



Syndicat Mixte du Bassin de
l'Authion et de ses Affluents
(SMBAA)

ÉTUDE HYDROLOGIE- MILIEUX-USAGES-CLIMAT

Révision des Volumes
Prélevables 2015

Rapport de phase 2

51618 | septembre 2023 – v2 | TFC



setec
hydratec



FISH
PASS

SCIENCE ET INGÉNIERIE DES MILIEUX AQUATIQUES

		16 Boulevard de L'Ecce Homo – 49100 Angers Setec-hydratec – hydratec@hydra.setec.fr – une société du groupe setec. T : 02 2 41 57 03 30			Directeur de Projet	Moreau
					Responsable d'affaire	TFC
					N° Affaire	51618
<i>Fichier : 51618_HMUC_Authion_Phase2_Modele_hydrologique_v2.docx</i>						
V.	Date	Etabli par	Vérifié par	Nb. pages	Observations/Visa	
V1	23 juin 2023	APL	TFC		Version initiale	
V2	31 août 2023	APL	TFC	92	Prise en compte des remarques du SMBAA	
V3	19 septembre	APL	TFC	91	Prise en compte des remarques du SMBAA sur la V2.	

TABLE DES MATIERES

1. CONTEXTE ET OBJET DE L'ÉTUDE.....	9
1.1 Contexte géographique.....	9
1.2 Objet de l'étude.....	12
1.3 Organisation générale de l'étude et objet de la phase 2.....	12
2. CONNAISSANCE DE L'HYDROLOGIE SUPERFICIELLE.....	15
2.1 Données relatives au fonctionnement hydrologique des eaux superficielles.....	15
2.2 Phase 1 : Caractérisation du territoire et recueil des données COMPLEMENTAIRES - Volet Hydrologie superficielle.....	18
3. MODÉLISATION HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE DES ÉCOULEMENTS SUPERFICIELS.....	19
3.1 Présentation du logiciel Hydra.....	19
3.2 Principe de modélisation.....	19
3.3 Construction du modèle.....	21
3.4 Calage.....	35
3.5 Simulation de la situation actuelle sur la période 2001-2021.....	56
3.6 Simulation de la situation actuelle désinfluencée sur la période 2001-2021.....	65
3.7 Synthèse de l'impact des PRELEVEMENTS A l'exutoire du bassin versant de l'Authion	71
3.8 Prise en compte du changement climatique sur l'année de 2020 en absence d'usages	73
3.9 Effets du changement climatique sur les débits d'après les premiers résultats du projet Explore 2.....	86
4. PRÉLÈVEMENTS SUPERFICIELS NON INCLUS DANS LE MODÈLE.....	88
4.1 Interception des écoulements par les plans d'eau en période de basses eaux.....	88
4.2 Lutte anti-gel par aspersion.....	88
5. CONCLUSIONS ET SUITES.....	90
6. GLOSSAIRE.....	91

ILLUSTRATIONS

Figure 1-1 : Bilan des unités de gestion et des zones d'alerte (étude de définition des volumes prélevables, SMBAA, 2017)	10
Figure 1-2 : Modification des limites des unités de gestion 2 et 3	11
Figure 1-3 : Définition du DMB (source : Office Français de la Biodiversité)	12
Figure 1-4 : Organisation générale de la présente étude	13
Figure 2-1 : Points de mesure disponibles ; Q représente le débit du cours d'eau et Z la hauteur d'eau dans le cours d'eau	16
Figure 2-2 : Localisation des points de mesure	17
Figure 3-1 : Présentation du logiciel hydra et de son interface avec le logiciel Visual Modflow	19
Figure 3-2 : Schéma de modélisation hydrologique et filaire	20
Figure 3-3 : Schéma explicatif des fonctions de production et de transfert (http://hydram.epfl.ch/e-drologie)	22
Figure 3-4 : Modèle hydrologique et hydraulique	23
Figure 3-5 : Stations pluviométriques de Météo France considérées dans la modélisation	24
Figure 3-6 : Coefficients de ruissellement retenus pour la modélisation	25
Figure 3-7 : Type d'ouvrages de régulation présents sur le bassin de l'Authion	27
Figure 3-8 : Volumes annuels prélevés en Loire au droit de la prise d'eau à Saint-Patrice (source : SYDEVA)	30
Figure 3-9 : Volumes annuels prélevés en Loire au droit de la prise d'eau à Varennes-sur-Loire (source : SYDEVA)	30
Figure 3-10 : Volumes annuels prélevés en Loire au droit de la prise d'eau à Saint-Martin-de-la-Place (source : SYDEVA)	30
Figure 3-11 : Localisation des prises d'eau en Loire	31
Figure 3-12 : Schéma fonctionnel des lois hydrologiques utilisées sous Hydra	34
Figure 3-13 : Localisation des stations exploitées pour le calage	36
Figure 3-14 : Occupation du sol du bassin versant de l'Authion (Geoportail)	37
Figure 3-15 : Pédologie du sol du bassin versant de l'Authion (Geoportail)	38
Figure 3-16 : Estimation du coefficient Bet	39
Figure 3-17 : Bilan des flux dans la zone non saturée – exemple sur le Changeon (sous-bassin versant 7)	64
Figure 3-18 : QMNA5 influencés et désinfluencés par UG	67
Figure 3-19 : Ecart des débits influencés et désinfluencés pour la chronique 2001-2021 à l'exutoire du bassin versant (UG1) pour la période avril à novembre	71
Figure 3-20 : Evolution de la recharge en 2020 en situation actuelle (act.), désinfluencée (des.) et désinfluencée + changement climatique (c. c.) – exemple sur le Changeon (sous-bassin versant 7)	74
Figure 3-21 : Localisation des résultats de simulation de l'effet du changement climatique sur les débits dans le projet Explore 2	87

TABLEAUX

Tableau 1 : Volume annuel moyen de la chronique 2001-2021 des prélèvements intégrés dans le modèle superficiel	28
Tableau 2 : Synthèse des prélèvements pris en compte dans le modèle superficiel	29
Tableau 3 : Synthèse des rejets pris en compte dans le modèle superficiel	32
Tableau 4 : Débits caractéristiques par UG en situation actuelle	56
Tableau 5 : Débits caractéristiques par UG en situation désinfluencée	66
Tableau 6 : Ecarts des débits influencés et désinfluencés (% par rapport au débits désinfluencés-réalimentés)	67
Tableau 7 : Synthèse de l'évolution de la recharge pour l'année 2020 – exemple sur le Changeon (sous-bassin versant 7)	74
Tableau 8 : Écart relatif de la moyenne du débit : % de différence entre la période de référence et l'horizon moyen (2041-2070) d'après le scénario 8.5	86

1. CONTEXTE ET OBJET DE L'ÉTUDE

1.1 CONTEXTE GEOGRAPHIQUE



1497 km²
52 communes
6 EPCI
166 000 habitants en 2019

1.1.1 Présentation du bassin versant

Le bassin versant de l'Authion est situé entre les départements du Maine-et-Loire et d'Indre-et-Loire. Ce territoire de 1 497 km² comprend :

- le Val d'Authion, au Sud, qui borde la Loire et présente des pentes très faibles. Son altitude varie entre 17 et 28 m NGF,
- les collines et plateaux au Nord du Val d'Authion, drainés principalement par le Changeon, le Lathan et le Couasnon. Le relief y est plus vallonné avec des pentes comprises entre 5 ‰ et 3 ‰.

1.1.2 Un régime hydraulique et hydrologique contrôlé

Le bassin versant de l'Authion est naturellement sous influence directe de la Loire qui, en période de crue, refoulait autrefois dans la basse vallée de l'Authion, entraînant d'importantes inondations.

Dès le Moyen-âge, des travaux de construction de digues et de portes, empêchant le déversement des hautes eaux de la Loire dans le Val, ont isolé le val d'Authion du lit de la Loire. **La morphologie des cours d'eau a ensuite été modifiée dans le but d'assécher les terres en période de crue et de les irriguer en période d'étiage.**

À partir des années 1970, le val d'Authion est devenu un pôle d'excellence de l'agriculture notamment orientée vers les cultures spécialisées (maraîchage, semences, arboriculture, horticulture). Pour accompagner ce développement, de nombreux chenaux ont été créés pour assainir les surfaces agricoles et les irriguer par adduction d'eau en partie prélevée en Loire puis envoyés dans les réseaux d'irrigation sous pression.

Aujourd'hui, Le Lane, l'Authion et les canaux sont réalimentés en eau par 3 stations de pompage en Loire prélevant **jusqu'à 28 millions de m³/an¹**. Ces pompes sont situées à :

- Saint Patrice (37) ;
- Varennes sur Loire (49) ;
- Saint Martin de la Place (49).

Le barrage des Mousseaux permet également un soutien d'étiage du Lathan (5 Millions de m³).

Ces aménagements ont conduit à un régime hydraulique totalement contrôlé par la régulation d'ouvrages, avec des pentes d'écoulement très faibles à nulles et des sens d'écoulement pouvant s'inverser au gré des règles de gestion des ouvrages. Le régime hydrologique est également

¹ Arrêté inter-préfectoral DIDD-BPEF-2021 N°B9 du 7 avril 2021, révisé tous les 10 ans

modifié avec des débits estivaux soutenus sur le Lathan, supérieurs aux débits de printemps par exemple.

1.1.3 Un bassin versant déficitaire

Les SDAGE successifs du bassin Loire-Bretagne (2010-2015, 2016-2021 et 2022-2027) l'ont désigné comme « bassin nécessitant de prévenir l'apparition d'un déficit quantitatif ».

L'étude de détermination des Volumes Prélevables (VP), réalisée en 2015, a permis de dresser l'identification des unités de gestion (UG) en situation d'équilibre ou de déséquilibre quantitatif. **Ces UG sont le Lathan médian et aval (UG6 & UG7), les Aulnaies (UG4) et le Couason (UG5)**. Les données sur le bassin des trois rus (UG 9) sont insuffisantes pour caractériser l'unité de gestion.

De nombreux cours d'eau situés en amont du bassin versant, et non régulés par le soutien d'étiage, subissent des assècs fréquents.

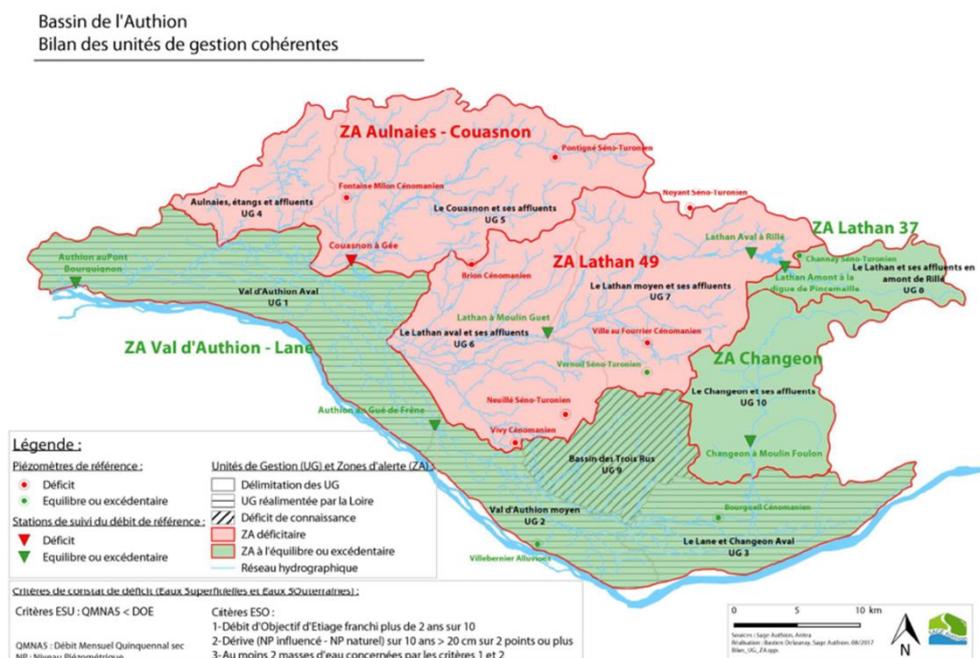


Figure 1-1 : Bilan des unités de gestion et des zones d'alerte (étude de définition des volumes prélevables, SMBA, 2017)

1.1.4 Modification de la limite UG 2 et 3

Le SMBA a fait part de sa volonté de modifier les limites de l'UG 2 et 3 qui devront être intégralement comprises dans le département 49 (UG2 et 37 (UG3), ceci afin de simplifier les autorisations de prélèvements délivrées par les préfectures départementales.

La limite de l'UG 3 était située à la confluence du petit Lane et de l'Authion, la nouvelle délimitation suit les contours des départements.

L'UG 9 a également été modifiée de la même façon et suit désormais les limites départementales.

Le fichiers SIG correspondant est fourni en annexe :

Nom du fichier associé : UG_V3_SETEC (.shp,.spg,.dbf,.prj,.qmd,.shx)

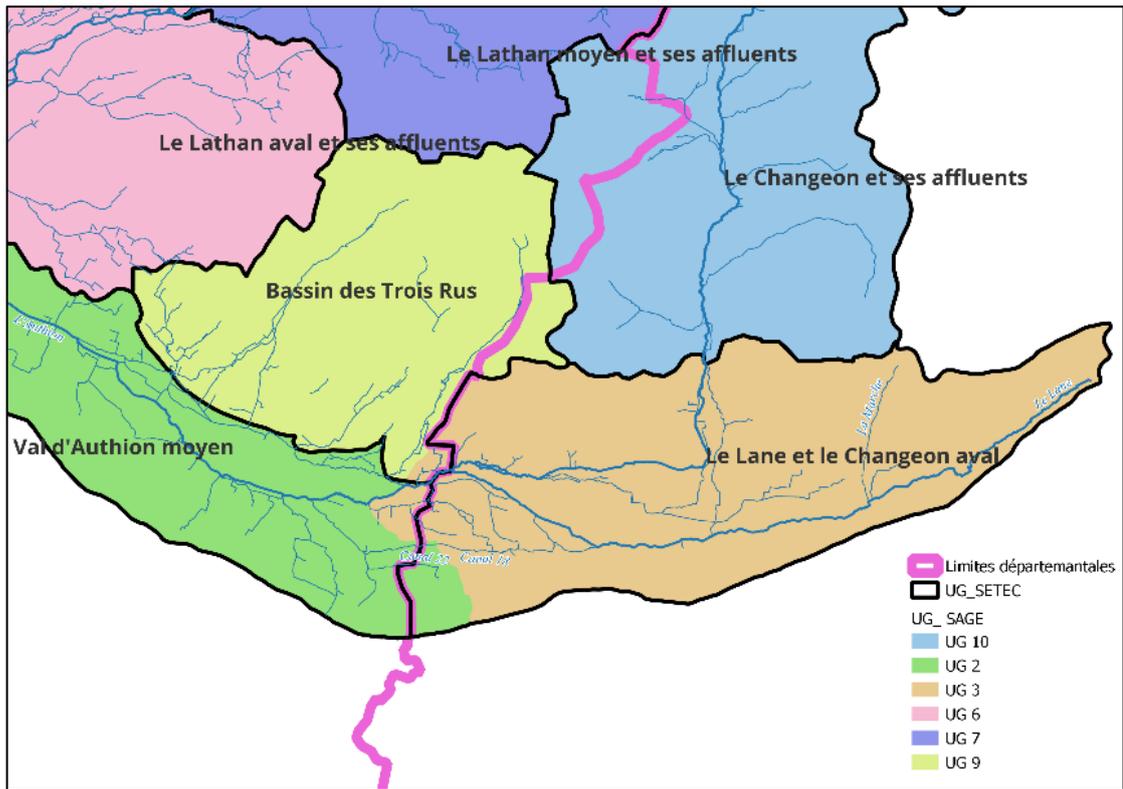


Figure 1-2 : Modification des limites des unités de gestion 2 et 3

UG	NUMERO UG	SURFACE EN KM2
Le Changeon et ses affluents	UG 10	146.17
Le Lane et le Changeon aval	UG 3	130.75
Bassin des Trois Rus	UG 9	95.72
Val d'Authion moyen	UG 2	87.12

1.2 OBJET DE L'ETUDE

L'étude Hydrologie, Milieux, Usages, Climat (HMUC) a pour objectif d'affiner les connaissances sur l'adéquation besoins-ressources, et d'estimer les tendances d'évolution climatique, démographique et économique afin d'adapter au mieux la gestion des ressources en eau.

Les résultats de l'étude HMUC, validés par la Commission Locale de l'Eau (CLE) seront intégrés au Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux (SAGE) pour :

- Ajuster les débits et niveaux piézométriques d'objectifs d'étiage (DOE et POE) ;
- Mettre à jour les volumes prélevables, définis en 2015, et préciser des conditions de prélèvements estivales et hivernales.

Le volume prélevable est défini à l'article R.211-21-1 du code de l'environnement, il correspond au « volume pouvant statistiquement être prélevé huit années sur dix en période de basses eaux dans le milieu naturel aux fins d'usages anthropiques, en respectant le bon fonctionnement des milieux aquatiques dépendant de cette ressource et les objectifs environnementaux du SDAGE.

Il est issu d'une évaluation statistique des besoins minimaux des milieux sur la période de basses eaux. Il est réparti entre les usages, en tenant compte des enjeux environnementaux, économiques et sociaux (...). »

Le débit d'objectif d'étiage est le débit permettant la satisfaction des besoins minimums des milieux (Débits Minimums Biologiques ou DMB) et au-dessus duquel les besoins des usages sont satisfaits.

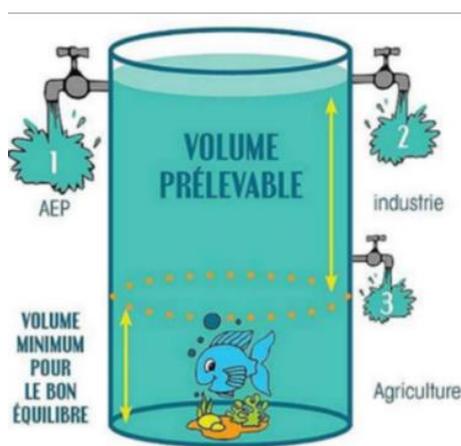


Figure 1-3 : Définition du DMB (source : Office Français de la Biodiversité)

1.3 ORGANISATION GENERALE DE L'ETUDE ET OBJET DE LA PHASE 2

La présente étude comprend 4 phases, décrite dans le schéma présenté en page suivante.

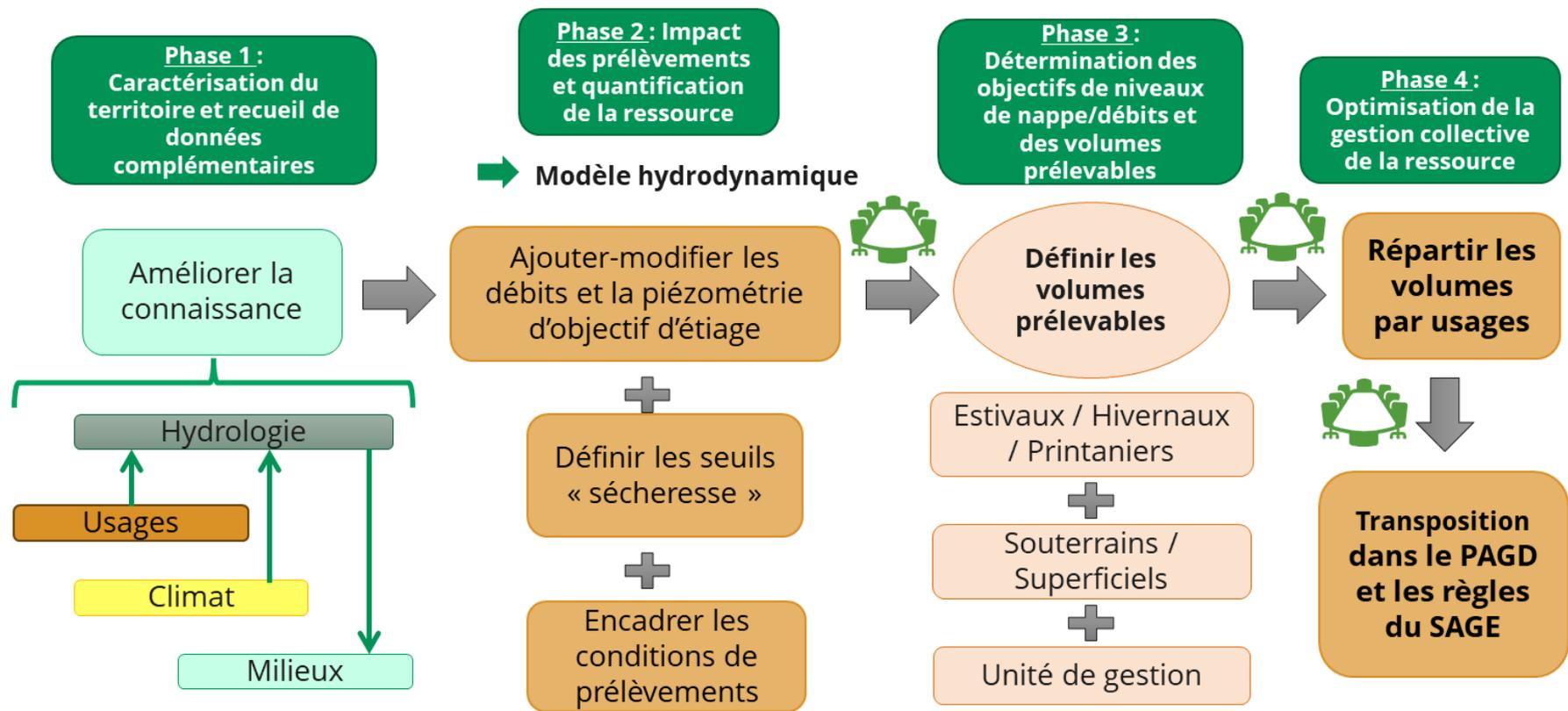


Figure 1-4 : Organisation générale de la présente étude

Le présent rapport concerne la Phase 2 « Impact des prélèvements et quantification de la ressource » de l'étude HMUC.

