouzon dans le cadre du SAGE Cher aval

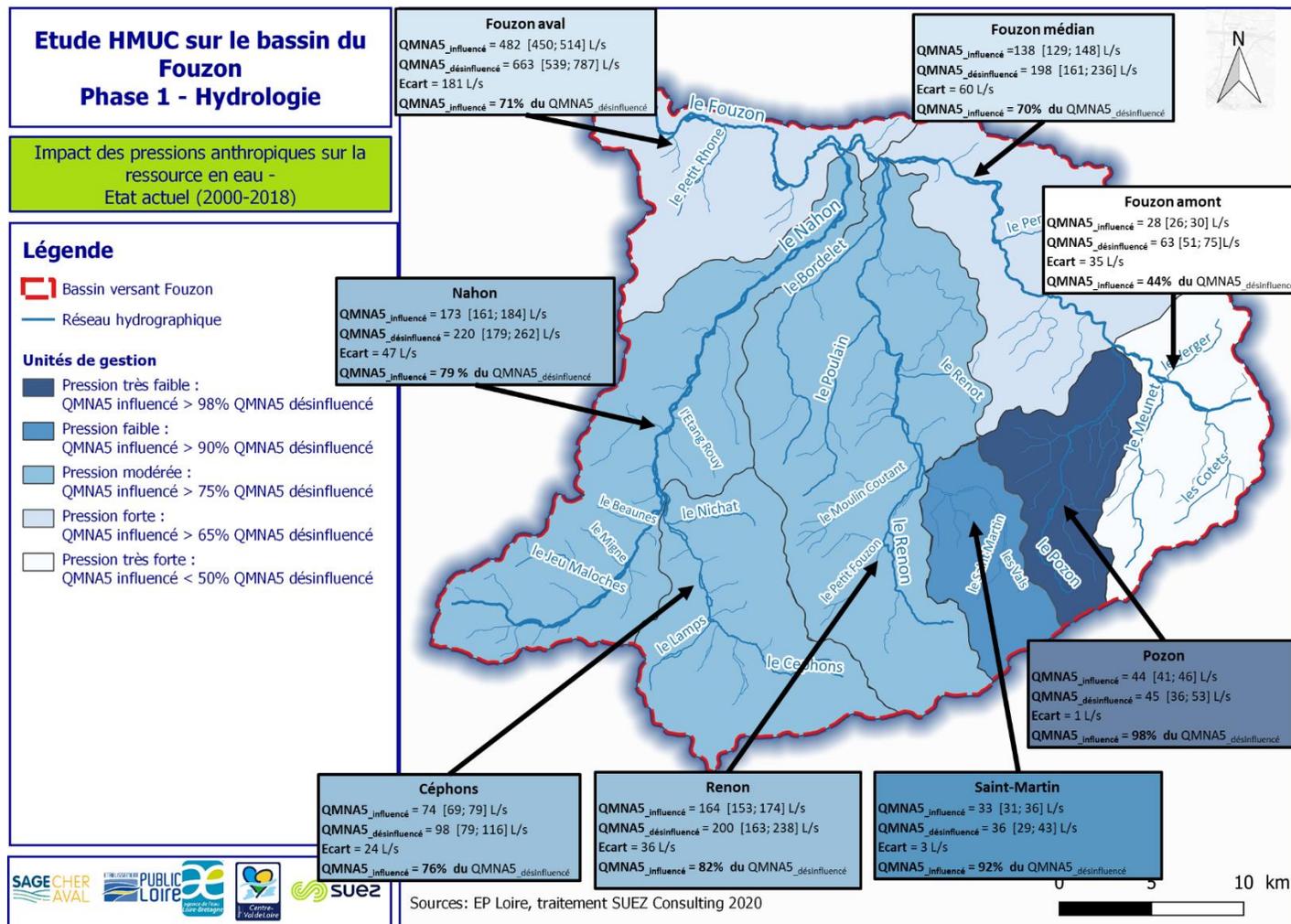


Figure 98 : BV Fouzon – Analyse des pressions de prélèvements et de rejets par unité de gestion (Sources : EP Loire, COTECH HMUC Fouzon, Banque Hydro, SMPVB, Terraqua, SUEZ Consulting 2020)

8 CONCLUSION ET SUITE DE L'ÉTUDE

Les analyses et modélisations hydrologiques réalisées sur le bassin du Fouzon ont permis d'identifier les unités de gestion présentant les plus forts impacts des pressions anthropiques (prélèvements et rejets) sur le débit des cours d'eau du territoire :

- ❖ Le Fouzon amont apparaît comme étant très fortement impacté par les usages, avec un potentiel « naturel » à l'étiage estimé à plus de 2 fois le débit d'étiage quinquennal actuel ;
- ❖ Le Fouzon médian et le Fouzon aval sont également fortement impactés, d'une part du fait des prélèvements des secteurs plus en amont, d'autre part du fait de la forte concentration de plans d'eau s'y trouvant. Leur potentiel « naturel » à l'étiage est estimé à près de 1.4 fois le débit d'étiage quinquennal actuel ;
- ❖ Le Céphons est un sous-bassin fortement impacté par les usages, en particulier en raison des importants prélèvements pour l'eau potable y ayant lieu avec un potentiel « naturel » à l'étiage estimé à 1.3 fois le débit d'étiage quinquennal actuel ;
- ❖ Le Nahon et le Renon sont des sous-bassins un peu moins impactés que les précédents, avec un potentiel « naturel » à l'étiage estimé à moins de 1.2 fois le débit d'étiage quinquennal actuel. Ces secteurs sont principalement concernés par la surévaporation des plans d'eau ;
- ❖ Enfin, le Pozon et le Saint-Martin, qui sont aussi les plus petites unités de gestion du bassin versant, sont les secteurs les moins impactés par les prélèvements nets, avec moins de prélèvements par unité de surface que les autres unités de gestion. Leur potentiel « naturel » à l'étiage est estimé à 102 et 108% respectivement du débit d'étiage quinquennal actuel.

Les analyses hydrogéologiques menées dans la présente étude ont permis de déterminer que :

- ❖ La nappe du Turonien alimente la Nahon et le Renon ;
- ❖ La nappe du Cénomaniens – Albien alimente le Renon et le Fouzon ;
- ❖ La nappe du Jurassique supérieur alimente le Fouzon amont et probablement le Céphons.

La contribution des nappes aux cours d'eau sur l'ensemble du bassin versant s'évalue comme étant importante. Ainsi, les prélèvements de nappe ont toute leur importance dans le contexte des pressions sur les débits d'étiage.

La suite de l'étude HMUC permettra de croiser ces résultats avec le besoin des milieux aquatiques et les tendances d'évolution futures afin de déterminer des préconisations de gestion de la ressource en eau sur le bassin versant.

9 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. ;
- ❖ **Calage** (modèle) : ajustement des paramètres d'un modèle ayant pour objectif de représenter au mieux la réalité qu'il a pour but de reproduire ;
- ❖ **Centré-normé** : synonyme de « centré-réduit ». Processus de calcul statistique permettant d'ajuster l'ordre de grandeur et l'amplitude de variation d'une série de données, afin de pouvoir la comparer à une autre qui possède un ordre de grandeur et une variabilité différente ;
- ❖ **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 ;
- ❖ **Critère ou coefficient de Nash** : 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.
- ❖ **Débit** : Volume d'eau qui traverse une section transversale d'un cours d'eau dans un laps de temps déterminé. Les débits des cours d'eau sont exprimés en m³/s ou, pour les petits cours d'eau, en l/s ;
- ❖ **Débit biologique** : débit minimum à conserver dans le lit d'un cours d'eau afin de garantir en permanence la vie, la reproduction et la circulation des espèces aquatiques ;
- ❖ **Débit 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 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 ;
- ❖ **Interpolation linéaire** : L'interpolation linéaire est la méthode la plus simple pour estimer la valeur prise par une fonction continue entre deux points déterminés
- ❖ **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 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 ;
- ❖ **NAM** : Le modèle NAM est un modèle conceptuel, global et déterministe à réservoir prenant en compte le stockage d'eau dans le sol et intégré au logiciel MIKE Hydro Basin ;
- ❖ **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 ;

- ❖ **Overfitting** : En statistique, le sur-apprentissage, ou sur-ajustement, ou encore surinterprétation (en anglais « overfitting »), est une analyse statistique qui correspond trop précisément à une collection particulière d'un ensemble de données. Ainsi, cette analyse peut ne pas correspondre à des données supplémentaires ou ne pas prévoir de manière fiable les observations futures ;
- ❖ **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 ;
- ❖ **Polygones de Thiessen** (ou diagramme de Voronoï) : En mathématiques, un diagramme de Voronoï est un pavage du plan en cellules à partir d'un ensemble discret de points appelés « germes ». Chaque cellule enferme un seul germe, et forme l'ensemble des points du plan plus proches de ce germe que d'aucun autre ;
- ❖ **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 limnimétrique** : Un limnimètre ou station limnimétrique 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 ;
- ❖ **Validation (modèle)** : Processus par lequel on s'assure que le modèle représente bien la réalité. En général, ceci se fait en exploitant le modèle sur une situation distincte de celle qui a servi au calage de ce dernier ;

- ❖ **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 ;
- ❖ **Zone de répartition des eaux** : Zone comprenant les bassins, sous-bassins, fractions de sous-bassins hydrographiques et systèmes aquifères définis dans le décret du 29 avril 1994. Les zones de répartition des eaux (ZRE) sont des zones où est constatée une insuffisance, autre qu'exceptionnelle, des ressources par rapport aux besoins. Elles sont définies afin de faciliter la conciliation des intérêts des différents utilisateurs de l'eau. Les seuils d'autorisation et de déclaration du décret nomenclature y sont plus contraignants. Dans chaque département concerné, la liste de communes incluses dans une zone de répartition des eaux est constatée par arrêté préfectoral.

10 ANNEXES

10.1 Annexe 1 : Analyse de l'homogénéité de la température mesurée à Romorantin avec le reste du territoire

Afin d'évaluer la pertinence de l'utilisation des mesures réalisées au niveau de la station de Romorantin qui est proche du territoire d'étude, mais en dehors de ce dernier, une analyse d'homogénéité des températures mesurées sur cette station et sur celles situées à l'intérieur du territoire a été réalisée.