Dans le cadre de la présente étude, des modélisations hydrologiques et hydrauliques ont été réalisées sur 20 années hydrologiques consécutives (2001-2021). Trois scénarios ont été considérés (situation actuelle, situation sans usages et situation projetée intégrant le changement climatique). La comparaison des résultats a permis de comprendre et de quantifier l'influence anthropique sur la quantité des eaux de surface (évolution passée et évolution prévisible).

Le modèle hydrologique a été calé en se basant sur les données débitmétriques disponibles (suivis journaliers et mesures ponctuelles).

Les résultats du modèle ont permis de compléter les chroniques de données au droit des stations hydrométriques. De cette manière, les grandeurs statistiques seront recalculées de manière plus précise.

Ces résultats de simulation ont été extraits en un réseau de points de référence hydrologiques, qui s'appuie sur le découpage des unités de gestion, afin d'y caractériser les débits.

Ces calculs permettront d'aider à la décision de valeurs pertinentes lors des choix de seuils de gestion.

Les résultats de simulation du modèle superficiel ont également servi à alimenter le modèle souterrain : extraction des tirants d'eau dans les cours d'eau modélisés et des lames d'eau infiltrées vers la nappe souterraine.

2. CONNAISSANCE DE L'HYDROLOGIE SUPERFICIELLE

2.1 DONNEES RELATIVES AU FONCTIONNEMENT HYDROLOGIQUE DES EAUX SUPERFICIELLES

Les chroniques de données ont été complétées depuis l'étude VP de 2012-2015. Les données hydrologiques suivantes ont été collectées :

- Données disponibles sur le bassin de l'Authion issues du suivi réalisé par le SYDEVA au droit des stations hydrométriques automatisées suivantes :
 - L'Authion aux Ponts-de-Cé (2008-2021),
 - L'Authion au Gué de Fresne (2009-2021),
 - Le Couasnon à Gée (2010-2021),
 - Le Lathan au Moulin Guet (2012-2021),
 - Le Lathan aux Mousseaux (2004-2021),
 - Le Lathan à la digue de Pincemaille (2013-2021),
 - Le Lathan à la Moutonnerie (2021),
 - Le Lathan à Rillé amont (2021),
 - Le Changeon au Moulin Foulon (2010-2021).
- Données disponibles sur le bassin de l'Authion issues des jaugeages réalisés par le SYDEVA et le SMBAA (mesures pluriannuelles).
- Données historiques disponibles sur le bassin de l'Authion issues de la banque Hydro Portail au droit des stations suivantes :
 - L'Authion à Longué-Jumelles (L910 0001, 1967-1980),
 - L'Authion aux Ponts-de-Cé (L922 0001, 1967-1972),
 - Les Aulnaies à Bauné (L922 0002 01, 1967-1978),
 - Le Bras du Lathan à Vernantes (L911 0005 01, 1974-1982),
 - Le Changeon à Benais (L900 0006, 1966-1993),
 - Le Couasnon à Gée (L921 0002, 1967-1983),
 - Le Couasnon à Pontigné (L920 0002 01, 1967-1984),
 - Le Gravot à Bourgueil (L900 0004 01, 1967-1971),
 - Le Lane à Saint-Patrice (L900 0005 01, 1966-1996),
 - Le Lathan à Rillé (L911 0004 01, 1967-1980),
 - Le Lathan à Vernantes (L911 0006 01, 1967-1982),
 - Le Tarry à Mazé (L921 0003, 1967-1983).
- Données du suivi des assecs réalisé par l'ONEMA au droit des stations de l'Observatoire national des étiages (Onde).
- Données du suivi des assecs réalisé par le SMBAA.
- Données du suivi du barrage des Mousseaux (cote et débit).
- Données du suivi de la station d'exhaure des Ponts-de-Cé (débit).

Le fonctionnement hydrologique global du système « Authion » a été caractérisé avec :

- Les ouvrages hydrauliques existants,
- La réalimentation par la retenue de Rillé, par la Loire (prélèvements par les stations du SYDEVA, le réseau sous pression Beaufort-Brion-Jumelles),
- Les données hydrologiques disponibles citées précédemment,
- Les données météorologiques mises à jour et réactualisées (auprès de Météo France, de la supervision du SYDEVA notamment).

Le tableau ci-dessous rassemble l'ensemble des points de suivi disponibles.

Figure 2-1 : Points de mesure disponibles ; Q représente le débit du cours d'eau et Z la hauteur d'eau dans le cours d'eau

Point de mesure	Cours d'eau	Localisation	Type de suivi	Type mesure
PM1	Authion	Pont Bourguignon	Q	Mesures automatisées
PM2	Authion	Gué de Fresne	Q, Z	Mesures automatisées
PM3	Couasnon	Gée	Q, Z	Mesures automatisées
PM4	Lathan	Moulin Guet	Q	Mesures automatisées
PM5	Lathan	Mousseaux / Barrage	Q, Z	Mesures automatisées
PM6	Lathan	Digue Pincemaille	Q	Mesures automatisées
PM7	Changeon	Moulin Foulon	Q, Z	Mesures automatisées
PM8	Authion	Station d'exhaure - Les Ponts de Cé	Q	Mesures automatisées
PM9	Authion	Malheur	Q,Z	Jaugeages ponctuels Relevés de cote
PM10	Authion	La Prée	Z	Relevés de cote
PM11	Authion	Les Ecouards	Z	Relevés de cote
PM12	Authion	La Moutaye	Z	Relevés de cote
PM13	Authion	Les Asnières	Z	Relevés de cote
PM14	Authion	Le Poteau	Z	Relevés de cote
PM15	Authion	Les Etrepés	Z	Relevés de cote
PM16	Authion	Le Pont du Gué	Z	Relevés de cote
PM17	Authion	Le Pont de Bois	Z	Relevés de cote
PM18	Authion	La Boire des Roux RD	Z	Relevés de cote
PM19	Authion	La Ronde	Z	Relevés de cote
PM20	Authion	Les Arches	Z	Relevés de cote
PM21	Authion	Pont St René	Z	Relevés de cote
PM22	Authion	Porteau	Z	Relevés de cote
PM23	Authion	Le Grand Buzet	Z	Relevés de cote
PM24	Authion	Les Loges	Z	Relevés de cote
PM25	Authion	Brain sur Authion	Z	Relevés de cote
PM26	Ruisseau des Etangs	Gonne	Q	Jaugeages ponctuels
PM27	Les Loges RD10	RD10	Q	Jaugeages ponctuels
PM28	Automne RD10 (2 bras)	RD10 (2bras)	Q	Jaugeages ponctuels
PM29	Changeon	Moulin Boutard	Q	Jaugeages ponctuels
PM30	Aulnaies	Baune	Q	Jaugeages ponctuels
PM31	Tarry	Gruteau	Q	Jaugeages ponctuels
PM32	Couasnon	Bauge	Q	Jaugeages ponctuels
PM33	Couasnon	Singe	Q	Jaugeages ponctuels
PM34	Changeon	Palluau	Q	Jaugeages ponctuels
PM35	Curee	marais montils	Q	Jaugeages ponctuels
PM36	Curee	Moulin montils	Q	Jaugeages ponctuels
PM37	Lathan	Gue Mallard	Q	Jaugeages ponctuels
PM38	Lathan	Moutonnerie	Q	Jaugeages ponctuels
PM39	Lathan	Pingerie	Q	Jaugeages ponctuels
PM40	Curee amont		Q	Jaugeages ponctuels
PM41	Lathan	Bras Perray	Q	Jaugeages ponctuels
PM42	Lathan	chant oiseau	Q	Jaugeages ponctuels
PM43	Lathan	Chantreau	Q	Jaugeages ponctuels
PM44	Lathan	Bief chantreau	Q	Jaugeages ponctuels
PM45	Lathan	Fortaiserie	Q	Jaugeages ponctuels
PM46	Riverolle	Mouliherne	Q	Jaugeages ponctuels
PM47	Riverolle	Frebot	Q	Jaugeages ponctuels
PM48	Authion	Patillaut	Q	Jaugeages ponctuels
PM49	Loges	Le Peu	Q	Jaugeages ponctuels

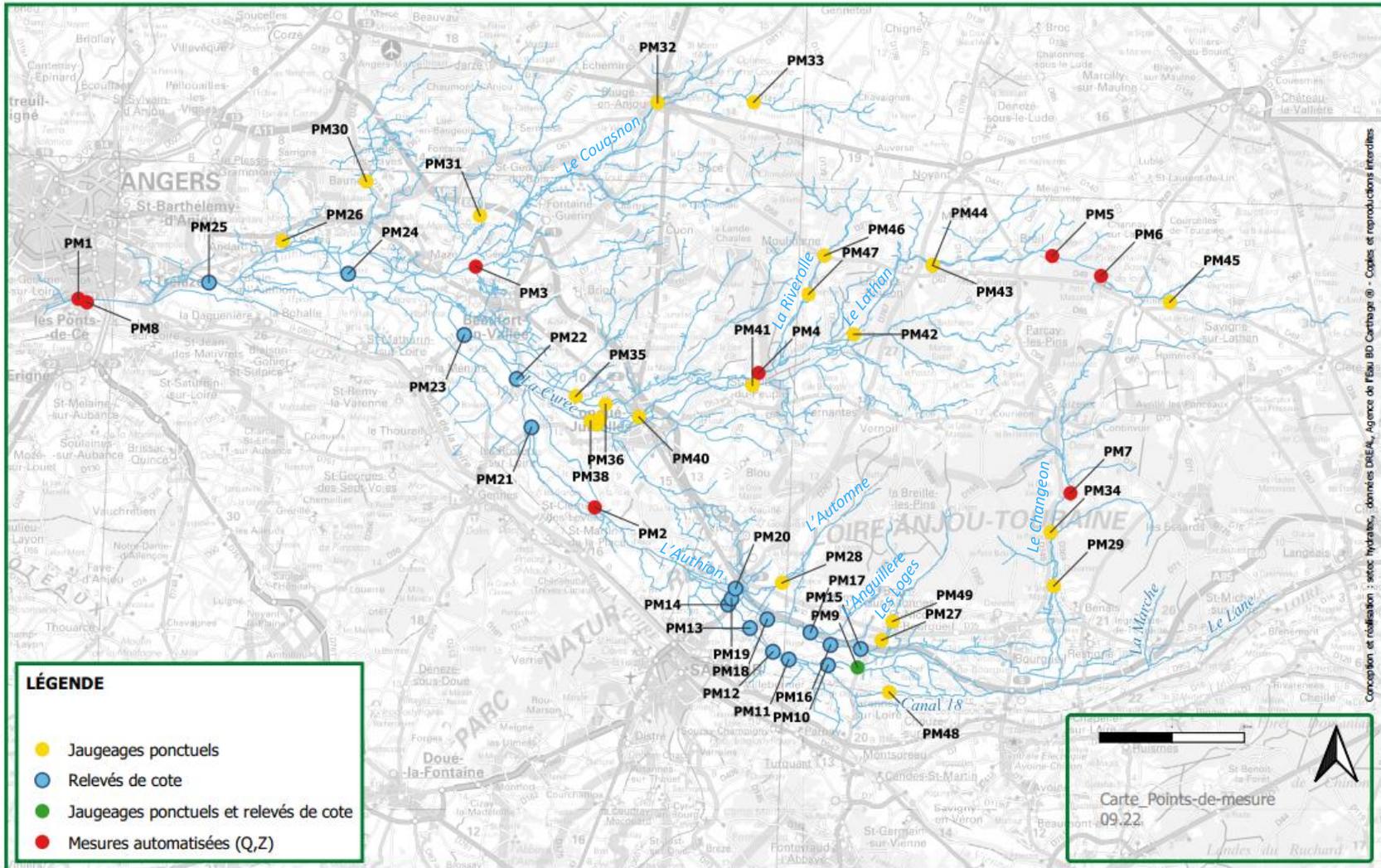


Figure 2-2 : Localisation des points de mesure

2.2 PHASE 1 : CARACTERISATION DU TERRITOIRE ET RECUEIL DES DONNEES COMPLEMENTAIRES - VOLET HYDROLOGIE SUPERFICIELLE

L'hydrologie de l'Authion est complexe, influencée par des prélèvements en Loire, par la retenue des Mousseaux et par une succession d'ouvrages hydrauliques (clapets, vannes, systèmes d'irrigation).

Elle suit des variations saisonnières et interannuelles cohérentes à l'échelle du bassin versant, vis-à-vis des précipitations observées sur le territoire.

Les régimes de crue sont observés notamment en période automnale et hivernale, mais restent rares et peu impactantes. **En revanche, les périodes d'étiage fréquentes et relativement longues ainsi que le nombre élevé des assecs représentent une source de pression importante pour les milieux et les usages.**

L'état des lieux des données hydrologiques existantes et leur analyse ont permis d'approcher les grandeurs statistiques de référence. Les observations mettent en évidence des débits d'étiages sévères pouvant durer plusieurs jours sur les principaux cours d'eau.

L'ensemble des éléments relatifs à l'état des lieux sur le volet hydrologie figure dans le rapport de phase 1 de septembre 2022.

3. MODÉLISATION HYDROLOGIQUE ET HYDRAULIQUE DES ÉCOULEMENTS SUPERFICIELS

3.1 PRESENTATION DU LOGICIEL HYDRA

Dans le cadre de la présente étude, un modèle hydrologique et hydraulique a été mis en œuvre sur 20 années hydrologiques consécutives (2001-2021) dans l'objectif de calculer les débits de référence par unité de gestion à travers trois scénarios : situation actuelle, situation sans usages et situation projetée sans usages en tenant compte du changement climatique.

Le modèle hydrologique et hydraulique 1D a été construit sous le logiciel hydra.

Ce logiciel a été développé par setec hydratec qui améliore depuis plus de 40 ans les méthodes de résolution des équations qui régissent les lois de l'hydraulique pour répondre aux besoins variés de l'ingénierie. Hydra est un outil éprouvé, réputé pour la stabilité de ses modèles numériques. Ce logiciel est totalement immergé dans QGIS permettant de bénéficier de tous ses outils et fonctionnalités.

Pour de plus amples informations, le lecteur est invité à se rendre sur le site internet dédié suivant : <http://hydra-software.net/>

Le schéma ci-dessous présente l'environnement dans lequel opère le logiciel hydra. Un interfaçage a été réalisé avec le modèle souterrain construit sous le logiciel Visual Modflow, afin d'approcher les relations nappes-rivières.

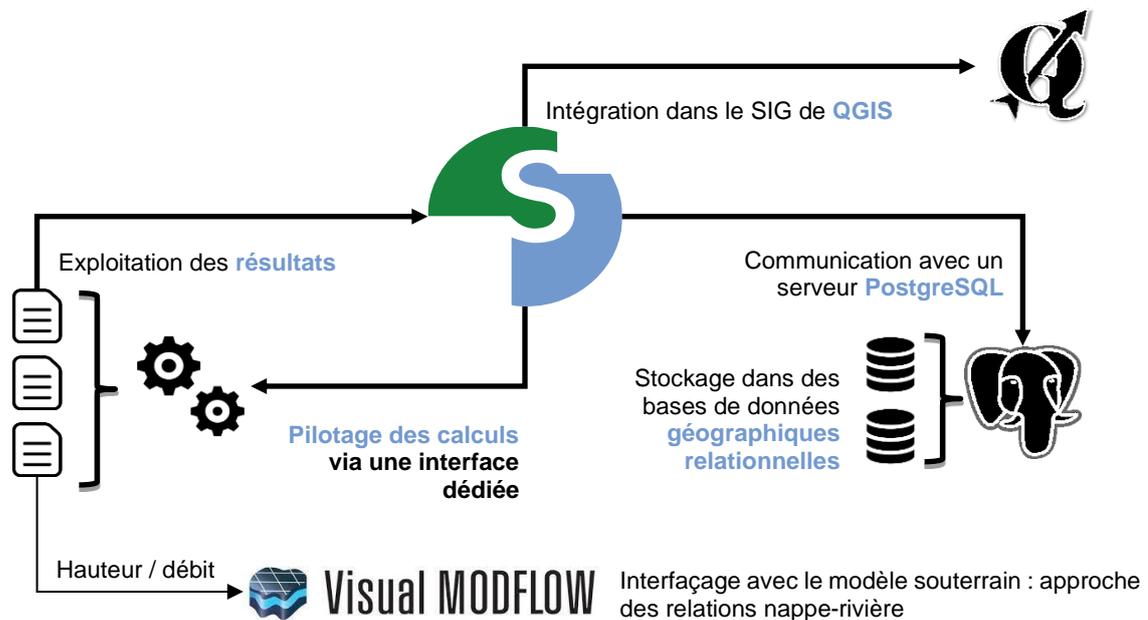


Figure 3-1 : Présentation du logiciel hydra et de son interface avec le logiciel Visual Modflow

3.2 PRINCIPE DE MODELISATION

La modélisation numérique consiste à simplifier un système réel tout en cherchant à représenter les phénomènes physiques complexes associés. La construction des modèles repose sur les caractéristiques intrinsèques du système tels que la géométrie, le relief, l'occupation du sol...

Deux schémas de modélisation ont été mis en œuvre dans cette étude :

- Un modèle hydraulique en filaire (1D) représentant le réseau hydrographique principal. Les équations de Barré de Saint-Venant y sont appliquées.
- Un modèle hydrologique qui a pour objet le calcul des apports en un point du réseau principal à partir :
 - des données pluviométriques,
 - des caractéristiques des bassins versants en amont de ce point,
 - des données géométriques du réseau aboutissant à ce point.

Le modèle global défini sous le logiciel Hydra est composé de deux grands groupes d'entités de modélisation : un sous-ensemble d'arborescences hydrologiques et le réseau hydraulique proprement dit.

L'arborescence hydrologique est connectée à l'aval au réseau hydraulique par l'intermédiaire d'un objet hydrographe. Ce principe d'architecture est illustré par le schéma suivant :

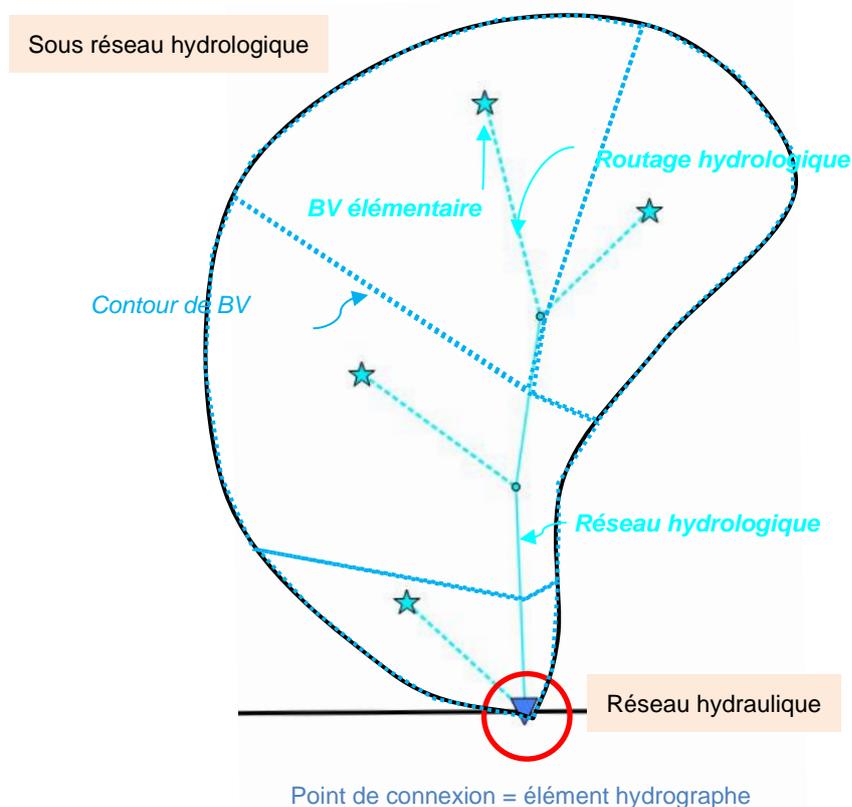


Figure 3-2 : Schéma de modélisation hydrologique et filaire

La méthodologie générale pour la modélisation hydrologique est la suivante :

- **1. Identification du bassin versant global et des sous-bassins versants ;**
- **2. Paramétrage du modèle** pour chaque sous-bassin versant :
 - Identification des bassins versants concernés par une modélisation pluie/débit ;
 - Détermination des données générales : surface, longueur, pente et coefficient d'imperméabilisation ;

- Choix de la fonction de production de la pluie nette : hydra, méthode SCS, coefficient de ruissellement constant... ;
- Choix de la fonction de production du ruissellement à partir du calcul de la pluie nette : méthode du réservoir linéaire basée sur l'application d'une formule de temps de concentration (Desbordes, Passini ou Giandotti) ou méthode de l'hydrogramme unitaire de type Socose ;
- Injection d'un hydrogramme défini.