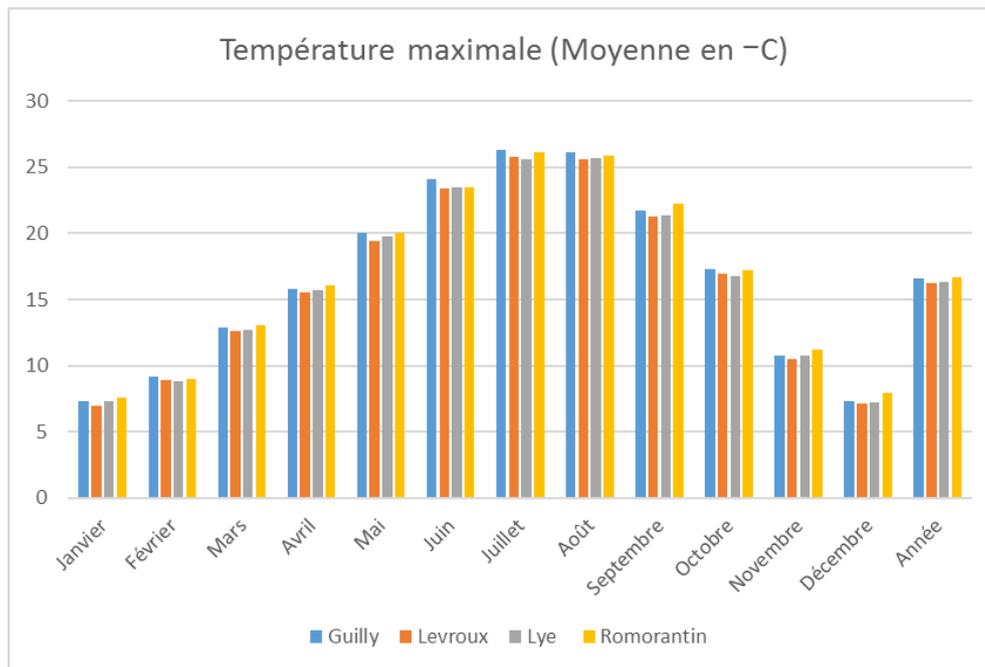


Figure 99 : Comparaison entre les stations météorologiques du territoire des maxima journaliers de chaque mois de température moyennés sur plusieurs années (Sources : Météo France, EP Loire, SUEZ Consulting 2020)

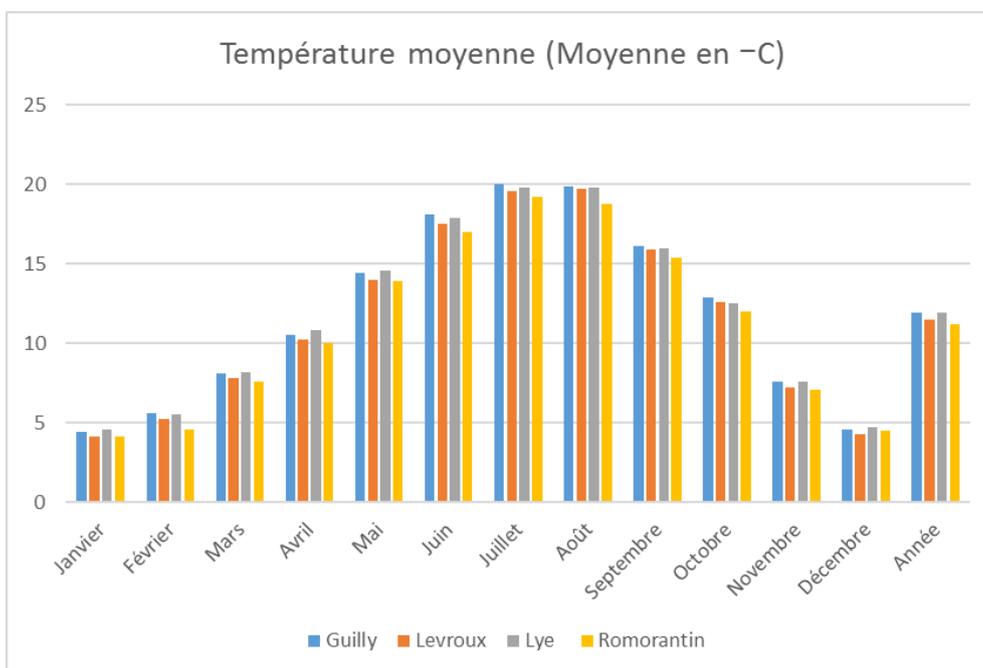


Figure 100 : Comparaison entre les stations météorologiques du territoire des moyennes de chaque mois de température moyennés sur plusieurs années (Sources : Météo France, EP Loire, SUEZ Consulting 2020)

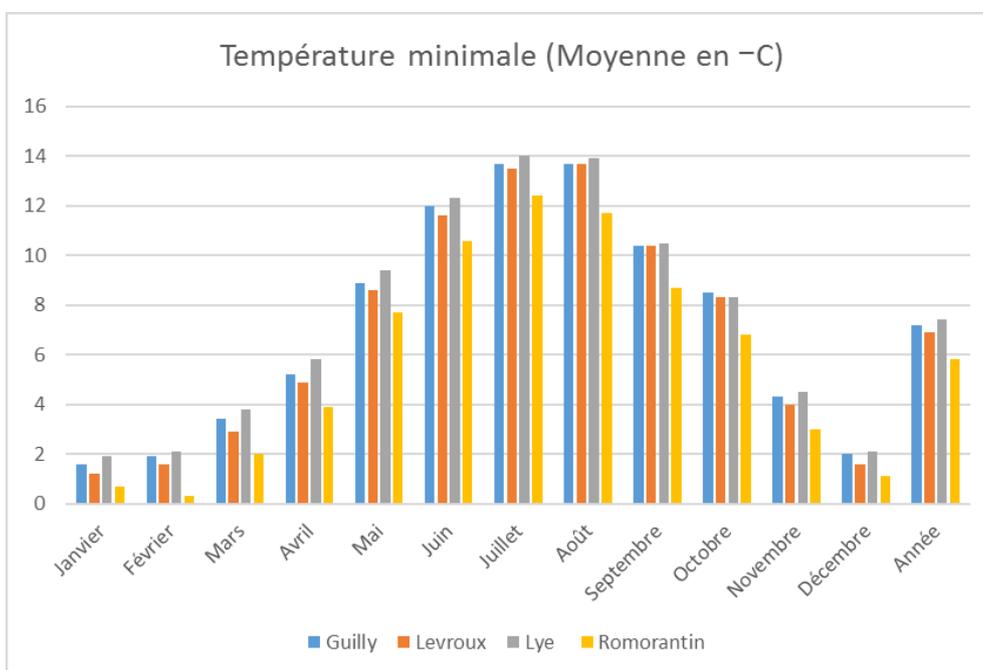


Figure 101 : Comparaison entre les stations météorologiques du territoire des minima journaliers de chaque mois de température moyennés sur plusieurs années (Sources : Météo France, EP Loire, SUEZ Consulting 2020)