La méthodologie générale pour la modélisation hydraulique est la suivante :

- **1. Identification des tronçons élémentaires de vallée ;**
- **2. Identification des ouvrages et infrastructures** conditionnant les écoulements ;
- **3. Choix du type de modélisation le plus adapté** (1D (unidimensionnel), 1D à casiers, 1D multifilaire, 2D (bidimensionnel), 1D/2D) en fonction notamment des besoins de l'étude, de la configuration du site, des données disponibles ou pouvant être recueillies et du caractère opérationnel de l'outil (équilibre rapidité/précision des calculs en fonction des scénarios à modéliser et des éventuelles itérations à mener) ;
- **4. Construction du modèle hydraulique** par la représentation des différentes entités pré-identifiées (profils en travers de cours d'eau en 1D, maillage 2D en 1D/2D et 2D...), le renseignement des lois d'échanges entre ces entités, le renseignement des conditions limites et l'intégration des divers ouvrages conditionnant les écoulements ;
- **5. Paramétrage du modèle sur la base des caractéristiques générales** préalablement identifiées (coefficients de rugosités, coefficients de pertes de charge des ouvrages...) ;
- **6. Calage et validation du modèle** sur la base de données mesurées : comparaison des hydrogrammes et des cotes d'eau calculées aux mesures, et ajustement des paramètres du modèle si besoin jusqu'à adéquation des valeurs dans la limite de tolérance fixée ;
- **7. Mise en œuvre du modèle hydraulique ;**
- **8. Exploitation des résultats**

3.3 CONSTRUCTION DU MODELE

3.3.1 Description du modèle hydrologique

Les bassins versants font l'objet d'une modélisation pluie-débit, ayant pour objectif de produire les hydrogrammes de crue au droit de chaque bassin versant à partir des données de pluie réelles.

Les bassins versants sont découpés en fonction du relief et sont caractérisés par les paramètres suivants : la pente, la superficie, la longueur et le coefficient d'imperméabilisation.

Les phases successives réalisées sur la modélisation pluie-débit sont les suivantes :

- le calcul de la pluie brute tombant sur chaque bassin versant élémentaire,
- le calcul de la pluie nette,
- le calcul de ruissellement à l'exutoire de chaque bassin,
- le routage des hydrogrammes le long du réseau secondaire,
- le fonctionnement des ouvrages de stockage (retenues de Rillé et Pincemaille).

Le processus de transformation de la pluie en débit est réalisé en deux étapes distinctes et successives : la production et le transfert.

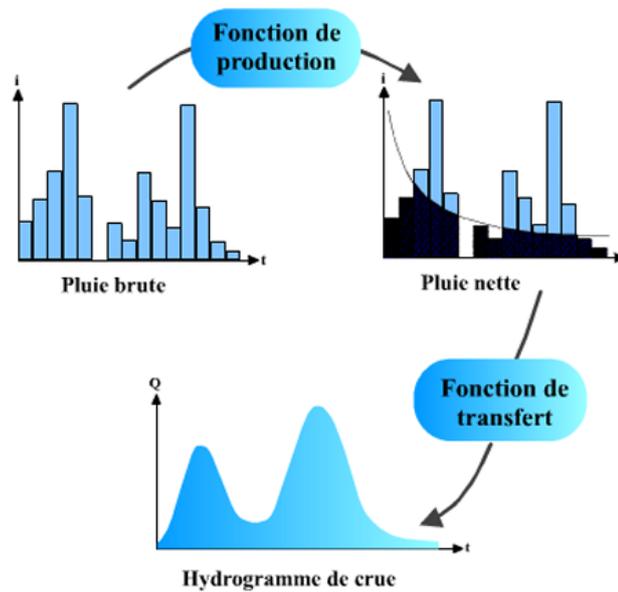


Figure 3-3 : Schéma explicatif des fonctions de production et de transfert (<http://hydram.epfl.ch/e-drologie>)

La fonction de production permet de définir la part de la pluie précipitée qui va effectivement s'écouler à l'exutoire du bassin. Elle soustrait à la pluie brute différentes pertes avant ruissellement comme l'évaporation, la rétention par les végétaux, le stockage dans les dépressions et l'infiltration dans le sol.

La fonction de transfert a pour objectif de transformer la pluie nette en débit à l'exutoire. Elle représente les transformations de l'onde de débit lors de son passage à travers le bassin versant.

Ces deux fonctions seront définies pour chaque bassin versant. Leur choix est détaillé au paragraphe 3.3.5.

3.3.2 Description du modèle hydraulique

Un modèle hydraulique a été nécessaire à mettre en œuvre pour les raisons suivantes :

- Prise en compte des ouvrages structurants exerçant une influence sur la ligne d'eau, et donc sur les tirants d'eau (données d'entrée pour le modèle souterrain) ;
- Prise en compte des ouvrages structurants exerçant une influence sur la répartition des débits sur les différents biefs principaux ;
- Appréciation des échanges nappes/rivières ;

Le modèle hydraulique est couplé au modèle hydrologique. La figure en page suivante présente les modèles hydrologiques et hydrauliques construits pour la présente étude.

La construction du modèle hydraulique s'est basée sur une représentation filaire (1D) du réseau principal. La géométrie des tronçons homogènes repose sur la définition de profils en travers valorisant les relevés topographiques fournis par le maître d'ouvrage.

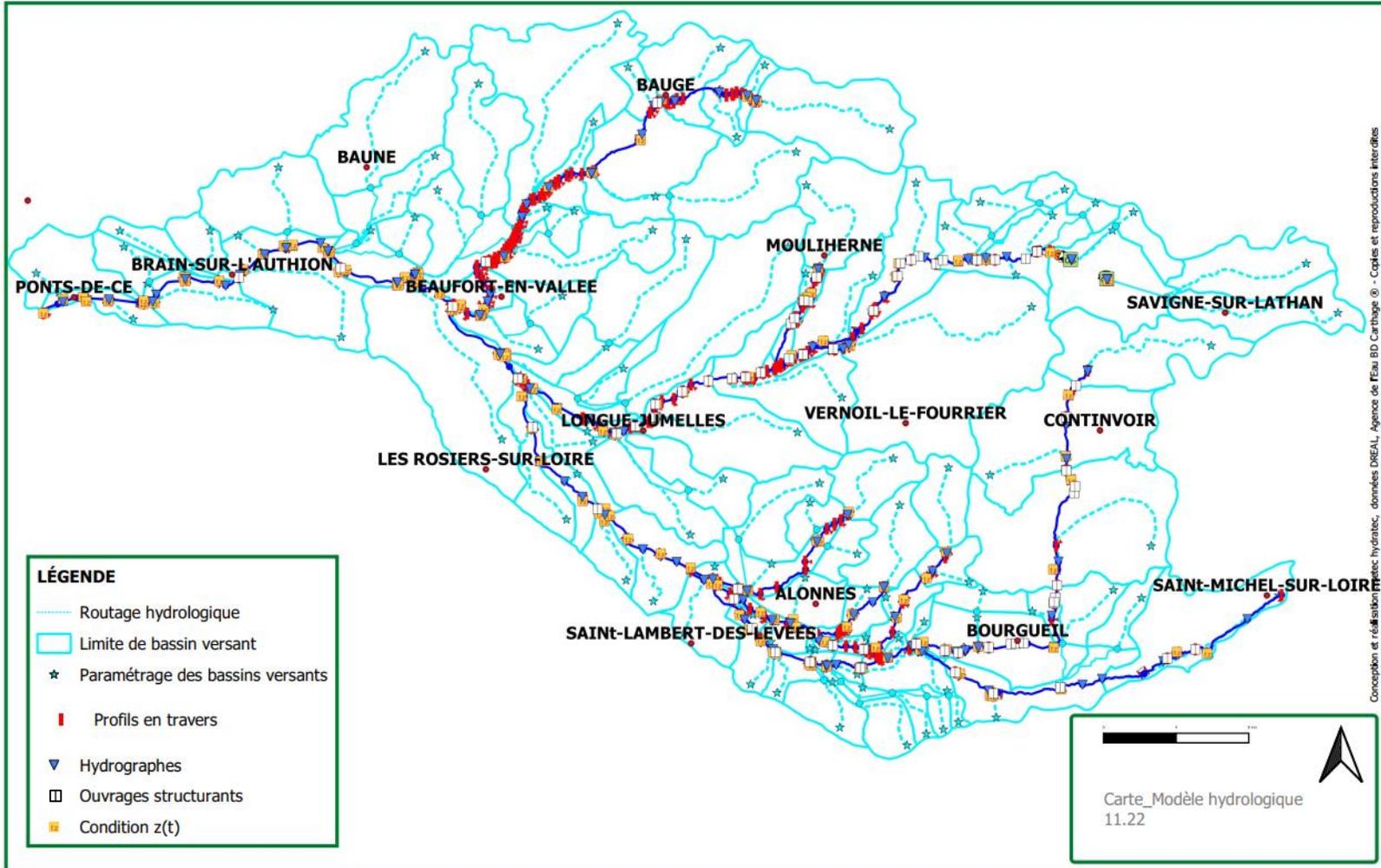


Figure 3-4 : Modèle hydrologique et hydraulique

3.3.3 Données d'entrée

a) Données pluviométriques

Les données pluviométriques journalières gérées par Météo-France ont été récupérées au droit des 5 stations suivantes :

- Fontaine-Guérin (2004-2021)
- Marcé (2001-2021)
- Saint-Mathurin-sur-Loire (2001-2021)
- Vernantes (2001-2021)
- Savigné-sur-Lathan (2001-2021)

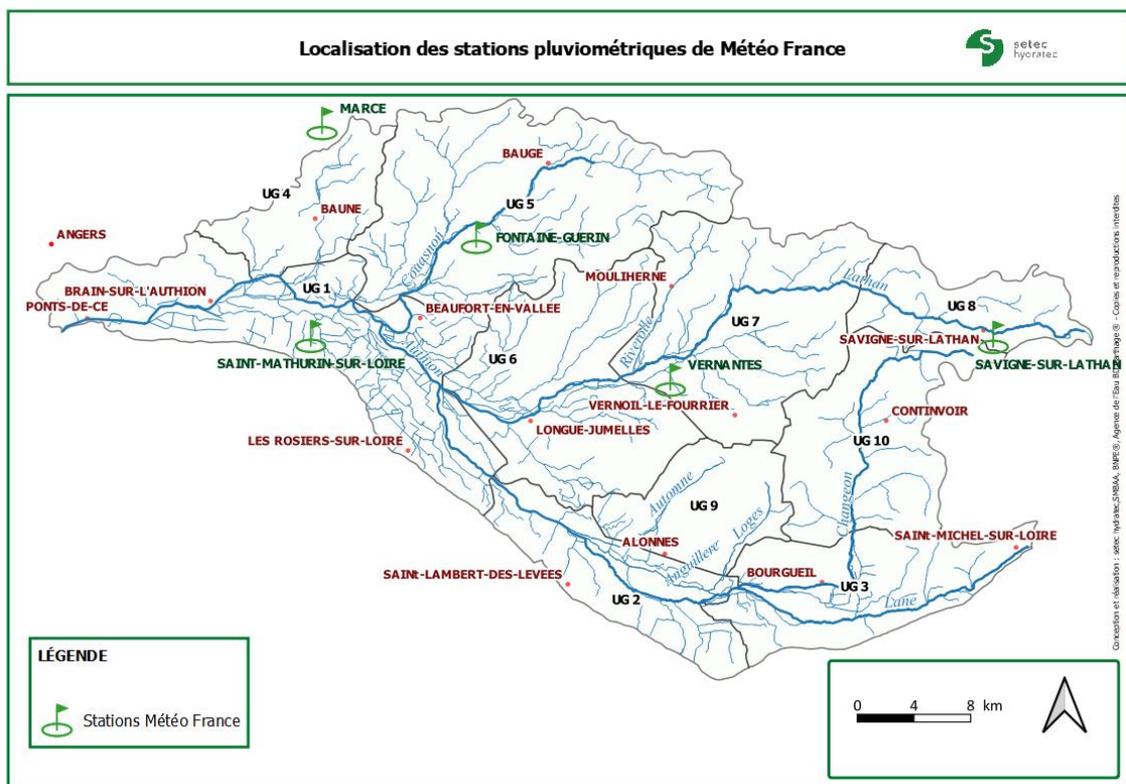


Figure 3-5 : Stations pluviométriques de Météo France considérées dans la modélisation

Ces données alimentent le modèle pluie-débit. La méthode appliquée est celle de la plus proche distance qui consiste à affecter pour chaque bassin versant les données du pluviomètre le plus proche de son barycentre.

Nom du fichier associé : Stations_pluviometriques_2001-2021.xlsx

b) Évapotranspiration

L'évapotranspiration (ETP) est la quantité d'eau transférée vers l'atmosphère, par l'évaporation au niveau du sol et par la transpiration des plantes et s'exprime en millimètres.

Les données d'évapotranspiration issues de Météo-France de la station de Beaucouzé ont été extraites au pas de temps décadaire sur la chronique 2001-2021. Les données ont été calculées sur des points de grille régulière de maille d'environ 12 km. L'ETP est calculée à partir de la formule de Penman-Monteith. Le calcul se fait à partir des paramètres de base (température minimale, température maximale, vitesse moyenne du vent à 10 m ou 2m, tension de vapeur moyenne, insolation, rayonnement global), interpolés par une méthode de type inverse de la distance au carré, au niveau du point de grille, à l'aide des valeurs des 5 stations les plus proches, sans tenir compte de l'altitude.

Le modèle hydrologique ne permet pas de renseigner une ETP spatialisée. Une ETP moyenne a donc été calculée et appliquée dans le modèle.

Nom du fichier associé : ETP_2001-2021.xlsx

c) Occupation du sol

Les coefficients d'occupation des sols retenus pour le calage du modèle proviennent des tableaux de référence associés à la typologie des sols de la base de données Corine Land Cover de 2018. Les valeurs retenues pour le modèle sont décrites dans le tableau suivant. Les coefficients d'imperméabilisation et de ruissellement calculés pour les 107 sous-bassins versants modélisés, ainsi que les caractéristiques générales (pente, longueur, surface) sont renseignées dans le fichier associé.

Figure 3-6 : Coefficients de ruissellement retenus pour la modélisation

Type de sol	Coefficient d'imperméabilisation	Coefficient de ruissellement
Surfaces en eau	0	0
Plans d'eau	0	0
Zones humides	0.01	0.007
Territoires agricoles	0.05	0.035
Terres arables hors périmètres d'irrigation	0.05	0.035
Surfaces essentiellement agricoles, interrompues par des espaces naturels importants	0.05	0.035
Vignobles	0.05	0.035
Vergers et petits fruits	0.05	0.035
Systèmes culturaux et parcellaires complexes	0.05	0.035
Forêts et milieux semi-naturels	0.1	0.07
Espaces verts urbains	0.1	0.07
Équipements sportifs et de loisirs	0.1	0.07
Forêts de conifères	0.1	0.07
Prairies et autres surfaces toujours en herbe à usage agricole	0.1	0.07
Forêts de feuillus	0.1	0.07
Forêt et végétation arbustive en mutation	0.1	0.07
Forêts mélangées	0.1	0.07

Type de sol	Coefficient d'imperméabilisation	Coefficient de ruissellement
Territoires artificialisés	0.5	0.35
Tissu urbain continu	0.5	0.35
Tissu urbain discontinu	0.5	0.35
Zones industrielles ou commerciales et installations publiques	0.5	0.35
Réseaux routier et ferroviaire et espaces associés	0.5	0.35
Extraction de matériaux	0.5	0.35

Nom des fichiers associés :

- Caractérisation des sous-bassins versants : **ss_bassins_versants.xlsx** ;
- Localisation et identification des sous-bassins versants : **ss_bassins_versants.shp**

d) Ouvrages hydrauliques

Deux principaux types d'ouvrages hydrauliques sont présents en parts égales sur le bassin de l'Authion :

- les ouvrages de régulation (nombre : 649) : clapets, vannages, barrages, batardeaux et seuils ;
- les ouvrages de franchissement (nombre : 649) : passages de buse, ponts et passerelles.

Les ouvrages de régulation impactent fortement l'hydrologie des cours d'eau : influence sur la ligne d'eau en amont, régulation des débits, dérivation vers des bras secondaires...

Ils se concentrent principalement sur les bras principaux des cours d'eau (Lane, Authion, Couasnon, Lathan et Changeon), mais sont également présents sur le réseau hydrographique secondaire (l'Automne, l'Anguillère et les Loges (affluents de l'Authion), ruisseau de Saint-Gilles (affluent du Changeon) ...).

Après échange avec le SMBA, il a été convenu de représenter dans le modèle superficiel seulement les ouvrages hydrauliques structurants ayant un impact sur la ligne d'eau supérieur à 50 cm. Ce choix de modélisation a été pris en considérant l'influence des tirants d'eau dans les échanges nappe/rivière. La précision du modèle souterrain n'est pas suffisante pour visualiser l'impact d'une perte de charge sur la ligne d'eau inférieure à 50 cm.

Les données concernant les ouvrages à prendre en compte dans le modèle superficiel ont été fournies par le maître d'ouvrage. Au total, 78 ouvrages présents sur le réseau hydrographique modélisé ont un impact sur la ligne d'eau supérieur à 50 cm. Certaines caractéristiques sont manquantes pour de nombreux ouvrages et ont été définies par différentes méthodes : analyse des données topographiques fournies (levés au droit de l'ouvrage, interpolation des données, approche par le MNT) et analyse cartographique (largeur de l'ouvrage).

Le mode de fonctionnement par régulation du niveau d'eau a été considéré dans la modélisation des ouvrages mobiles. Pour ce mode de fonctionnement, lors des forts débits (notamment l'hiver), le seuil mobile est considéré complètement couché et la loi de seuil est réglée par rapport à la cote radier de l'ouvrage. En régime ordinaire et en période d'étiage, la cote de régulation associée à l'ouvrage est fixe et permet un maintien de la ligne d'eau en amont.

Ouvrages de régulation

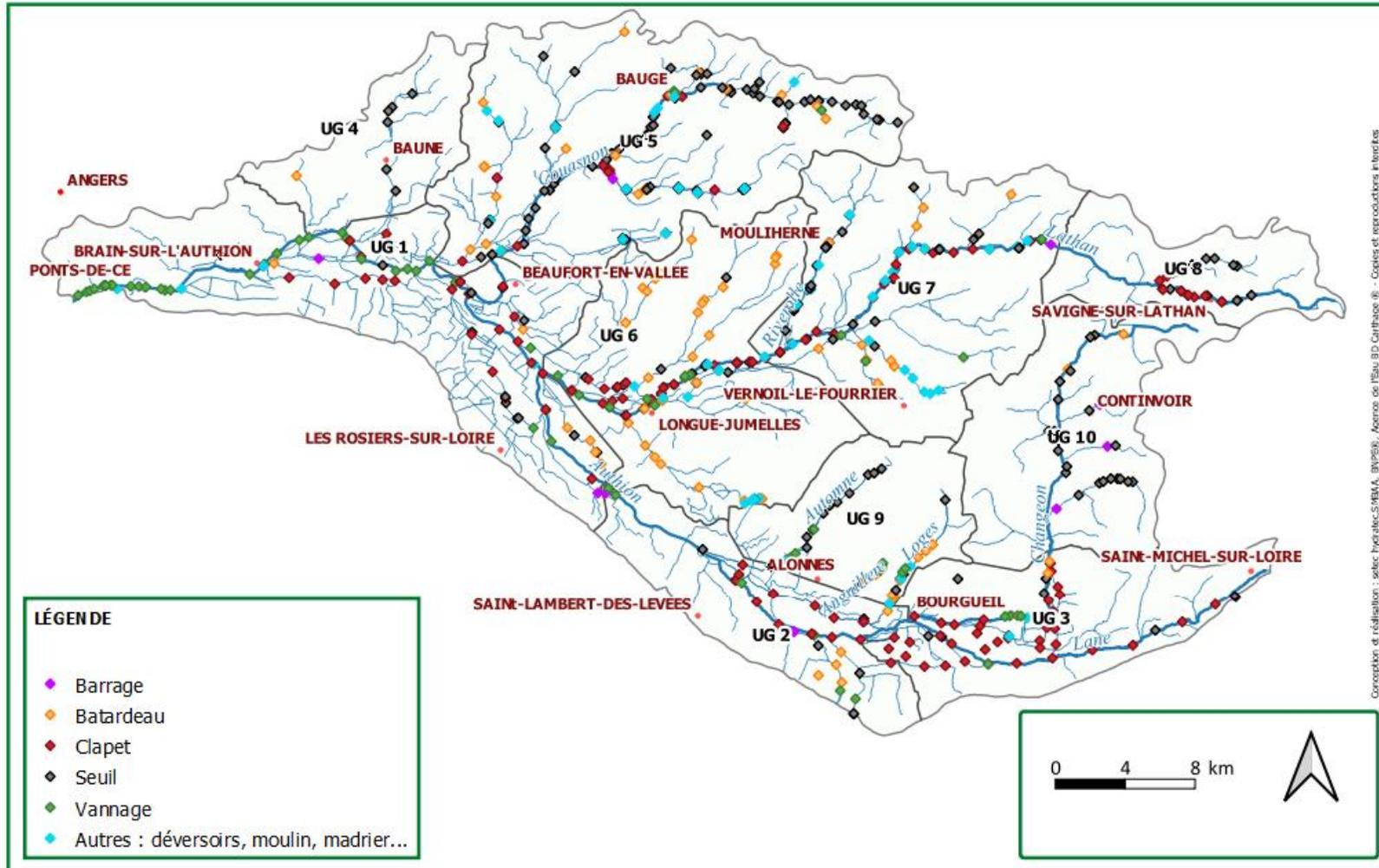


Figure 3-7 : Type d'ouvrages de régulation présents sur le bassin de l'Authion

Nom du fichier associé : Localisation et caractéristiques des ouvrages hydrauliques modélisés sur la base de la couche transmise par le Maître d'ouvrage (les champs préfixés par « join_ » ont été ajoutés) : **Ouvrages_hydrauliques_modele.gpkg**

e) Prélèvements dans les masses d'eau superficielles

Les prélèvements dans les masses d'eau superficielles sur le bassin versant de l'Authion sont d'origine agricole et domestique. Cela concerne trois usages dans l'agriculture : l'irrigation (dont le réseau d'irrigation collectif sous pression de Beaufort-en-Anjou, Brion et Longué-Jumelles (BBJ)), l'alimentation en eau des bétails, et l'aspersion pour la lutte anti-gel déclaré dans le vignoble. Le recueil de ces données a fait l'objet de la phase 1 de la présente étude. Les volumes mensuels ont été convertis en volumes journaliers, en divisant par le nombre de jours par an ou par mois.

	Volume annuel moyen de la chronique 2001-2021
Irrigation	11 000 000 m ³
Aspersion anti-gel déclaré	10 000 m ³
Abreuvement du bétail	800 000 m ³

Tableau 1 : Volume annuel moyen de la chronique 2001-2021 des prélèvements intégrés dans le modèle superficiel

Les simplifications suivantes ont été considérées dans la modélisation hydraulique :

- Les prélèvements domestiques n'ont pas été pris en compte dans le modèle superficiel considérant l'absence de données précises sur la localisation et les volumes prélevés.
- L'ensemble des points de prélèvements dans les cours d'eau ont été regroupés par localisation. Ils ont été rassemblés par tronçon homogène ou par sous-bassin versant. Chaque point de prélèvement global modélisé est situé soit au droit du point le plus en aval, soit à l'exutoire du sous-bassin versant.
- L'abreuvement du détail, dont les volumes ont été estimés à l'échelle des communes du SAGE sont ventilés sur 13 points correspondant aux élevages ICPE (base de données Géorisques).
- Les prélèvements pour l'aspersion anti-gel dans le vignoble sont localisés sur les points de prélèvement déclarés et fournis par le SMBAA. Les volumes estimés sont ventilés sur la période de gel possible (printemps).
- Les prélèvements ont été modélisés par une vanne de régulation pour laquelle un débit de prélèvement est défini en fonction du temps. Ces courbes $x(t)$ ont été définies à partir des volumes mensuels² connus pour chaque point de prélèvement, puis transformés en volume journalier en divisant par le nombre de jours par mois. Cette méthode lisse l'impact des prélèvements. Les prélèvements dans les cours d'eau sont autorisés jusqu'à ce que le tirant d'eau soit nul, c'est-à-dire tant que le cours d'eau n'est pas en assec. Si un assec est observé, aucun prélèvement n'est considéré.
- Les prélèvements dans les retenues se distinguent par leur période de prélèvement (ventilée sur les mois de hautes eaux, cf. rapport de phase 1) et leur mode d'alimentation. Ces volumes d'eau prélevés sont soustraits des hydrogrammes générés par bassin versant concerné, avant l'injection ce dernier dans les cours d'eau modélisés.

² CF rapport de phase 1

Volume (m ³)	Irrigation (prélèvement direct)	Agricole (via des retenues)
UG1 - Authion aval	- 8 500 000	-180 000
UG2 - Authion moyen	-1 700 000	-85 000
UG3 - Lane	-168 000	
UG4 - Aulnaies		
UG5 - Couasnon	-1 000	-210 000
UG6 - Lathan aval	-700 000	-50 000
UG7 - Lathan moyen	-230 000	-150 000
UG8 - Lathan amont Rillé		
UG9 - Trois rus	-7 000	-180 000
UG10 - Changeon	-28 000	

Tableau 2 : Synthèse des prélèvements pris en compte dans le modèle superficiel

Nom des fichiers associés :

- Débits journaliers des prélèvements superficiels : **Prelevements_superficiels_modele.xlsx** ;
- Localisation et identification des prélèvements superficiels : **Prelevements_superficiels_modele.shp**

f) Rejets et alimentation dans les masses d'eau superficielles

- **Prises d'eau en Loire**

Le Val d'Authion est alimenté par des apports d'eau provenant de trois prises d'eau en Loire selon les besoins en eau pour les usages d'irrigation et la disponibilité de la ressource. Les stations sont localisées sur les communes suivantes : Varennes-sur-Loire, Saint-Patrice et Saint-Martin-de-la-Place. Les prélèvements en Loire sont réglementés par l'arrêté inter-préfectoral du 7 avril 2021. Ces données (issues du SYDEVA) ont été fournies par le SMBAA et injectées sous forme d'hydrogramme dans le modèle superficiel.

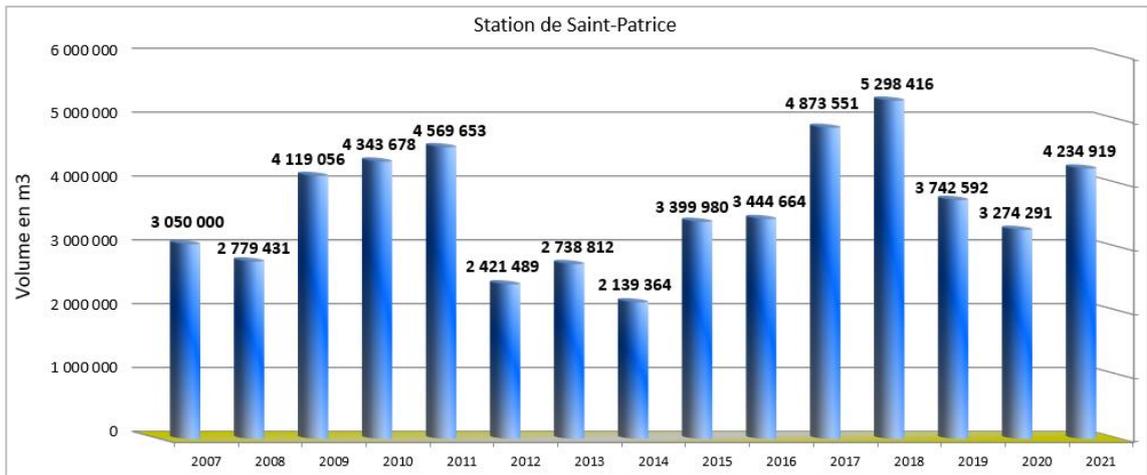


Figure 3-8 : Volumes annuels prélevés en Loire au droit de la prise d'eau à Saint-Patrice (source : SYDEVA)

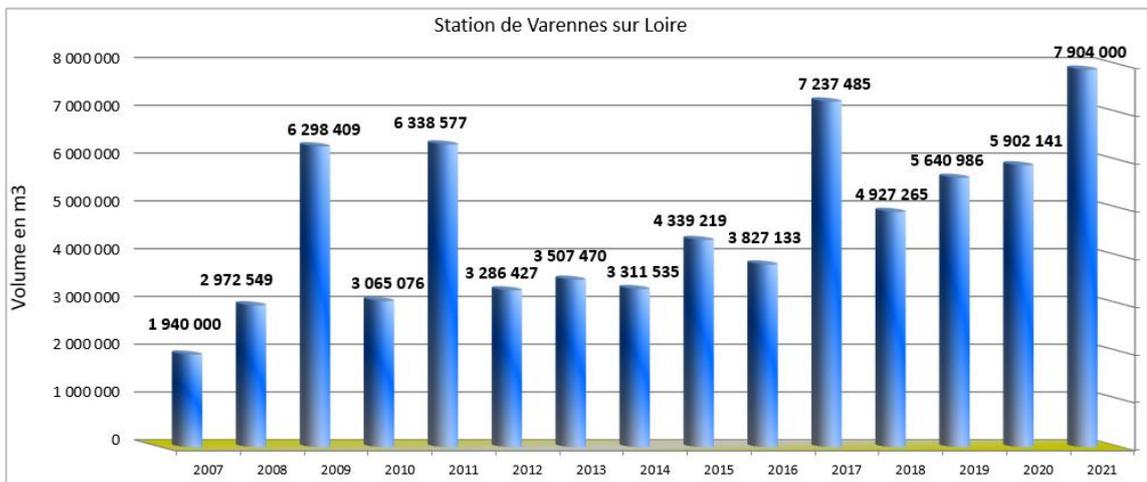


Figure 3-9 : Volumes annuels prélevés en Loire au droit de la prise d'eau à Varennes-sur-Loire (source : SYDEVA)

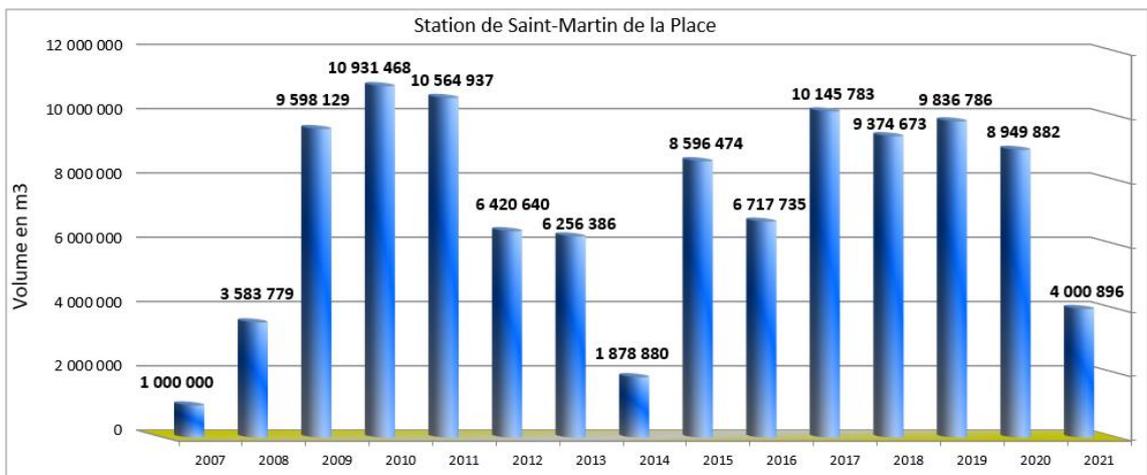


Figure 3-10 : Volumes annuels prélevés en Loire au droit de la prise d'eau à Saint-Martin-de-la-Place (source : SYDEVA)

Sur les périodes estivales, des débits journaliers sont disponibles. En période hivernale, des écoulements en gravitaire sont observés et quantifiés en volume par mois. Une conversion en débit journalier a été faite en divisant par le nombre de jours par mois.

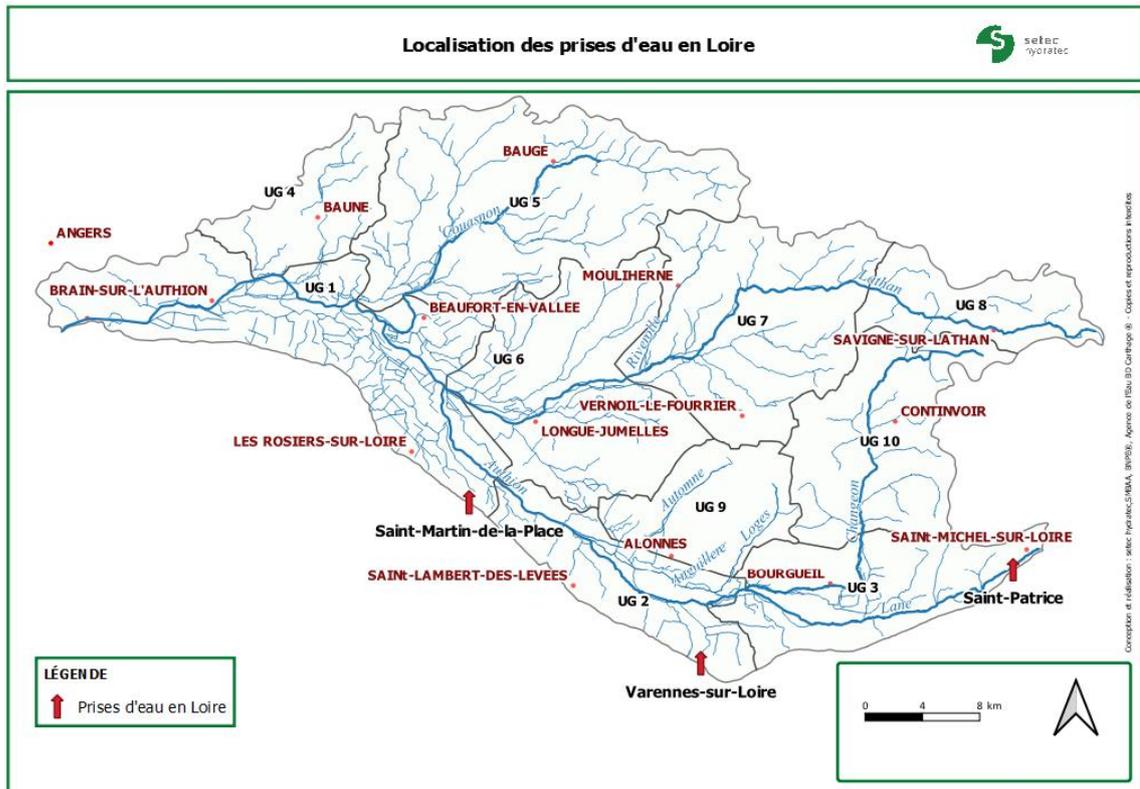


Figure 3-11 : Localisation des prises d'eau en Loire

Nom des fichiers associés : Prises_eau_Loire.xls

- **Rejets de stations d'épuration et des industries**

Les rejets dans les masses d'eau superficielles sur le bassin versant de l'Authion proviennent des stations d'épuration et des industries. Le recueil de ces données a fait l'objet de la phase 1 de la présente étude. Les volumes annuels ou mensuels (selon données) ont été convertis en volume journalier, en divisant par le nombre de jours par an ou par mois.

L'ensemble des points de rejets ont été regroupés par localisation. Ils ont été rassemblés par tronçon homogène ou par sous-bassin versant. Chaque point de rejet global modélisé est situé soit au droit du point le plus en aval, soit à l'exutoire du sous-bassin versant. Les rejets ont été injectés sous forme d'hydrogramme.

La synthèse des rejets pris en compte dans le modèle superficiel, soit les rejets industriels et issus des stations d'épuration, sont recensés au Tableau 3, en page suivante.

Volume (m³/an)	Rejets STEPs	Rejets industriels
UG1 - Authion aval	1 300 000	400 000
UG2 - Authion moyen	100 000	200
UG3 - Lane	500 000	
UG4 - Aulnaies	100 000	400 000
UG5 - Couasnon	600 000	6 000
UG6 - Lathan aval	400 000	300 000
UG7 - Lathan moyen	200 000	10 000
UG8 - Lathan amont Rillé	100 000	
UG9 - Trois rus	200 000	
UG10 - Changeon	30 000	

Tableau 3 : Synthèse des rejets pris en compte dans le modèle superficiel

Nom des fichiers associés :

- Débits journaliers des rejets superficiels : **Rejets_superficiels_modele.xlsx** ;
- Localisation et identification des prélèvements superficiels : **Rejets_superficiels_modele.shp**

- **Rejet de la fosse de Sorges**

La fosse de Sorges est une réserve en eau potable située aux Ponts-de-Cé d'une superficie de 24.3 ha et d'un volume d'environ 326 000 m³. Elle est uniquement alimentée par un pompage en Loire puis rejette le flux par surverse dans l'Authion aux Ponts-de-Cé.

D'après une étude d'Hydratec en 2015, les volumes journaliers pompés pour le remplissage sont de l'ordre de :

- 9 300 m³/j entre mars et mai,
- 32 600 m³/j entre juin et septembre,
- 5 400 m³/j entre novembre et février.

Étant donné que la fosse n'est qu'une réserve de secours, il est estimé que les volumes sortants sont équivalents aux volumes entrants. Ces volumes sont jugés constants entre 2001 et 2021.

- **Retenue des Mousseaux**

Le barrage des Mousseaux est implanté sur le cours d'eau du Lathan et créé une retenue artificielle sur une superficie d'environ 240 ha. En période estivale, le barrage des Mousseaux permet un soutien d'étiage du Lathan. En période hivernale, le barrage des Mousseaux se remplit progressivement jusqu'à sa capacité de stockage maximale d'environ 5 millions m³.

Les débits journaliers (issus du SYDEVA) ont été fournis par le SMBAA et intégrés dans le modèle superficiel. Les données, comprenant le débit sortant et le niveau d'eau de la retenue des Mousseaux, sont complètes sur la chronique 2004-2021. Afin de modéliser correctement la réalimentation du Lathan par la retenue des Mousseaux, les débits du Lathan en aval du barrage des Mousseaux dans le modèle sont égaux aux débits sortants mesurés.

Un manque de données est observé entre 2001 et 2003. Afin d'approcher le débit de sortie du barrage des Mousseaux, la retenue de Rillé (plan d'eau principal) et la retenue de Pincemaille ont été modélisées sous forme de casiers définis par une loi cote/surface basée sur les courbes de remplissage fournies par le maître d'ouvrage. Les ouvrages de sortie et l'évacuateur de crue ont également été renseignés respectivement sous la forme de vanne et de seuil.

Compte tenu de l'absence de données sur la gestion des vannes, il n'est pas possible de modéliser précisément la réalimentation du Lathan sur cette période.

Nom du fichier associé : Mousseaux_2001-2021.xlsx

3.3.4 Conditions aux limites

a) Conditions limite amont

Les conditions aux limites en amont du modèle sont représentées par des hydrographes représentant les apports des bassins versants amont. Les hydrogrammes injectés sont issus de la modélisation pluie/débit.

Afin de modéliser l'état initial du cours d'eau (zones de sources), un débit de base a été injecté en amont des branches hydrauliques. La connaissance des débits de base est lacunaire, de ce fait, les débits de base sont des paramètres de calage dans le modèle superficiel.

Dans le logiciel Hydra, le débit de base est simplifié et correspond à un paramètre constant.

Afin d'optimiser le calage, notamment en période d'étiage, les débits de base injectés s'élèvent à 0.07 m³/s pour le Changeon et 0.1 m³/s pour le Couasnon. Sur les autres cours d'eau, aucun débit de base n'a été renseigné car le cumul des rejets des stations d'épuration des eaux usées et des industries correspondaient aux débits observés à l'étiage.

L'évaluation du débit de base reste une zone d'incertitude en raison du fonctionnement complexe des échanges nappes / rivière. Ce paramètre constitue une piste d'amélioration dans le modèle superficiel.

b) Conditions limite aval

La condition aux limites en aval du modèle est représentée par une loi $z(t)$ correspondant aux suivis journaliers de la cote d'eau de la Loire au droit de la station hydrologique des Ponts-de-Cé (L870 0010 10) entre 2001 et 2021 (Hydroportail). La qualité des données est bonne de 2000 à 2012, et pour 2019. Les données sont provisoires entre 2013 et 2018, et pour 2020 et 2021. Elles ont été retenues à défaut de données plus précises.

3.3.5 Sélection des lois hydrologiques

a) Bassins versants à dominance urbaine

Les bassins versants à dominance urbaine ont un réseau hydrographique semblable à des réseaux d'eaux pluviales. Quatre bassins versants urbains ont été modélisés dans le modèle et se situent sur l'agglomération d'Angers.

La fonction de production de la pluie nette qui a été choisie est la fonction à coefficient de ruissellement constant.