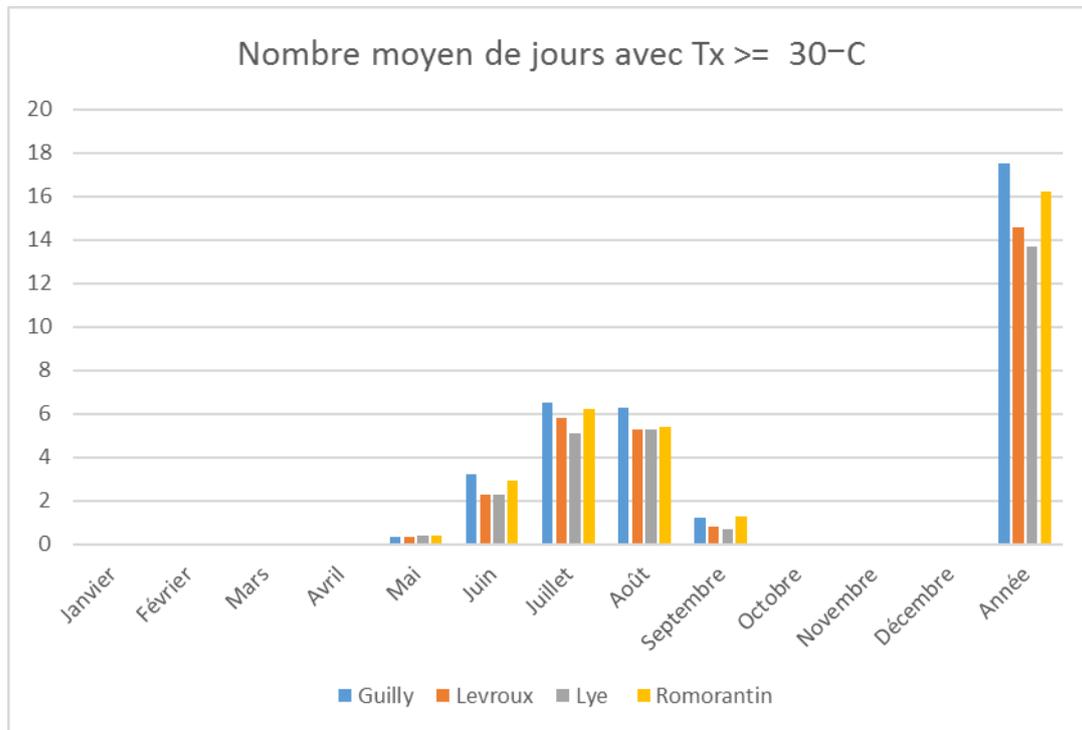


Figure 102 : Comparaison entre les stations météorologiques du territoire du nombre moyen de jours à plus de 30°C de chaque mois moyennés sur plusieurs années (Sources : Météo France, EP Loire, SUEZ Consulting 2020)

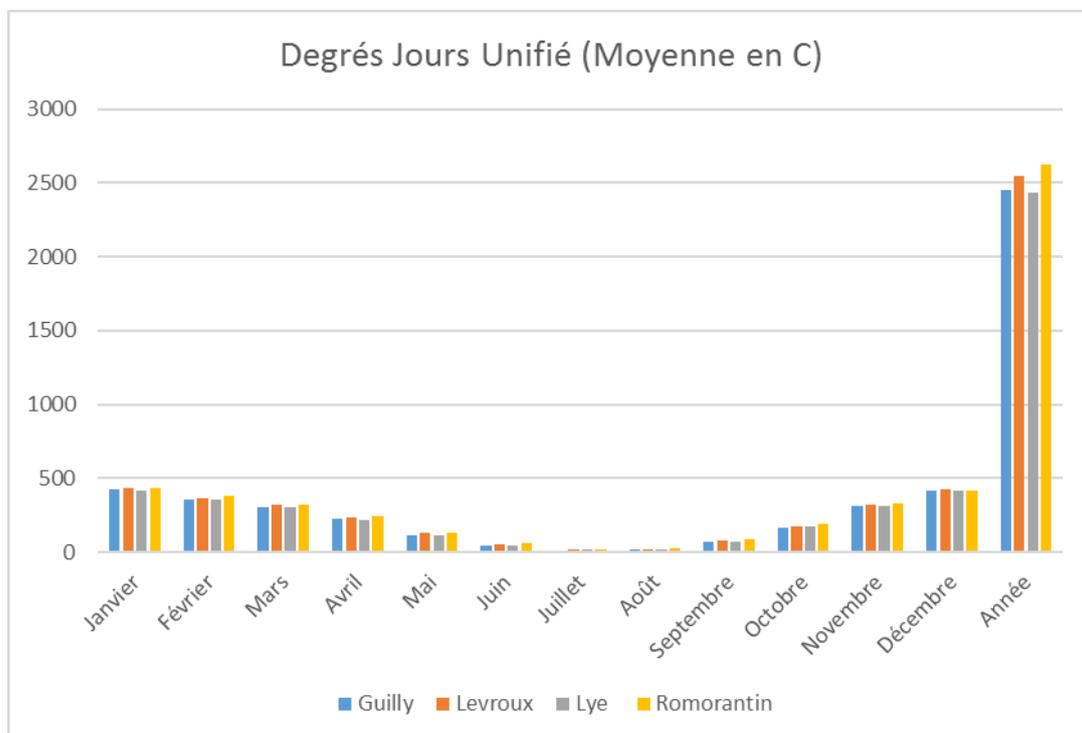


Figure 103 : Comparaison entre les stations météorologiques du territoire des degrés jours unifiés de chaque mois moyennés sur plusieurs années (Sources : Météo France, EP Loire, SUEZ Consulting 2020)