La valeur des coefficients de ruissellement croît avec l'intensité des précipitations, mais cette valeur diffère selon le degré de perméabilité et de rétention des sols constituant le bassin. Un bassin versant urbain très imperméable aura un coefficient de ruissellement qui augmentera peu en fonction de la période de retour considérée.

La fonction de production du débit ruisselé (Q_{res}) retenue pour les bassins versants urbains est la méthode du réservoir linéaire associée à la formule du temps de concentration de Desbordes.

b) Bassins versants à dominance rurale

La formulation du module hydrologique développée sous Hydra est illustrée par le schéma fonctionnel ci-dessous.

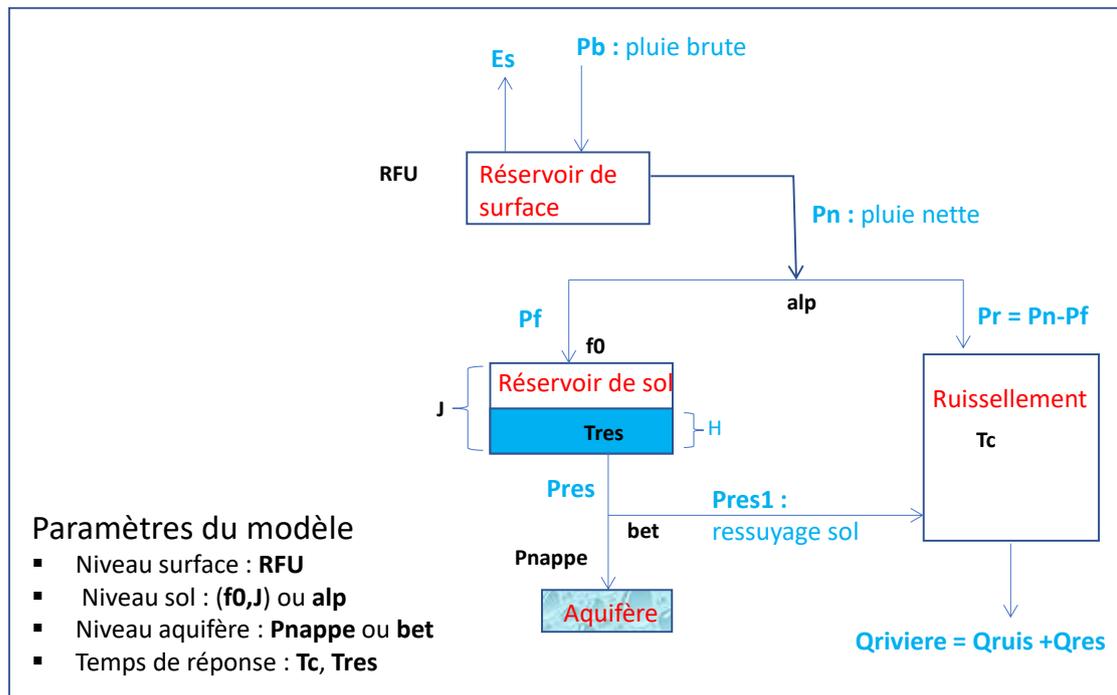


Figure 3-12 : Schéma fonctionnel des lois hydrologiques utilisées sous Hydra

Cette formulation permet de panacher différentes options selon la nature de sols.

Pour le calage du modèle superficiel de l'Authion, il a été retenu :

- Une loi de partage de la pluie nette P_n entre infiltration du sol (P_f) et ruissellement (P_r) réglée par un paramètre de calage **alp**, à savoir : $P_r = \text{alp} \times P_n$ et $P_f = (1 - \text{alp}) \times P_n$
- Une loi de partage du débit restitué par le réservoir de sol (P_{res}) entre le débit de ressuyage du sol (P_{res1}) et la nappe aquifère (P_{nappe}) réglée par le paramètre de calage **bet**, à savoir : $P_{res1} = \text{bet} \times P_{res}$ et $P_{nappe} = (1 - \text{bet}) \times P_{res}$.

Le calage du modèle revient à ajuster au mieux ces deux paramètres **alp** et **bet** pour chaque bassin versant.

Le temps de ressuyage T_{res} retenu est 30 jours.

La fonction de production du ruissellement à partir du calcul de la pluie nette repose sur la méthode de l'hydrogramme unitaire de type Socose qui s'applique préférentiellement à des

bassins ruraux. La loi utilisée pour le calcul du temps de concentration est celle de Mockus dont le domaine de validité ci-après correspond globalement aux sous bassins versants représentés :

- 4 ha < S < 1000 ha
- Pente < 1 %
- Sols superficiels limoneux ou argileux.

Les bassins versants du bassin versant de l'Authion satisfont ces conditions.

La formule de Mockus se définit par : $T_c = 60 * \frac{L^{0.8} * \left(\frac{1000}{CN} - 9\right)^{1.67}}{2083 * \sqrt{100P}}$

Où le numéro de courbe CN est approximé par $CN = \frac{1000}{10 + \frac{RFU}{25.4}}$;

T_c, L, P et RFU correspondent respectivement au temps de concentration, la longueur, la pente et la réserve facilement utilisable du bassin versant.

3.4 CALAGE

3.4.1 Préambule

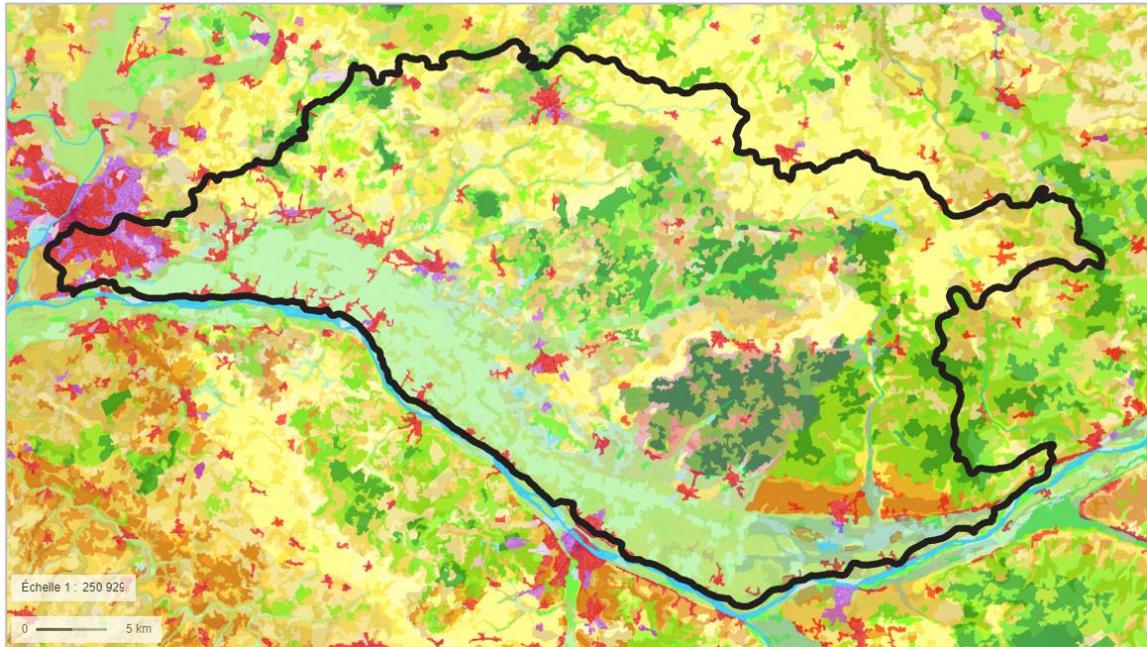
La phase de calage consiste à ajuster les paramètres du modèle hydrologique et hydraulique afin de minimiser les écarts entre l'hydrogramme calculé et l'hydrogramme mesuré.

Ce paragraphe décrit la démarche de calage du modèle hydrologique et hydraulique du bassin versant de l'Authion et présente les résultats de calage obtenus pour les périodes suivantes : septembre 2018 – décembre 2019 (année avec un été plutôt sec) et septembre 2020 – décembre 2021 (année avec un été plutôt humide). Le choix de ces années a fait l'objet d'échange et d'une validation par le Maître d'ouvrage.

Le problème principal posé par le calage consiste à proposer une formulation des lois hydrologiques adaptées aux spécificités physiques du bassin versant de l'Authion.

Le modèle hydrologique et hydraulique a été calé à partir des mesures de débit et de niveaux d'eau relevés sur les périodes de calage. Les points de mesures de débit en continu sont repérés sur la carte ci-dessous. Les stations exploitées pour le calage sont :

- PM1 : l'Authion au Pont Bourguignon,
- PM2 : l'Authion au Gué de Fresne,
- PM3 : le Couasnon à Gée,
- PM4 : le Lathan au Moulin Guet,
- PM5 : le Lathan au barrage des Mousseaux,
- PM7 : le Changeon au Moulin Foulon.



- | | |
|--|--|
| ■ Tissu urbain continu | ■ Surfaces essentiellement agricoles, interrompues par des espaces naturels importants |
| ■ Tissu urbain discontinu | ■ Territoires agroforestiers |
| ■ Zones industrielles ou commerciales et installations publiques | ■ Forêts de feuillus |
| ■ Réseaux routier et ferroviaire et espaces associés | ■ Forêts de conifères |
| ■ Zones portuaires | ■ Forêts mélangées |
| ■ Aéroports | ■ Pelouses et pâturages naturels |
| ■ Extraction de matériaux | ■ Landes et broussailles |
| ■ Décharges | ■ Végétation sclérophylle |
| ■ Chantiers | ■ Forêt et végétation arbustive en mutation |
| ■ Espaces verts urbains | ■ Plages, dunes et sable |
| ■ Equipements sportifs et de loisirs | ■ Roches nues |
| ■ Terres arables hors périmètres d'irrigation | ■ Végétation clairsemée |
| ■ Périmètres irrigués en permanence | ■ Zones incendiées |
| ■ Rizières | ■ Glaciers et neiges éternelles |
| ■ Vignobles | ■ Marais intérieurs |
| ■ Vergers et petits fruits | ■ Tourbières |
| ■ Oliveraies | ■ Marais maritimes |
| ■ Prairies et autres surfaces toujours en herbe à usage agricole | ■ Marais salants |
| ■ Cultures annuelles associées à des cultures permanentes | ■ Zones intertidales |
| ■ Systèmes culturaux et parcellaires complexes | ■ Cours et voies d'eau |
| | ■ Plans d'eau |
| | ■ Lagunes littorales |
| | ■ Estuaires |
| | ■ Mers et océans |

Figure 3-14 : Occupation du sol du bassin versant de l'Aulnoye (Geoportail)

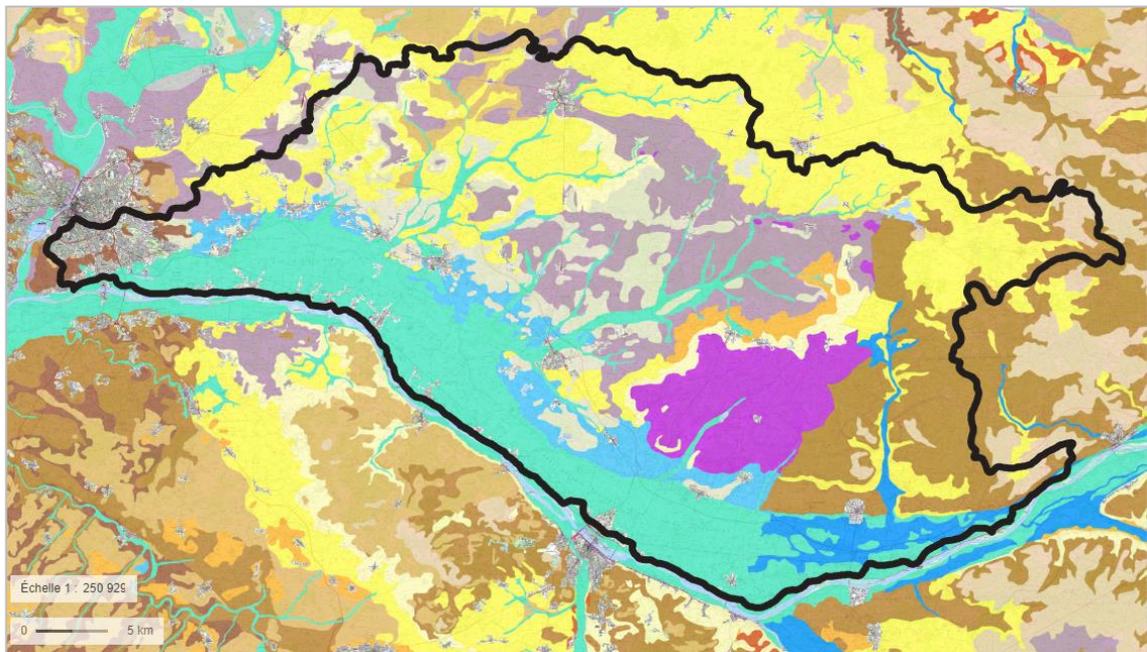


Figure 3-15 : Pédologie du sol du bassin versant de l'Authion (Geoportail)

Les terrains sont à dominante agricole. Les sols sous-jacents sont dans l'ensemble perméables. Ainsi, une forte proportion de la pluie nette est captée directement par la nappe aquifère sans rejoindre le réseau hydrographique superficiel.

3.4.3 Ajustement des paramètres hydrologiques

Il est nécessaire d'exploiter les chroniques de débits et de pluie disponibles.

Le paramètre **alp** est ajusté pour reproduire le mieux possible les pointes ponctuelles de débit générées par le ruissellement.

La valeur retenue est égale à :

- 0.14 pour les bassins versants de la vallée du Couason,
- 0.1 pour les bassins versants en amont du barrage des Mousseaux,
- 0.05 pour tous les autres bassins versants.

Le paramètre **Bet** a été ajusté pour chaque station de contrôle en comparant le volume net écoulé au droit de chaque station (V_{NET}) avec le volume associé à la pluie moyenne nette (P_{NET}). Les ratios pour l'année 2019 sont les suivants :

Station	S_{BV} (km ²)	V_{TOT} (Mm ³)	Q_{BASE} (m ³ /s)	V_{BASE} (Mm ³)	V_{NET} (Mm ³)	V_{NET} (mm)	P_{NET} (mm)	Bet
PM1	1488	180	2.8	88.30	91.70	61.63	212	0.29
PM2	492	17	0.1	3.15	13.85	28.14	221	0.13
PM3	221	19	0.1	3.15	15.85	71.70	169	0.42
PM4	296	23	0.28	8.83	14.17	47.87	245	0.20

Avec : S_{BV} : Surface du bassin versant

V_{TOT} : Volume d'eau total produit par le bassin versant

Q_{BASE} : Débit de base

V_{BASE} : Volume d'eau associé au débit de base

V_{NET} : Volume d'eau net

P_{NET} : Pluie nette

Figure 3-16 : Estimation du coefficient Bet

Après ajustement du modèle, il a été retenu les valeurs suivantes :

- Bassins versants du Val d'Authion, du Lathan médian et aval et du Changeon : **bet** = 0.3.

De cet ajustement des bassins versants du Val d'Authion, du Lathan médian et aval et du Changeon, il apparait que 70 % des apports d'infiltration dans le sol intermédiaire sont captés par la nappe aquifère et ne rejoignent pas le cours d'eau à l'échelle de l'année hydrologique.

- Bassins versants du Couason, Lathan amont, Automne, Anguillère, Loges et Lane amont : **bet** = 0.4 - 0.7.

Pour les autres bassins versants, 30 % à 60 % des apports d'infiltration dans le sol sont captés par la nappe aquifère et ne rejoignent pas le cours d'eau.

3.4.4 Résultats du calage

Le calage a été réalisé sur les chroniques des périodes suivantes : sept. 2018 – déc. 2019, et sept. 2020 – déc. 2021.

Les graphes présentés en pages suivantes montrent les comparaisons d'hydrogrammes obtenus au droit de chaque station débitométrique sur les périodes de calage. Les paramètres calculés en en bas à gauche de chaque graphe correspondent :

- Volume : volume d'eau total calculé la période commune de la chronique simulée et mesurée

- Débit max : débit max observé sur la chronique simulée et mesurée
- Nash (Y) : critère de Nash. C' est un indicateur de la qualité du calage. Ce critère a tendance à donner une grande importance aux écarts entre les débits de crue simulés et observés. La formule est la suivante :

$$Nash = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{obs,i} - Q_{calc,i})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{obs,i} - \overline{Q_{obs}})^2}$$

$Q_{obs,i}$: Débits observés au pas de temps i ,

$Q_{calc,i}$: Débits simulés au pas de temps i ,

$\overline{Q_{obs}}$: Moyenne des débits observés sur la période,

n : Nombre total de pas de temps de la période d'étude.

- Nash (\sqrt{Y}) : critère de Nash calculé sur les racines carrées des débits. Ce critère est assez général et donne un poids similaire à la simulation des débits de crues et d'étiages. Ce critère donne plus d'importance aux étiages, ce qui le rend intéressant dans l'évaluation des performances du modèle.
- Nash (ln(Y)) : critère de Nash calculé sur les logarithmes des débits.

a) Période de septembre 2018 à décembre 2019

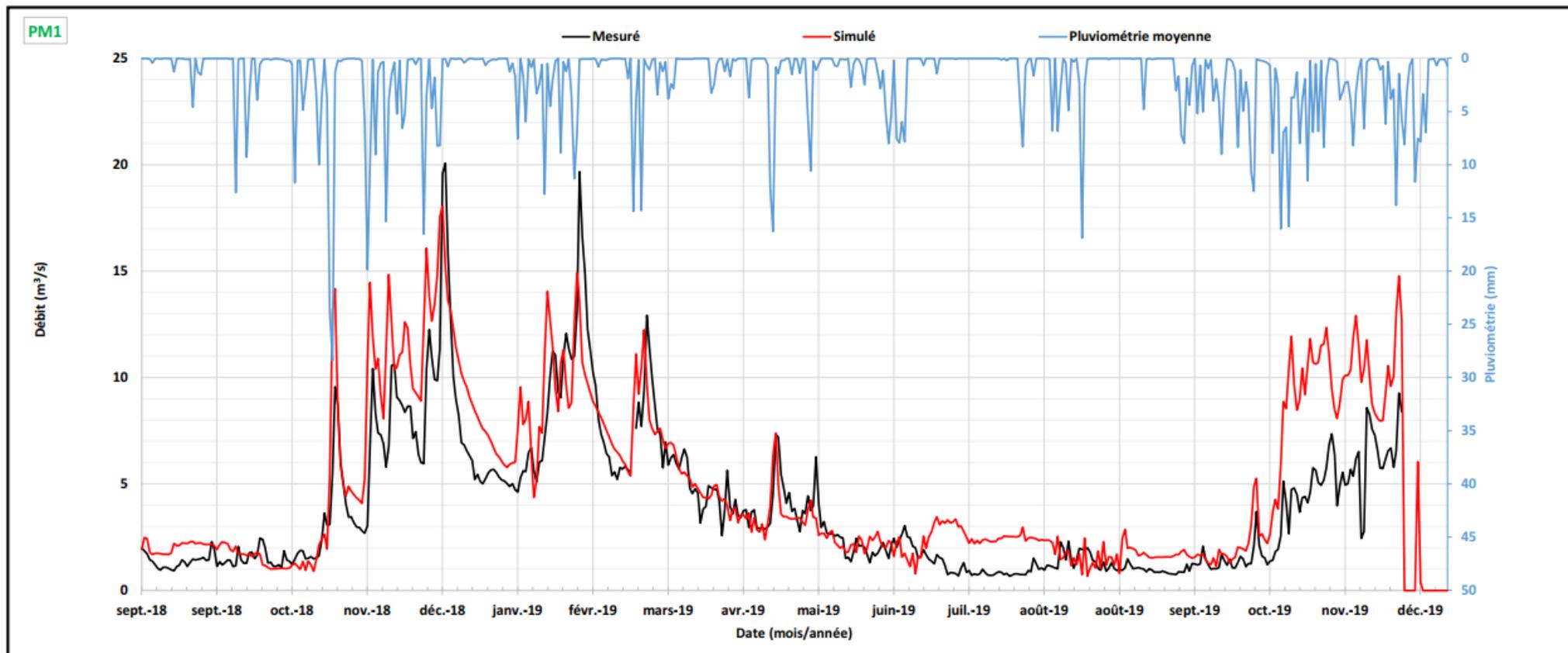
Cette période a été marquée par une pluviométrie moyenne de 940 mm, dont 673 mm enregistrée en 2019, répartie surtout en période hivernale et automnale de 2019.

L'analyse de ces graphiques montre des divergences locales, mais les résultats sont globalement satisfaisants sur la forme générale des hydrogrammes et sur les débits de base : le calage du modèle a permis de traduire correctement les processus hydrologiques à l'œuvre dans le bassin de l'Authion. Les valeurs de Nash (valeurs moyennes) calculées pour chaque station sont les suivantes :

- Authion au Pont Bourguignon : 65.1
- Authion au Gué de Fresne : 71.6
- Couasnon à Gée : 78.4
- Lathan au Moulin Guet : 63.5
- Lathan à la digue de Pincemaille : 70.5
- Changeon au Moulin Foulon : 83.8

Il est à noter que des écarts entre les débits simulés et mesurés ont été observés à la station PM1 entre les mois de juin et août 2019. En période d'étiage, une partie du débit de l'Authion s'infiltrait vers la nappe aux Ponts-de-Cé. Compte tenu de leur complexité, ces pertes naturelles n'ont pas pu être modélisées.

Calage pour 2019

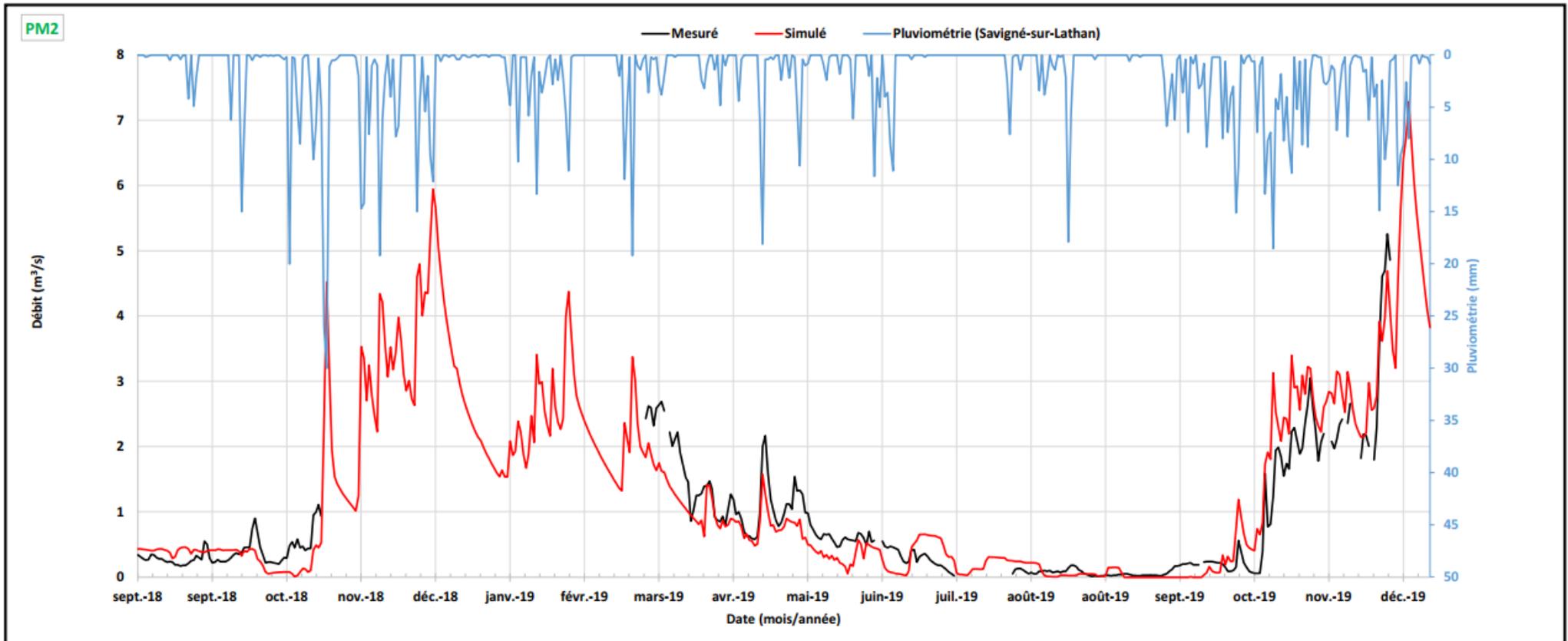


	Mesuré	Simulé	Ecart (%)
Volume (m3)	158 475 744	202 539 198	27.8
Débit max (m3/s)	20.07	18.05	10.0
Nash(Y)	<i>(valeurs fortes)</i>		55.9
Nash(√Y)	<i>(valeurs moyennes)</i>		65.1
Nash(ln(Y))	<i>(valeurs faibles)</i>		63.7

Commentaire :
 Hausse du débit en été liée aux pertes naturelles par infiltration dans le Val d'Authion (non modélisées)
 Mesures incertaines sur les débits d'étiage
 Hausse du débit à l'automne (cumul des apports importants provenant des bassins versants amont)
 Manoeuvre de l'ouvrage à l'automne 2019 : mesures non représentatives
 Résultats sur la période sept 2018 à juin 2019 satisfaisants

Référence : 51618
 Projet : authion_v3
 Modèle : authion_act
 Scénario : calage_2019
 Date : mai 2023

Calage pour 2019



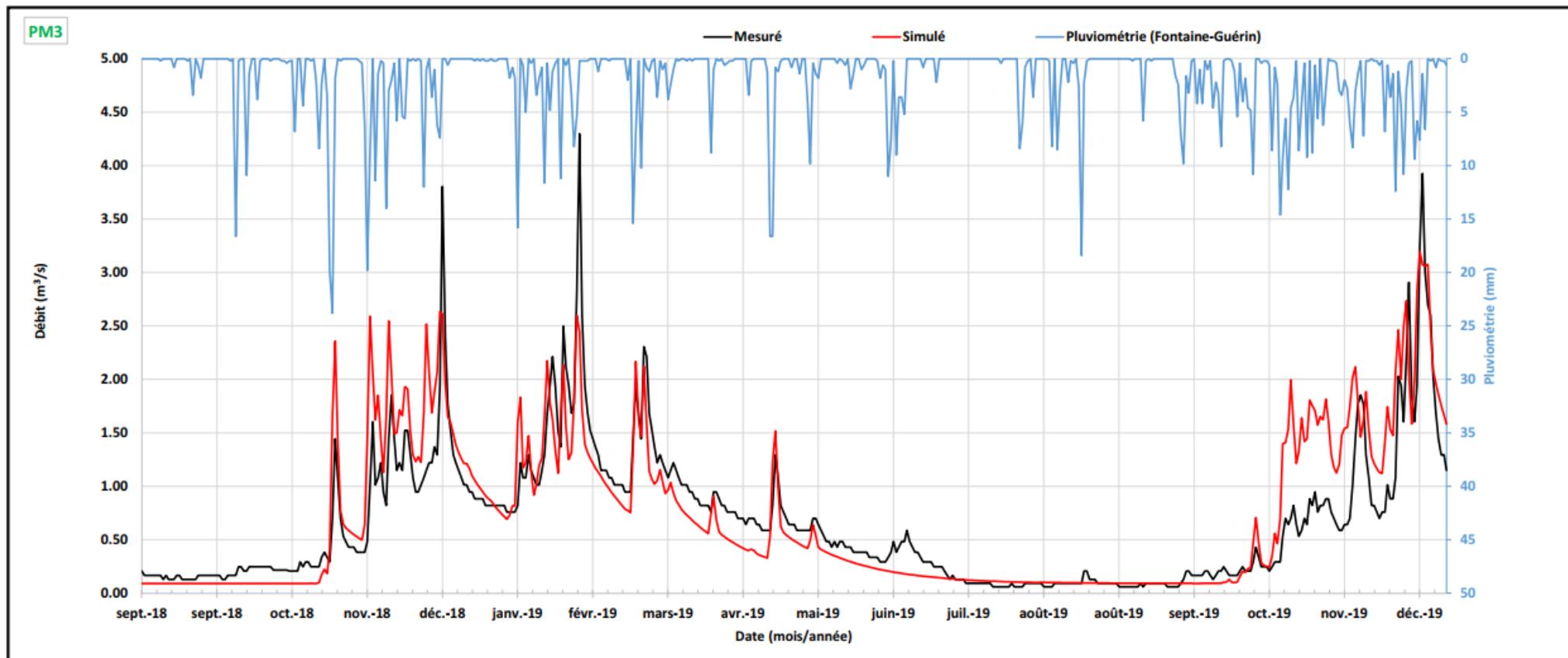
	Mesuré	Simulé	Ecart (%)
Volume (m3)	20 729 952	19 911 008	4.0
Débit max (m3/s)	5.26	7.28	38.5
Nash(Y)	<i>(valeurs fortes)</i>		80.3
Nash(√Y)	<i>(valeurs moyennes)</i>		71.6
Nash(ln(Y))	<i>(valeurs faibles)</i>		40.9

Commentaire :
Résultats satisfaisants
Absence de mesures en hiver

Référence : 51618
Projet : authion_v3
Modèle : authion_act
Scénario : calage_2019

Date : mai 2023

Calage pour 2019



	Mesuré	Simulé	Ecart (%)
Volume (m3)	28 511 219	30 035 498	5.3
Débit max (m3/s)	4.30	3.20	25.5
Nash(Y)	<i>(valeurs fortes)</i>		70.5
Nash(√Y)	<i>(valeurs moyennes)</i>		78.4
Nash(ln(Y))	<i>(valeurs faibles)</i>		79.6

Commentaire :
Hausse du débit à l'automne
Résultats satisfaisants

Référence : 51618
Projet : authion_v3
Modèle : authion_act
Scénario : calage_2019

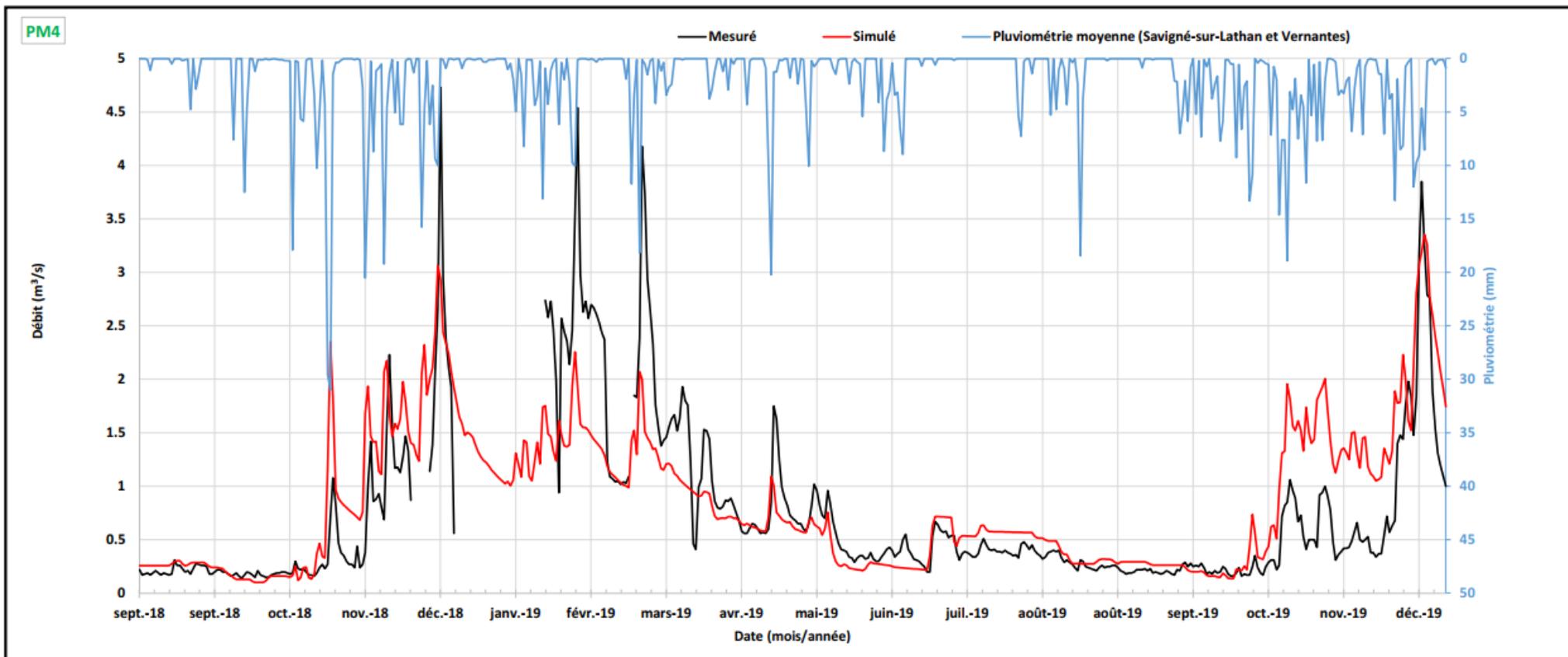
Date : mai 2023



Etude H.M.U.C. du bassin versant de l'Authion Phase 2 Lathan au Moulin Guet



Calage pour 2019



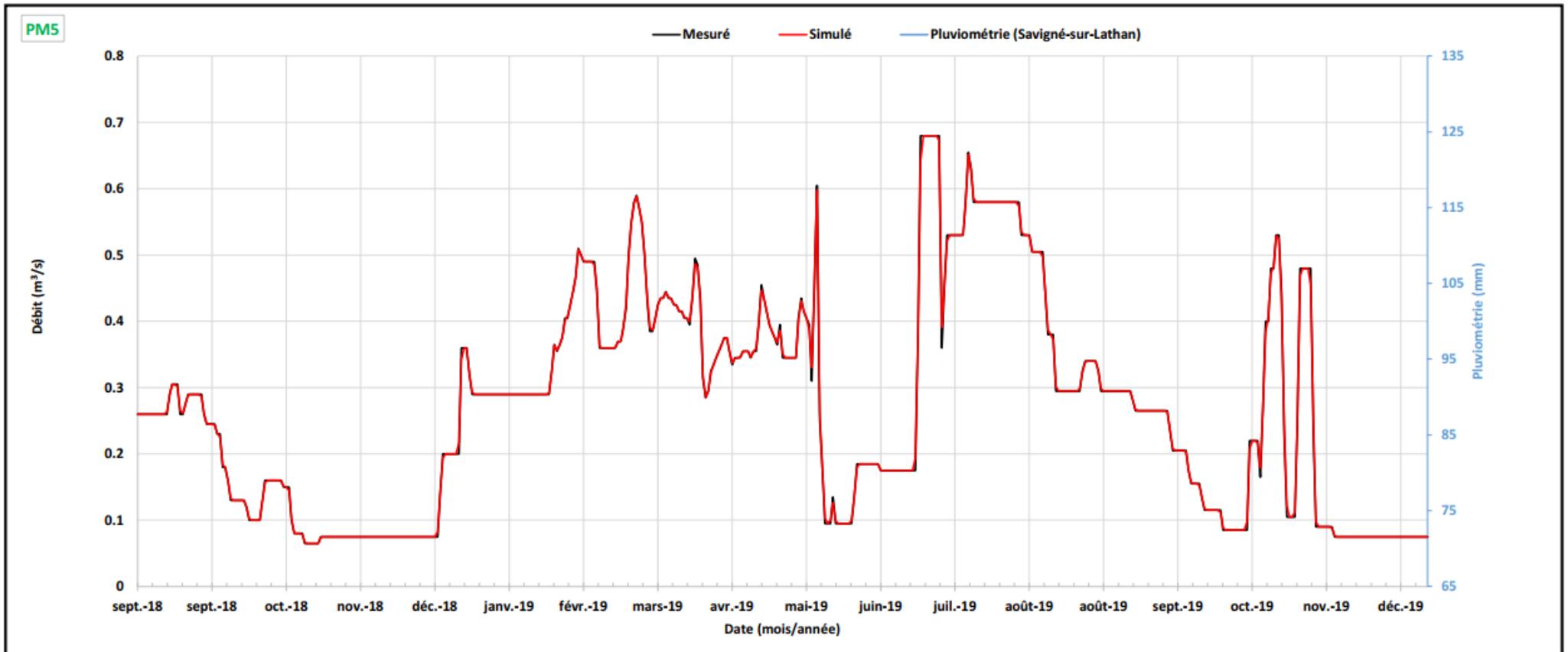
	Mesuré	Simulé	Ecart (%)
Volume (m3)	28 968 192	31 005 846	7.0
Débit max (m3/s)	4.73	3.35	29.1
Nash(Y)	(valeurs fortes)		57.4
Nash(√Y)	(valeurs moyennes)		63.5
Nash(ln(Y))	(valeurs faibles)		67.1

Commentaire :
Hausse du débit à l'automne
Grandes variations de débits en hiver 2019 non reproduite : panne électrique (mesures incertaines)
Résultats satisfaisants

Référence : 51618
Projet : authion_v3
Modèle : authion_act
Scénario : calage_2019

Date : mai 2023

Calage pour 2019



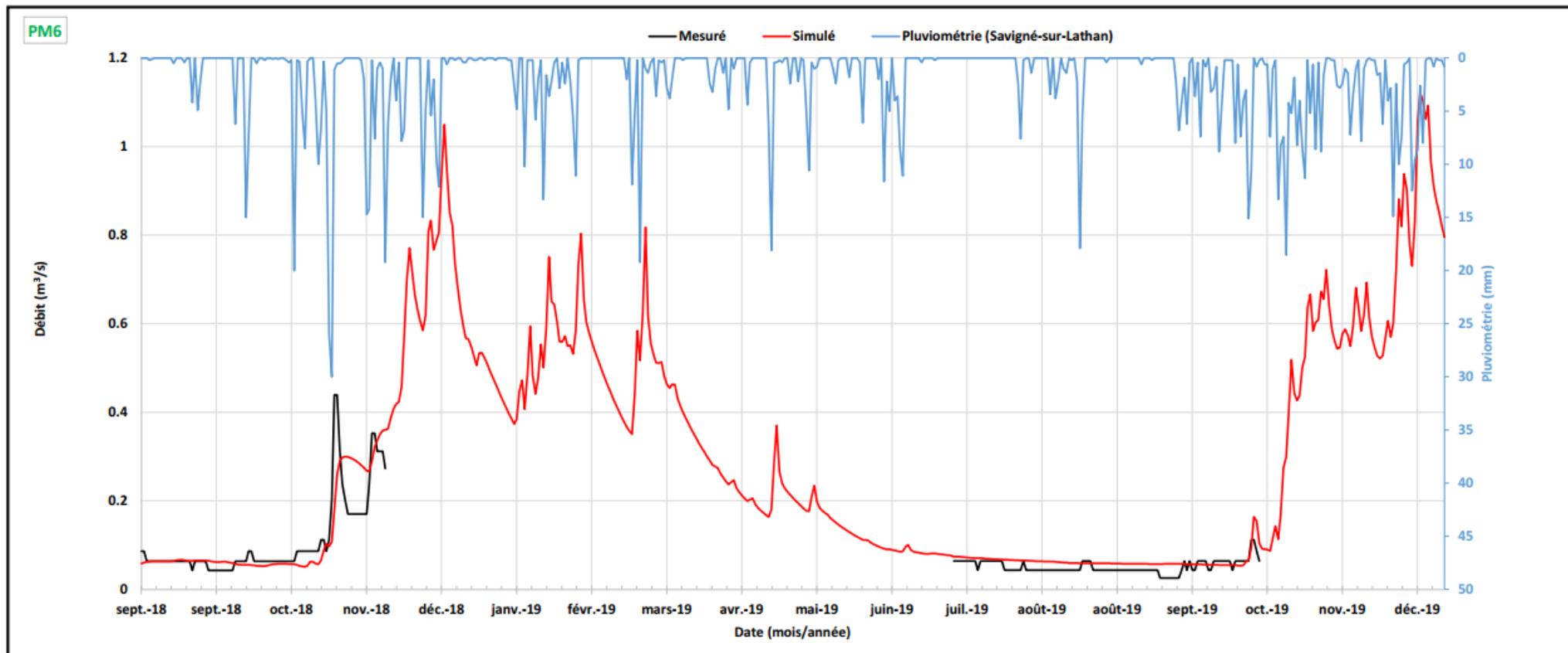
	Mesuré	Simulé	Ecart (%)
Volume (m3)	11 381 472	11 382 735	0.0
Débit max (m3/s)	0.68	0.68	0.0
Nash(Y)	(valeurs fortes)		99.9
Nash(√Y)	(valeurs moyennes)		99.9
Nash(ln(Y))	(valeurs faibles)		99.9

Commentaire :
Conditions imposés en aval du barrage des Mousseaux :
Débits mesurés = débits simulés

Référence : 51618
Projet : authion_v3
Modèle : authion_act
Scénario : calage_2019

Date : mai 2023

Calage pour 2019



	Mesuré	Simulé	Ecart (%)
Volume (m3)	1 387 197	1 531 536	10.4
Débit max (m3/s)	0.44	1.12	155.6
Nash(Y)	(valeurs fortes)		67.7
Nash(√Y)	(valeurs moyennes)		70.5
Nash(ln(Y))	(valeurs faibles)		63.7