On observe que pour l'ensemble des indicateurs de température analysés, les valeurs de la station de Romorantin sont homogènes avec celles des trois stations météorologiques du bassin versant. Seule la température mensuelle minimale est significativement moins élevée pour Romorantin que pour les autres stations, mais l'évapotranspiration étant de toutes manières faible lors d'épisodes de basses température, l'erreur absolue que cela engendre reste marginale.

10.2 Annexe 2 : Description de la solution de modélisation hydrologique employée

10.2.1 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 souterrains²¹ ;
- 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).

²¹ 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.

Analyse HMUC et propositions d’actions pour une gestion équilibrée et durable des ressources en eau sur le bassin du Fouzon dans le cadre du SAGE Cher aval



Figure 104 : Illustration du grand cycle de l’eau

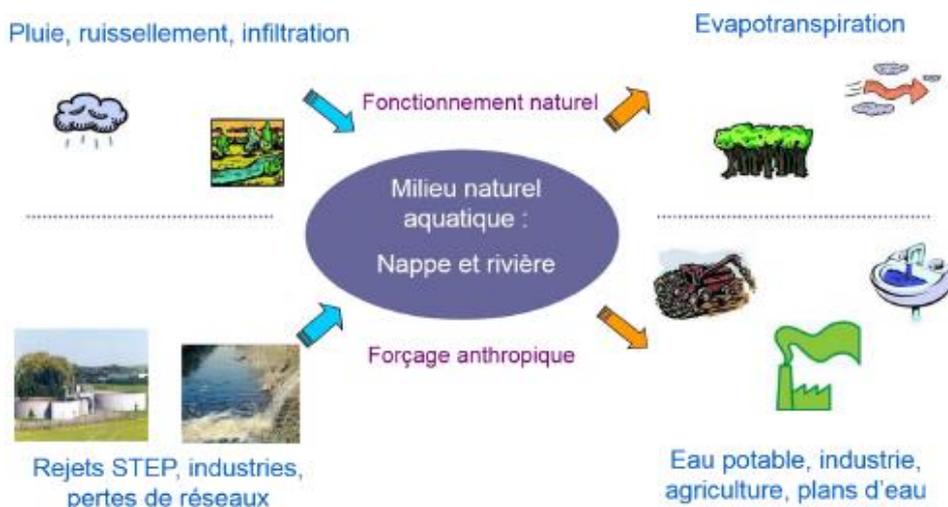


Figure 105 : Illustration des processus pris en compte par la modélisation

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

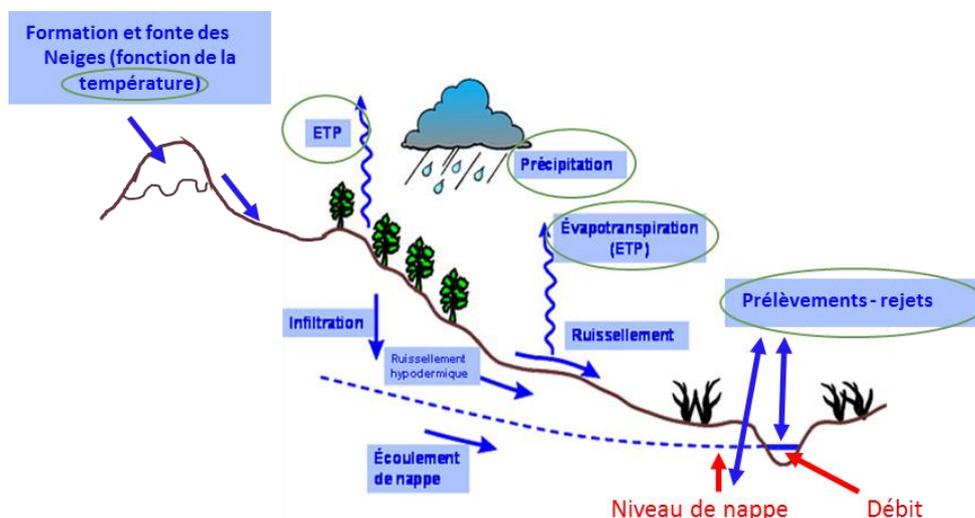


Figure 106 : Schéma conceptuel de la modélisation hydrologique. (Processus entourés en vert = données d’entrée. Processus en rouge = variables de sortie)

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.