Commentaire :
Absence de mesures hors étiage
Résultats satisfaisants

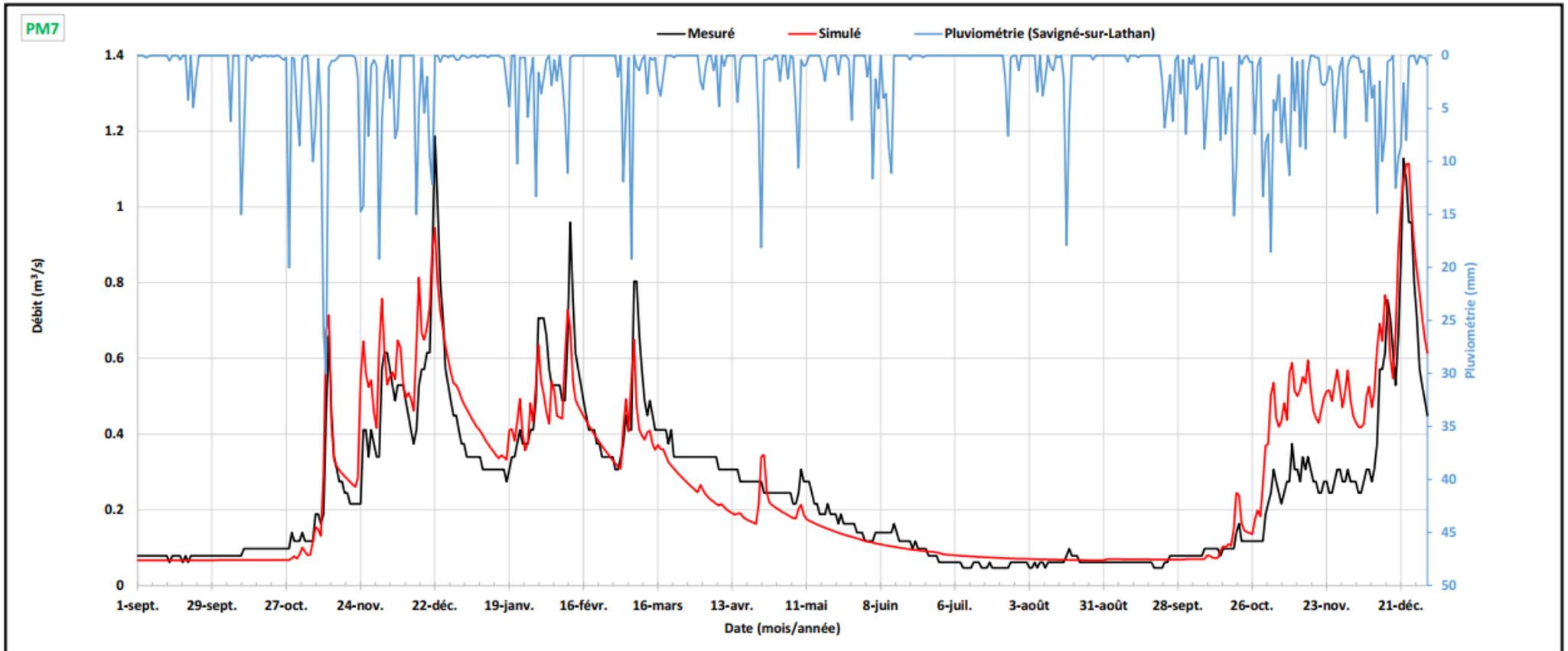
Référence : 51618
Projet : authion_v3
Modèle : authion_act
Scénario : calage_2019
Date : mai 2023



Etude H.M.U.C. du bassin versant de l'Authion Phase 2 Changeon au Moulin Foulon



Calage pour 2019



	Mesuré	Simulé	Ecart (%)
Volume (m3)	10 617 094	11 357 104	7.0
Débit max (m3/s)	1.19	1.11	6.1
Nash(Y)	(valeurs fortes)		78.5
Nash(√Y)	(valeurs moyennes)		83.8
Nash(ln(Y))	(valeurs faibles)		87.3

Commentaire :
Hausse du débit à l'automne
Résultats satisfaisants

Référence : 51618
Projet : authion_v3
Modèle : authion_act
Scénario : calage_2019

Date : mai 2023

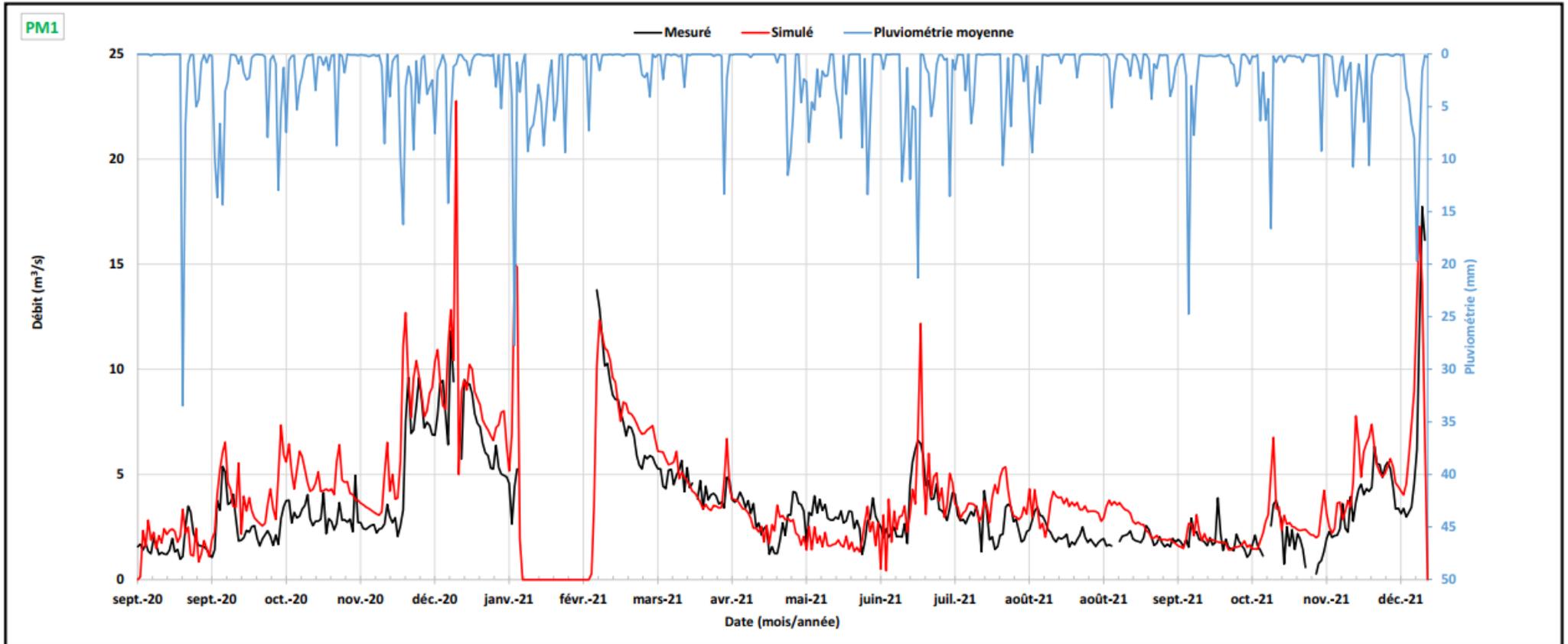
b) Période de septembre 2020 à décembre 2021

Cette période a été marquée par une pluviométrie moyenne de 970 mm, dont 686 mm en 2021, concentrée sur les mois de février, juin, octobre, novembre et décembre 2021. La pluviométrie de février 2021 a provoqué des apports très importants dans les cours d'eau du fait de la capacité limitée de la nappe à absorber les débits infiltrés dans les sols. Les tests ont permis d'évaluer ce débit limite d'absorption à 0.8 mm/j.

En appliquant cette contrainte supplémentaire, les débits modélisés ont pu approcher davantage les mesures dans les cours d'eau.

À noter que cette même contrainte a été appliquée pour la chronique 2018-2019, mais cela ne change pas les résultats : le débit d'infiltration vers la nappe souterraine est toujours resté inférieur à 0.8 mm/j pour cette chronique.

Calage pour 2021

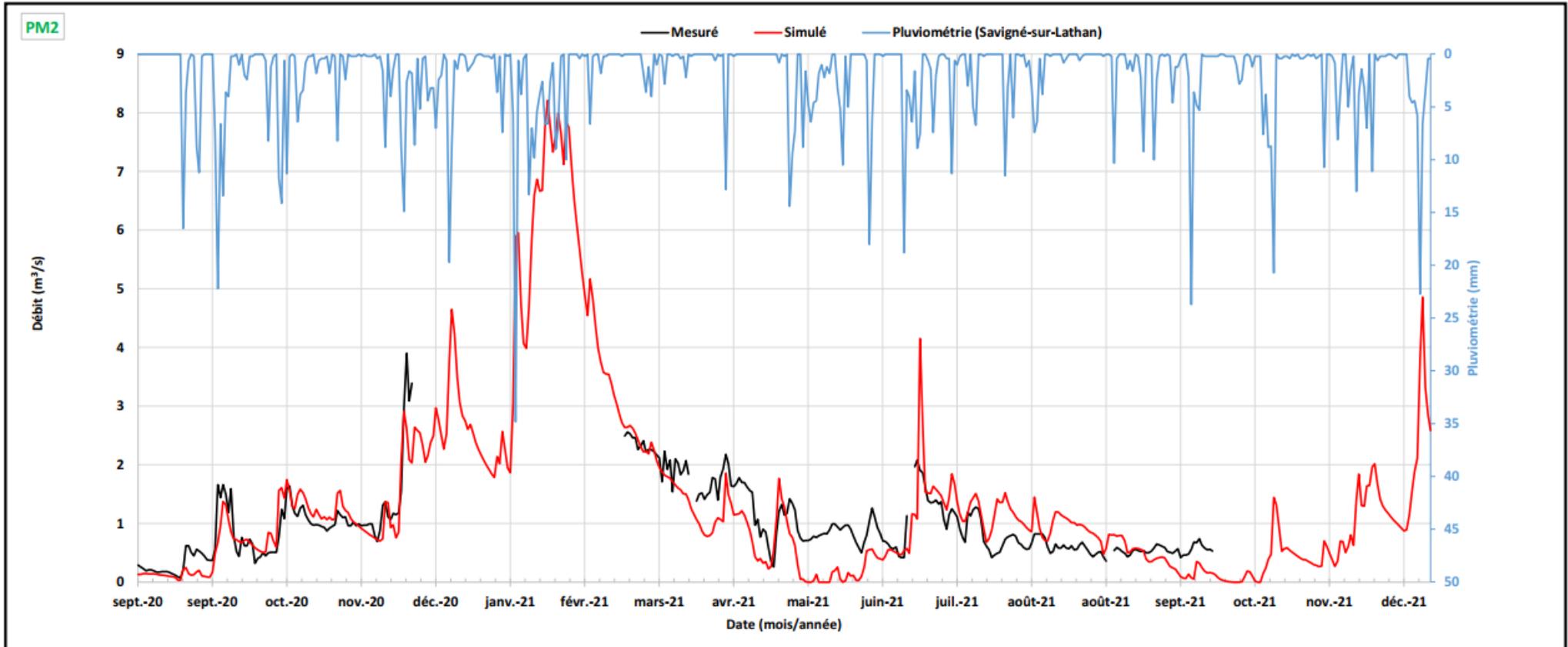


	Mesuré	Simulé	Ecart (%)
Volume (m3)	135 933 120	164 666 681	21.1
Débit max (m3/s)	17.74	22.77	28.3
Nash(Y)	<i>(valeurs fortes)</i>		44.4
Nash(√Y)	<i>(valeurs moyennes)</i>		42.2
Nash(ln(Y))	<i>(valeurs faibles)</i>		26.2

Commentaire :
Hausse du débit en été liée aux pertes naturelles par infiltration dans l'Authion
Résultats satisfaisants

Référence : 51618
Projet : authion_v3
Modèle : authion_act
Scénario : calage_2021
Date : mai 2023

Calage pour 2021

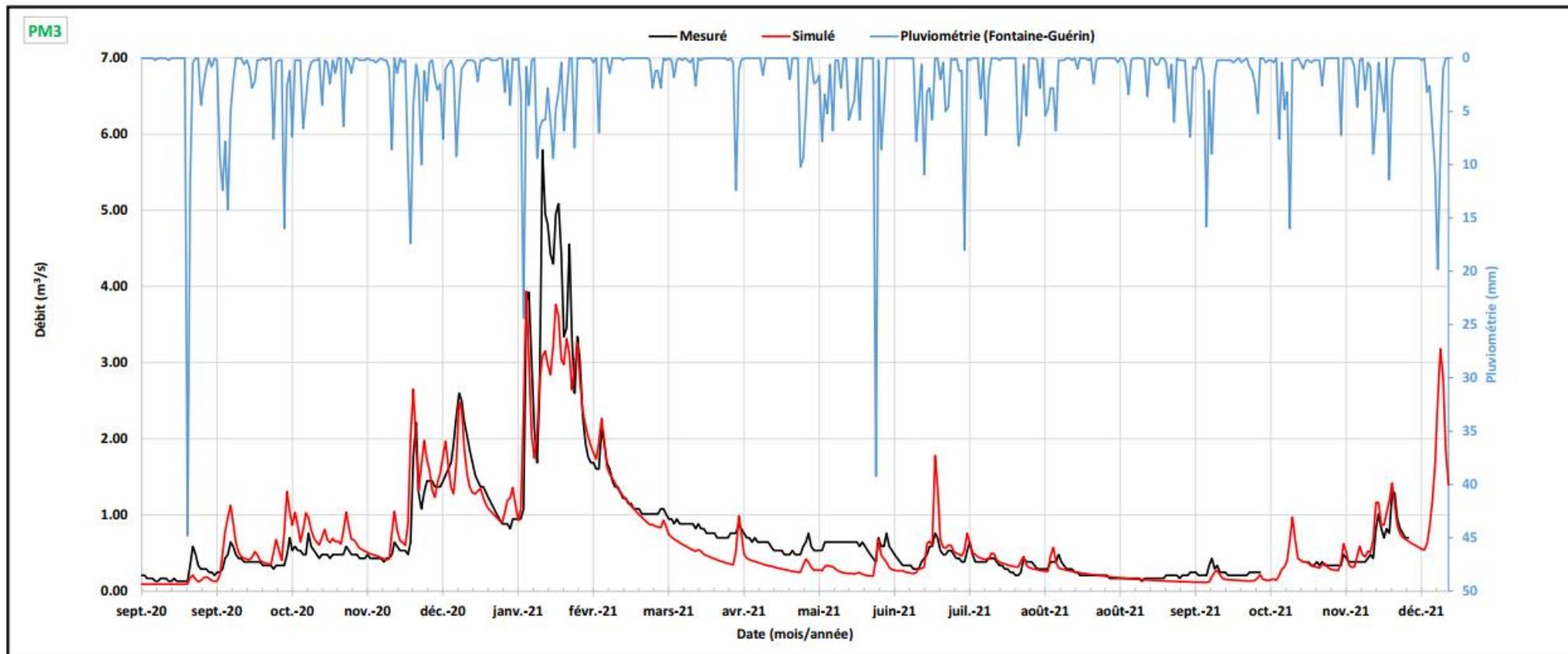


	Mesuré	Simulé	Ecart (%)
Volume (m3)	27 117 504	24 528 436	9.5
Débit max (m3/s)	3.90	8.21	110.5
Nash(Y)	<i>(valeurs fortes)</i>		46.7
Nash(√Y)	<i>(valeurs moyennes)</i>		3.3
Nash(ln(Y))	<i>(valeurs faibles)</i>		-121.3

Commentaire :
 Manœuvre et travaux aux mois de mai / juin (mesures non représentatives)
 Absence de mesures en hiver
 Résultats acceptables

Référence : 51618
 Projet : authion_v3
 Modèle : authion_act
 Scénario : calage_2021
 Date : mai 2023

Calage pour 2021



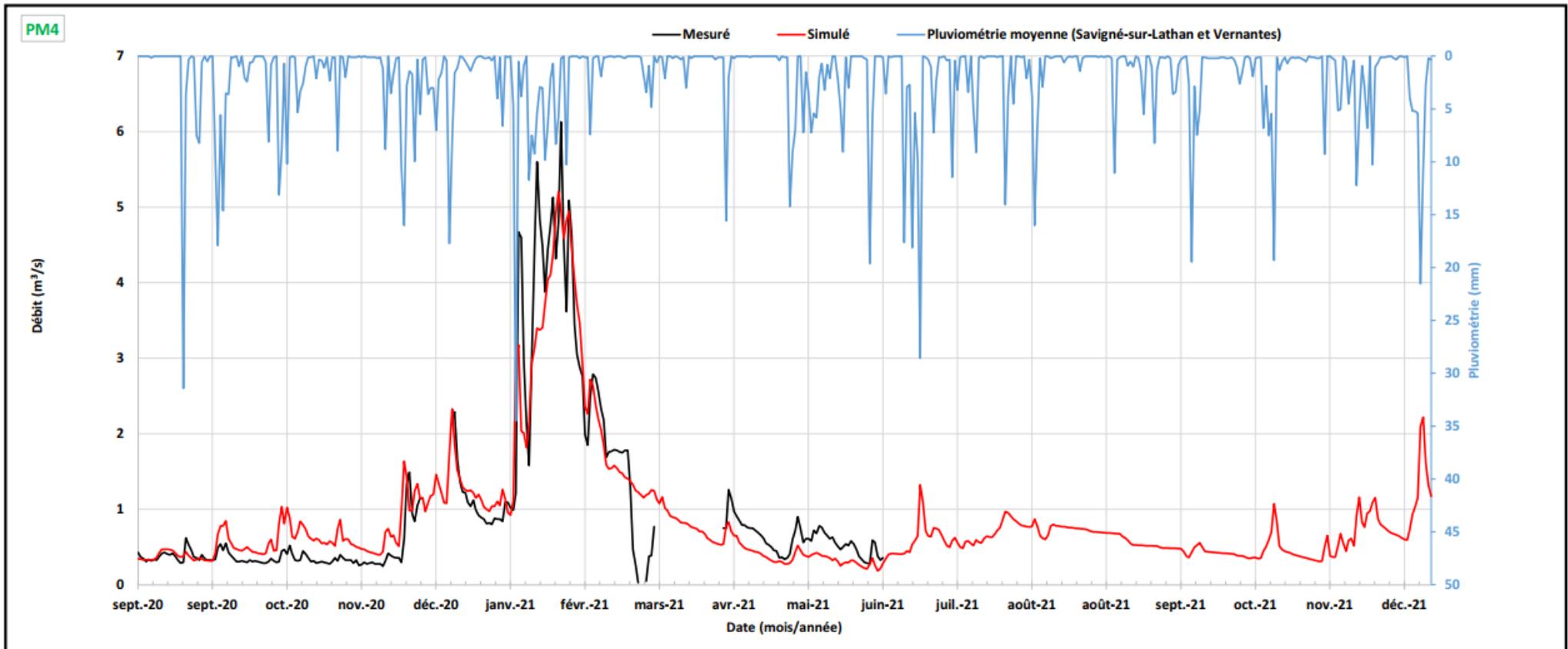
	Mesuré	Simulé	Ecart (%)
Volume (m3)	29 542 514	27 217 474	7.9
Débit max (m3/s)	5.79	3.94	32.0
Nash(Y)	<i>(valeurs fortes)</i>		83.5
Nash(√Y)	<i>(valeurs moyennes)</i>		82.0
Nash(ln(Y))	<i>(valeurs faibles)</i>		73.4

Commentaire :
Pics de débits non atteints en hiver 2021
Résultats satisfaisants

Référence : 51618
Projet : authion_v3
Modèle : authion_act
Scénario : calage_2021

Date : mai 2023

Calage pour 2021



	Mesuré	Simulé	Ecart (%)
Volume (m3)	21 427 200	21 724 179	1.4
Débit max (m3/s)	6.13	5.21	15.1
Nash(Y)	<i>(valeurs fortes)</i>		86.2
Nash(√Y)	<i>(valeurs moyennes)</i>		80.6
Nash(ln(Y))	<i>(valeurs faibles)</i>		63.7

Commentaire :
Absence de mesures après juin 2021
Résultats satisfaisants

Référence : 51618
Projet : authion_v3
Modèle : authion_act
Scénario : calage_2021