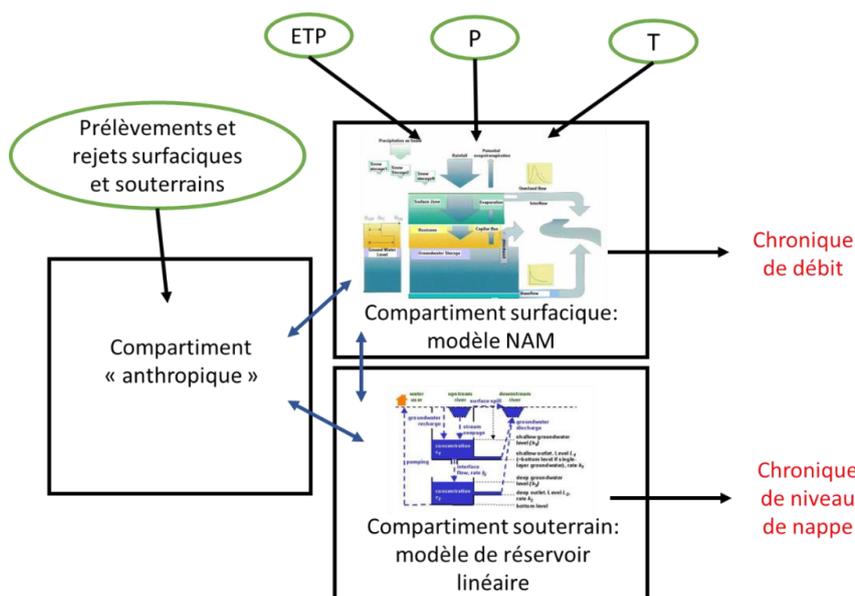


Figure 107 : Représentation schématique de l’architecture de Mike Hydro Basin

10.2.2 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 observés²² ;
- La bonne reproduction des **QMNA** sur l'ensemble de la chronique de calage ;
- Un **coefficient de Nash**²³ 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**²⁴.

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

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

avec :

- T le nombre d'observations,
- Qobs la chronique des débits observés (et $\overline{Q_{obs}}$ sa moyenne)
- Qsim 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 ;

²² Uniquement dans les cas où l'on dispose de chroniques de calage d'au moins 25 années

²³ 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.

²⁴ Le modèle de nappe étant ici simplifié, 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.

- 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 overfitting²⁵.

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.

10.2.3 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.

10.3 Annexe 3 : Analyse et quantification des incertitudes

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

La démarche habituelle pour quantifier l'incertitude sur le résultat final (par exemple l'incertitude sur l'estimation du QMNA5) consiste à **calculer la différence entre la valeur simulée et la valeur observée** sur un grand nombre d'échantillons (sur différentes périodes de la chronique modélisée), puis à réaliser une analyse statistique sur l'ensemble de ces différences pour en déduire des **intervalles de confiance**.

Dans le cadre du présent projet, les chroniques mesurées disponibles sont trop courtes pour pouvoir réaliser de telles analyses. Ainsi, **la démarche adoptée consiste à valoriser au maximum les informations disponibles pour calculer des marges d'erreurs « qualitatives »**, qui, si elles ne constituent pas des

²⁵ 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.

intervalles de confiance au sens strict, permettent d'apprécier qualitativement l'incertitude que l'on peut accorder aux résultats obtenus.

Le présent chapitre est organisé de la manière suivante :

- Le paragraphe 10.3.1 identifie et caractérise les **incertitudes en présence** à tous les stades de la modélisation ;
- Le paragraphe 10.3.2 présente la démarche employée pour **calculer les marges d'incertitude** présentées dans le présent rapport.

10.3.1 Identification et caractérisation des incertitudes

10.3.1.1 Incertitude sur les données utilisées

10.3.1.1.1 Incertitudes liées à l'applicabilité des données au territoire étudié

La chronique d'ETP utilisée dans le cadre de l'étude ne provient que d'une station météorologique, qui est située hors du territoire d'étude. Une incertitude sur la capacité de cette chronique à représenter l'ETP ayant réellement lieu sur le bassin versant en découle.

10.3.1.1.2 Incertitudes sur les mesures réalisées

Les mesures réalisées par les stations hydrométriques, piézométriques et météorologiques sont entachées d'une incertitude liée à la nature imparfaite des instruments de mesure et de leur mode de fonctionnement.

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

La qualité des données d'usage de l'eau dépend de la précision et de la justesse avec laquelle elles ont été relevées par les services responsables. Ce type de données est donc également entaché d'une incertitude.

10.3.1.1.3 Incertitudes sur l'estimation de données non directement mesurées

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

10.3.1.2 Incertitudes sur le calage

Le calage réalisé sur le modèle hydrologique permet d'obtenir, au niveau de la station hydrométrique de Meusnes, une chronique de débit s'approchant de celle mesurée. Cependant, la correspondance n'est pas parfaite et quelques différences subsistent. Ces dernières sont quantifiées et mises en valeur dans la présentation des résultats.

10.3.1.3 Incertitudes liées à l'aspect simplificateur de la modélisation

La modélisation réalisée constitue, comme toute modélisation, une simplification de la réalité, introduisant des incertitudes.

Cependant, le modèle utilisé est en mesure de reproduire non seulement les processus surfaciques, mais également souterrains, ce qui permet de mieux représenter les phénomènes d'échanges nappe-rivière et de prélèvements souterrains que les modèles se concentrant sur les phénomènes de surface uniquement.

10.3.1.4 Incertitudes sur le calcul de débits statistiques (chroniques courtes)

La période de modélisation de la présente étude est de 19 ans (2000-2018). C'est donc sur cette période que l'on dispose de données pour calculer les débits caractéristiques qui répondent aux objectifs de la présente étude.

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

10.3.1.5 Incertitudes liées à la transcription du modèle sans ajustement de calage

L'une des plus importantes sources d'incertitude de la présente étude consiste en l'utilisation du modèle calé au niveau de la station de Meusnes au niveau de chaque unité de gestion du bassin versant, sans ajustement de calage (en raison de l'absence de données hydrométriques suffisantes sur lesdites unités de gestion). Cette démarche part du principe que les caractéristiques physiques de chaque unité de gestion sont suffisamment proches pour que le calage réalisé reste valable sur chacune d'entre elles.

10.3.2 Calcul de marges d'incertitudes

Des marges d'incertitude ont été calculées pour chaque indicateur de débit considéré (QMNA5, QMNA2, module, débits mensuels quinquennaux secs...) à partir de la connaissance de :

- **L'erreur de calage** pour chaque indicateur considéré, calculée sur la période 2000-2018 au niveau de la station de Meusnes ;
- **L'incertitude sur les usages** de l'eau (pour l'estimation des débits caractéristiques en situation désinfluencée uniquement).

La démarche a consisté à estimer, pour chaque indicateur de débit :

- **Pour la situation influencée** : la différence (en pourcentage) entre la valeur simulée et la valeur mesurée. Cette dernière est réutilisée à tous les stades de l'étude pour calculer les marges des indicateurs en situation influencée ;
- **Pour la situation désinfluencée** : le même calcul a été réalisé sur la chronique de débit obtenue en situation influencée, mais deux fois ;
 - ▶ Une fois en introduisant les chroniques d'usage maximisant la pression anthropique (en prenant la marge haute pour les prélèvements et la marge basse pour les rejets) ;
 - ▶ Une fois en introduisant les chroniques d'usage minimisant la pression anthropique (en prenant la marge basse pour les prélèvements et la marge haute pour les rejets) ;
 - ▶ Pour chaque indicateur, l'erreur obtenue la plus forte entre les deux situations est retenue pour calculer les marges des indicateurs en situation désinfluencée à tous les stades de l'étude.

Il est important de mentionner que les marges d'incertitude obtenues :

- Ne tiennent compte que de deux des sources d'incertitude mentionnées au paragraphe précédent ;
- Constituent plutôt des indicateurs qualitatifs de la confiance que l'on peut accorder aux résultats obtenus.

10.4 Mise en évidence des prélèvements souterrains exclus de la modélisation

Certains prélèvements souterrains d’irrigation et d’eau potable sont, du fait de leur nature profonde et/ou en nappe captive, peu susceptibles d’avoir un effet identifiable sur les débits des cours d’eau. Ces prélèvements ont donc été exclus de la modélisation hydrologique. Il s’agit, **pour l’AEP, de 5 points de captage**, et de **3 points de captage pour l’irrigation**. Ils sont présentés aux tableaux et cartes suivantes.

Tableau 46 : Identification des captages AEP exclus de la modélisation

ID_HMUC	CAPTAGE	CDE_DR	COMPTEUR	LIBELLE_PT	Nappe
PR_3	42944	111246-3	5661	FORAGE ANJOUIN	Cénomaniens libre
PR_80	1382	78532-3	5658	LES BARDETTES PUIITS 1	Cénomaniens captif
PR_81	1383	78533-3	5659	LES BARDETTES PUIITS 2	Cénomaniens captif
PR_82	1404	78534-3	5684	FORAGE 1 VALENCAY	Cénomaniens captif
PR_83	17657	78538-3	5685	FORAGE 1 BAUDRES	Cénomaniens captif

Tableau 47 : Identification des captages d’irrigation exclus de la modélisation

CAPTAGE	CDE_DR	COMPTEUR	LIBELLE_PT	OUVRAGE	Nappe
15151	36069-1	24316	LA PRUNELAYE	36069	Jurassique captif
37368	37368-1	22009		0	Jurassique captif
27890	43085-1	24375	LE COUVENT	43085	Cénomaniens libre

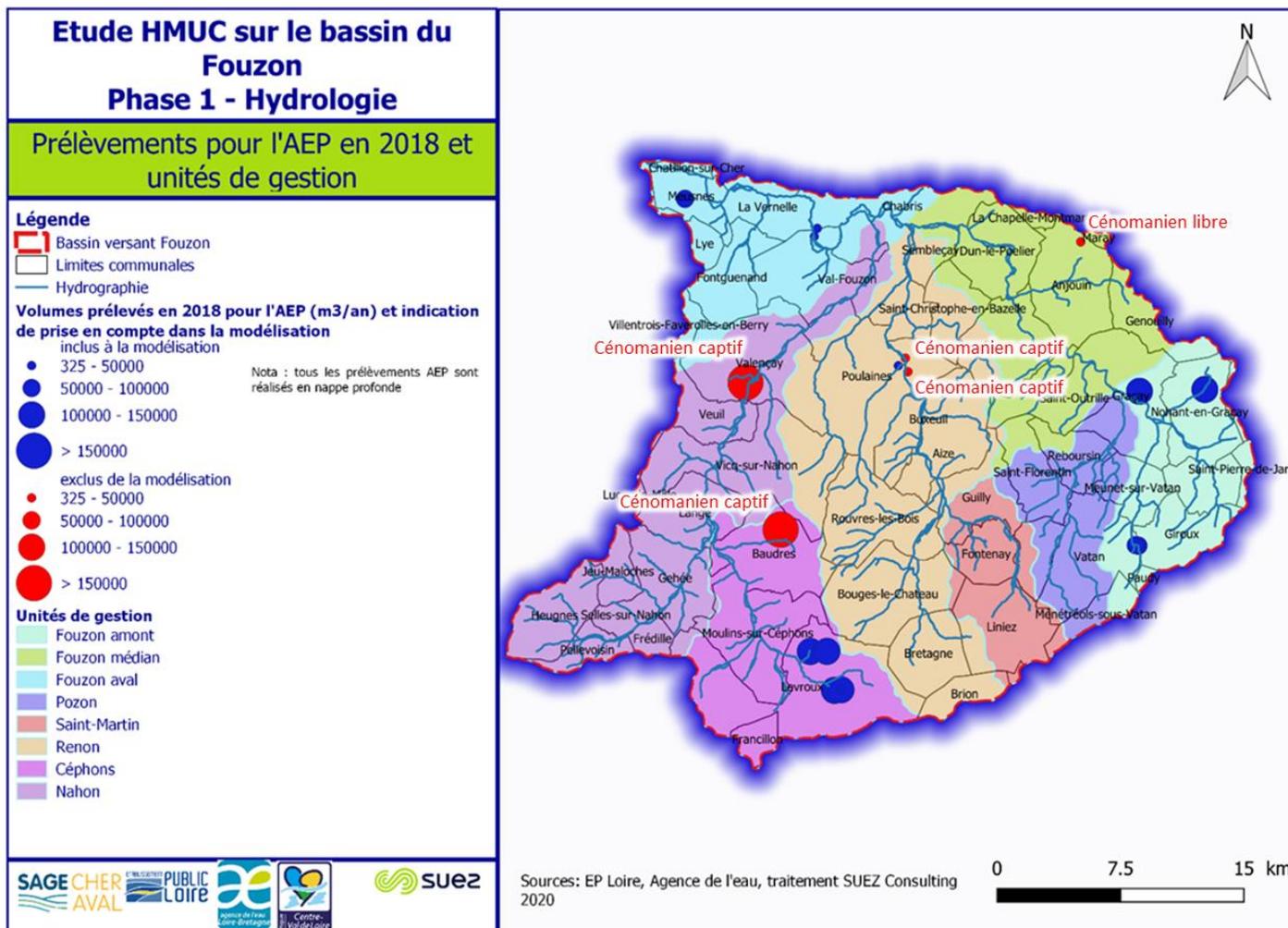


Figure 108 : Localisation des points de captage AEP exclus de la modélisation hydrologique

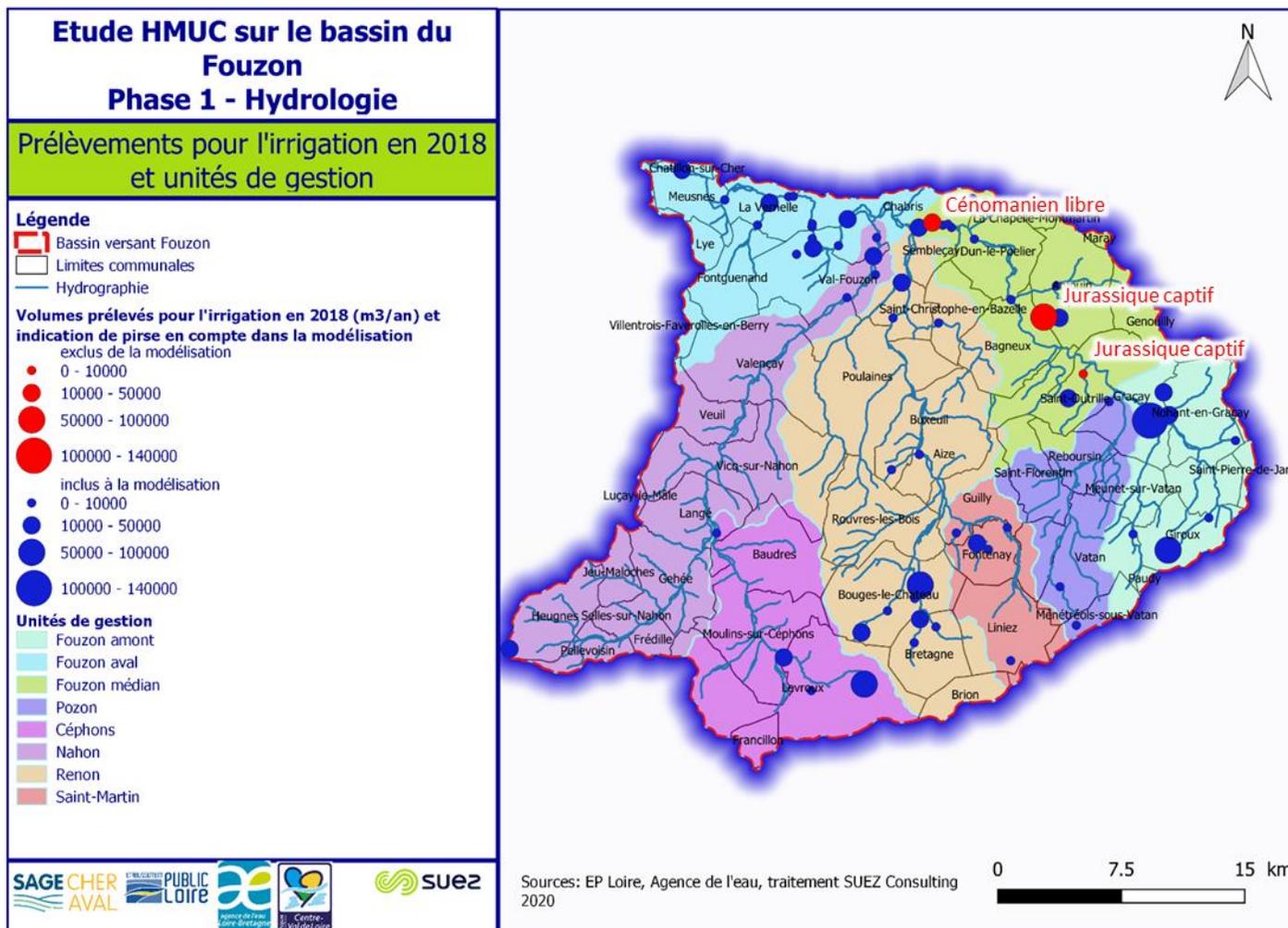


Figure 109 : Localisation des points de captage d’irrigation exclus de la modélisation hydrologique