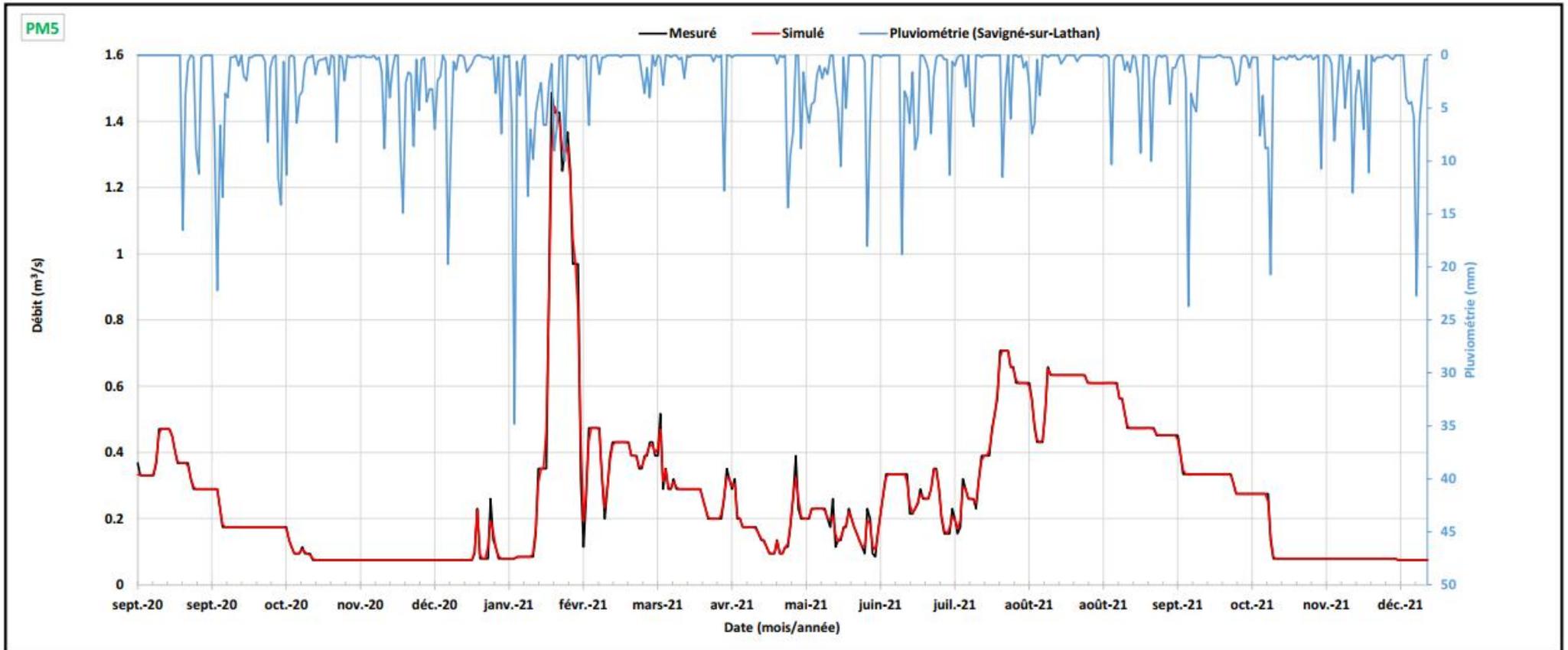
Date : mai 2023



Etude H.M.U.C. du bassin versant de l'Authion Phase 2 Lathan au barrage des Mousseaux



Calage pour 2021



	Mesuré	Simulé	Ecart (%)
Volume (m3)	11 745 362	11 743 503	0.0
Débit max (m3/s)	1.49	1.45	2.8
Nash(Y)	(valeurs fortes)		99.4
Nash(√Y)	(valeurs moyennes)		99.5
Nash(ln(Y))	(valeurs faibles)		99.5

Commentaire :
Conditions imposés en aval du barrage des Mousseaux :
Débits mesurés = débits simulés

Référence : 51618
Projet : authion_v3
Modèle : authion_act
Scénario : calage_2021

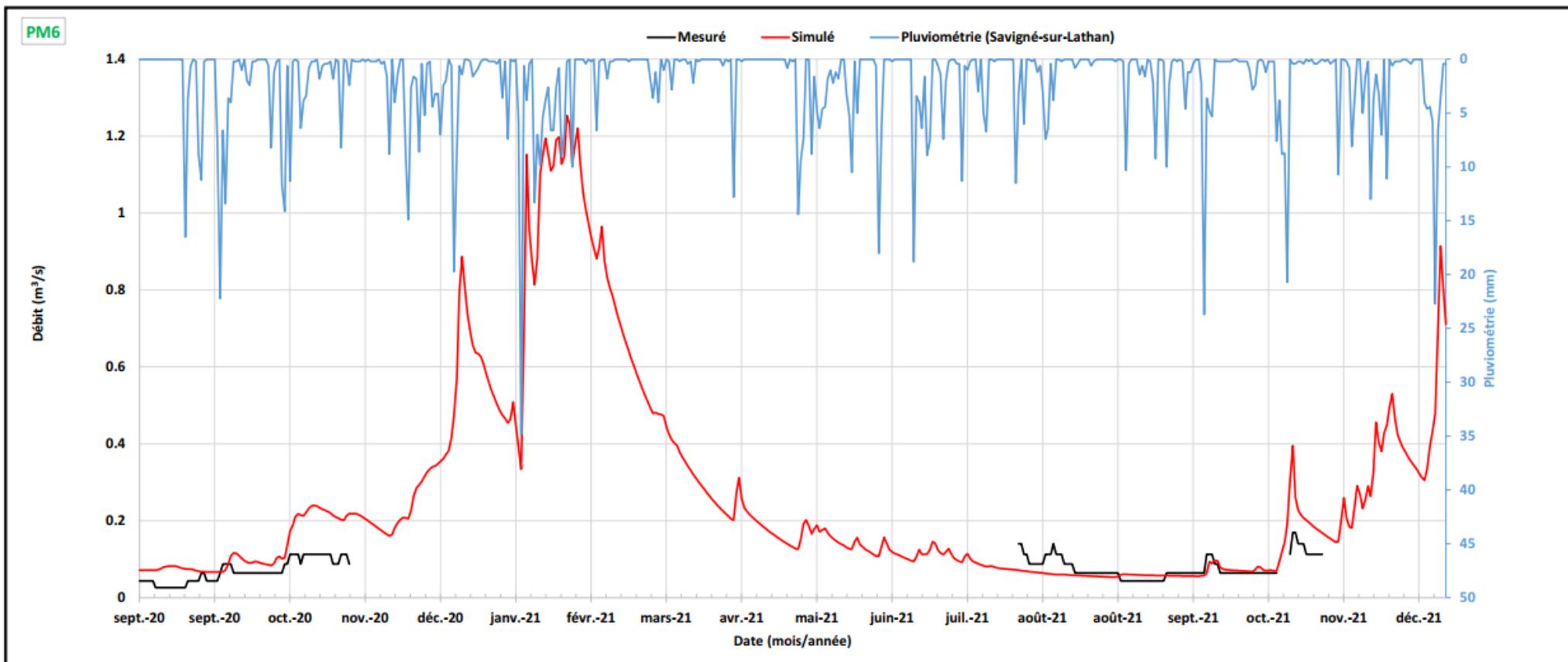
Date : mai 2023



Etude H.M.U.C. du bassin versant de l'Authion Phase 2 Lathan à la digue de Pincemaille



Calage pour 2021



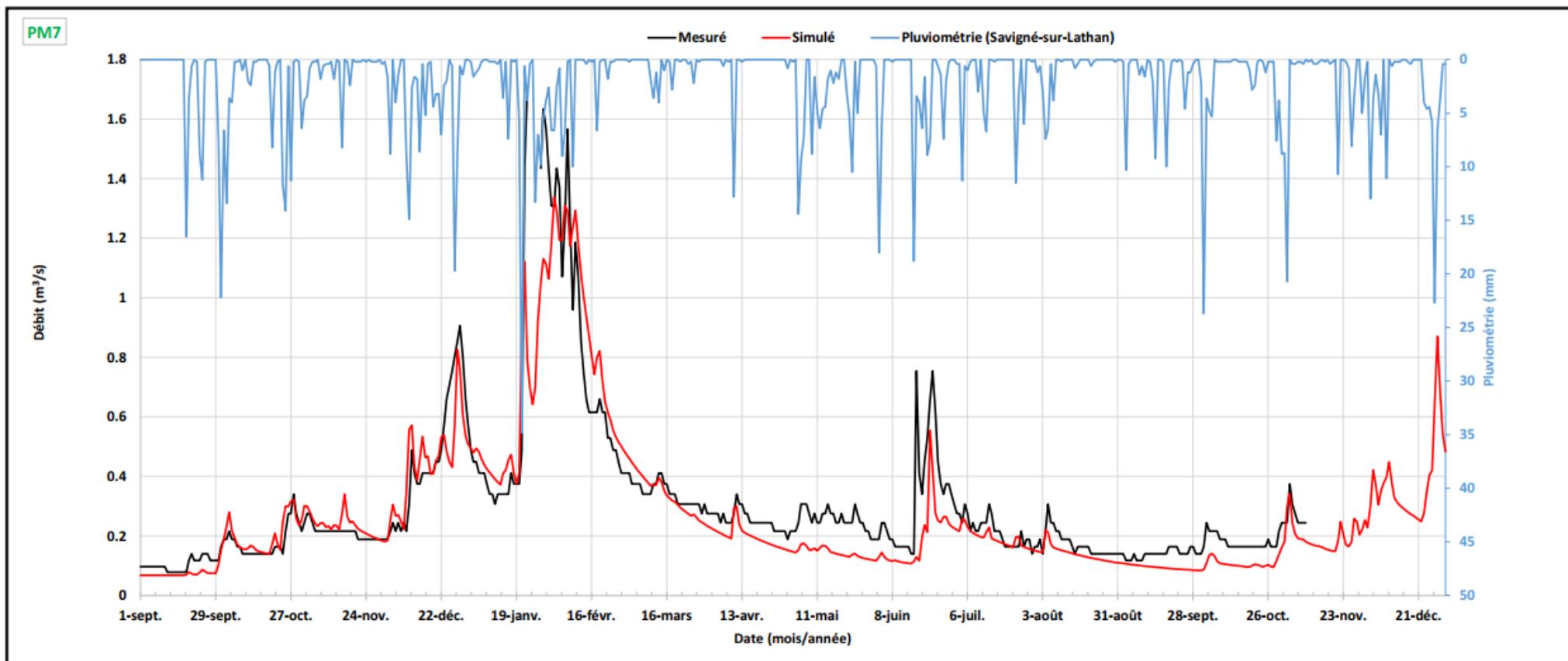
	Mesuré	Simulé	Ecart (%)
Volume (m3)	1 212 293	1 619 851	33.6
Débit max (m3/s)	1.70	1.25	26.4
Nash(Y)	(valeurs fortes)		-231.7
Nash(√Y)	(valeurs moyennes)		-96.4
Nash(ln(Y))	(valeurs faibles)		-40.0

Commentaire :
Absence de mesures hors étiage
Résultats satisfaisants

Référence : 51618
Projet : authion_v3
Modèle : authion_act
Scénario : calage_2021

Date : mai 2023

Calage pour 2021



	Mesuré	Simulé	Ecart (%)
Volume (m3)	11 288 323	10 034 292	11.1
Débit max (m3/s)	1.70	1.34	21.5
Nash(Y)	(valeurs fortes)		82.1
Nash(√Y)	(valeurs moyennes)		78.2
Nash(ln(Y))	(valeurs faibles)		66.7

Commentaire :
Absence de mesures fin 2021
Résultats satisfaisants

Référence : 51618
Projet : authion_v3
Modèle : authion_act
Scénario : calage_2021

Date : mai 2023

3.5 SIMULATION DE LA SITUATION ACTUELLE SUR LA PERIODE 2001-2021

Les résultats en situation actuelle, sur la chronique 2001-2021 pour l'ensemble des stations, sont présentés en pages suivantes. Le tableau suivant rappelle les stations associées aux différentes UG, et qui ont permis le calage du modèle.

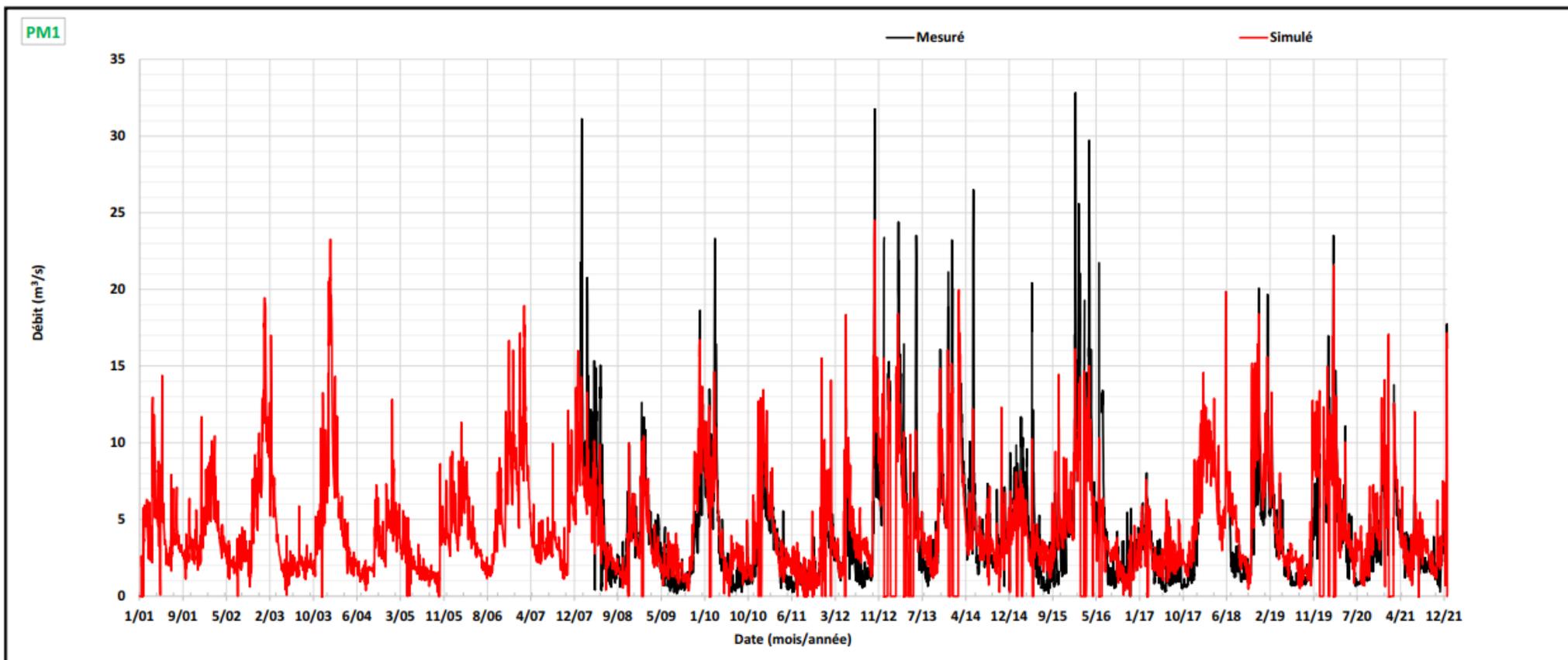
Unité de Gestion	Stations hydrométriques
UG 1 – Val d'Authion aval	PM1 - L'Authion au Pont Bourguignon
UG 2 – Val d'Authion moyen	PM2 - L'Authion au Gué de Fresne
UG 3 – Le Couasnon et ses affluents	PM3 - Le Couasnon à Gée
UG 7 – Le Lathan et ses affluents moyen	PM4 – Le Lathan au Moulin Guet
UG 8 – Le Lathan et ses affluents en amont de Rillé	PM5 – Le Lathan au barrage des Mousseaux PM6 – Le Lathan à la digue de Pincemaille
UG 10 – Le Changeon et ses affluents	PM7 – Le Changeon au Moulin Foulon

Le tableau suivant synthétise les débits caractéristiques calculés pour chaque UG, à leur exutoire :

Q (m³/s)	UG1	UG2	UG3	UG4	UG5	UG6	UG7	UG7b	UG8	UG9	UG10	
Débits moyens mensuels	Jan.	8.49	2.90	2.23	0.43	1.22	1.83	1.31	0.16	0.23	0.65	0.78
	Fév.	9.25	3.07	2.41	0.43	1.26	2.14	1.58	0.17	0.44	0.67	0.84
	Mars	7.25	2.39	1.85	0.34	1.01	1.69	1.27	0.12	0.41	0.50	0.67
	Avr.	4.64	1.49	1.13	0.20	0.62	1.07	0.82	0.073	0.32	0.29	0.42
	Mai	3.68	1.29	0.91	0.13	0.55	0.80	0.60	0.057	0.25	0.23	0.33
	Juin	2.99	1.23	0.74	0.09	0.41	0.65	0.53	0.040	0.30	0.17	0.24
	Juil.	1.98	1.13	0.58	0.05	0.24	0.60	0.59	0.022	0.47	0.10	0.16
	Août	1.92	1.01	0.46	0.04	0.19	0.58	0.58	0.016	0.50	0.071	0.12
	Sept.	1.90	1.00	0.40	0.04	0.17	0.46	0.42	0.013	0.34	0.063	0.12
	Oct.	2.90	1.00	0.58	0.11	0.38	0.56	0.43	0.035	0.18	0.15	0.22
	Nov.	4.89	1.61	1.13	0.25	0.73	0.97	0.69	0.081	0.13	0.34	0.42
	Déc.	7.12	2.40	1.81	0.37	1.08	1.45	1.02	0.13	0.12	0.54	0.65
Module	4.75	1.71	1.18	0.20	0.67	1.06	0.82	0.08	0.31	0.31	0.41	
Médian	3.49	1.29	0.90	0.15	0.56	0.81	0.63	0.06	0.24	0.24	0.32	
QMNA2	1.37	0.64	0.24	0.010	0.10	0.39	0.34	0.003	0.07	0.022	0.087	
QMNA5	0.74	0.46	0.18	0.003	0.09	0.20	0.17	0.001	0.04	0.007	0.074	

Tableau 4 : Débits caractéristiques par UG en situation actuelle

Situation actuelle : 2001-2021



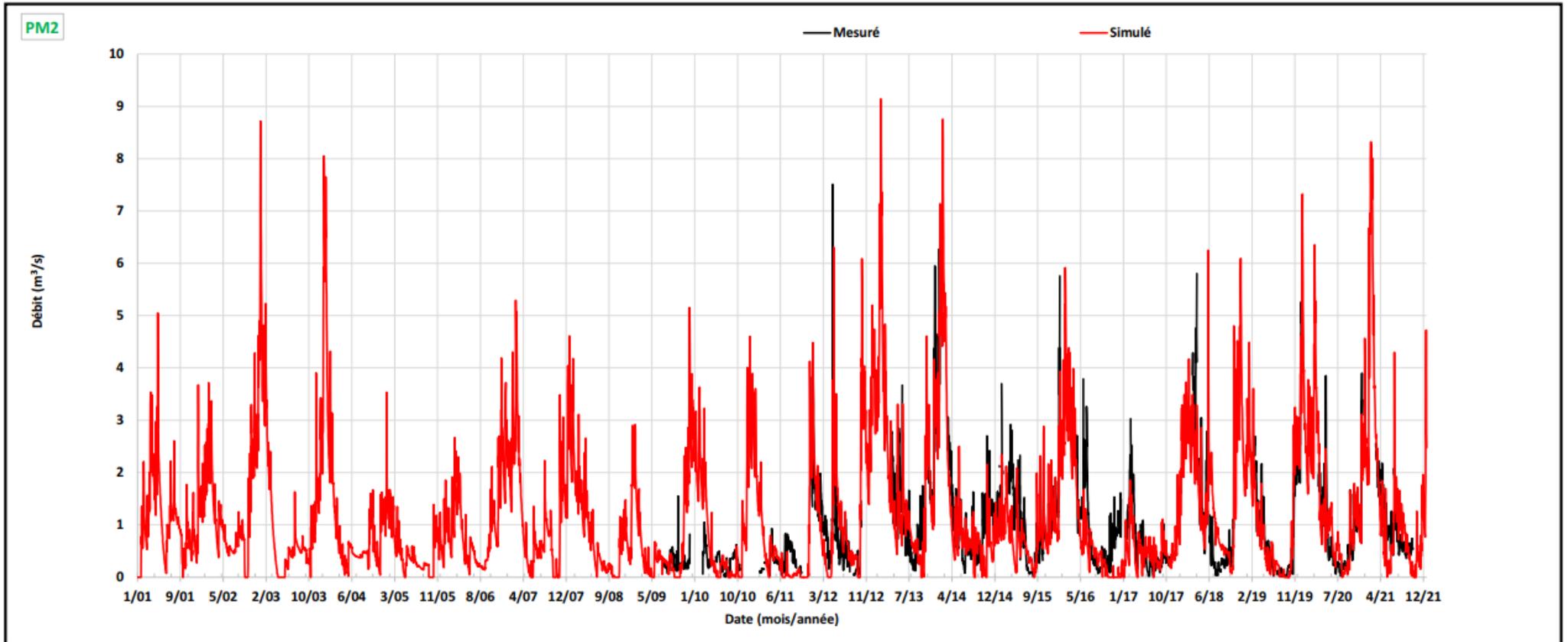
Nash(Y)	(valeurs fortes)	64.1
Nash(√Y)	(valeurs moyennes)	62.5
Nash(ln(Y))	(valeurs faibles)	46.8

Commentaire :

Absence de mesures entre 2001 et 2007
Hausse du débit en été liée aux pertes naturelles par infiltration dans le Val d'Authion (non modélisées)
Mesures incertaines sur les débits d'étiage

Référence :	51618
Projet :	authion_v3
Modèle :	authion_act
Scénario :	01_Act à 20_Act
Date :	mai 2023

Situation actuelle : 2001-2021



Nash(Y)	(valeurs fortes)	-10.6
Nash(√Y)	(valeurs moyennes)	-43.9
Nash(ln(Y))	(valeurs faibles)	-199.1

Commentaire :
Absence de mesures entre 2001 et 2008
Absence de mesures en hiver

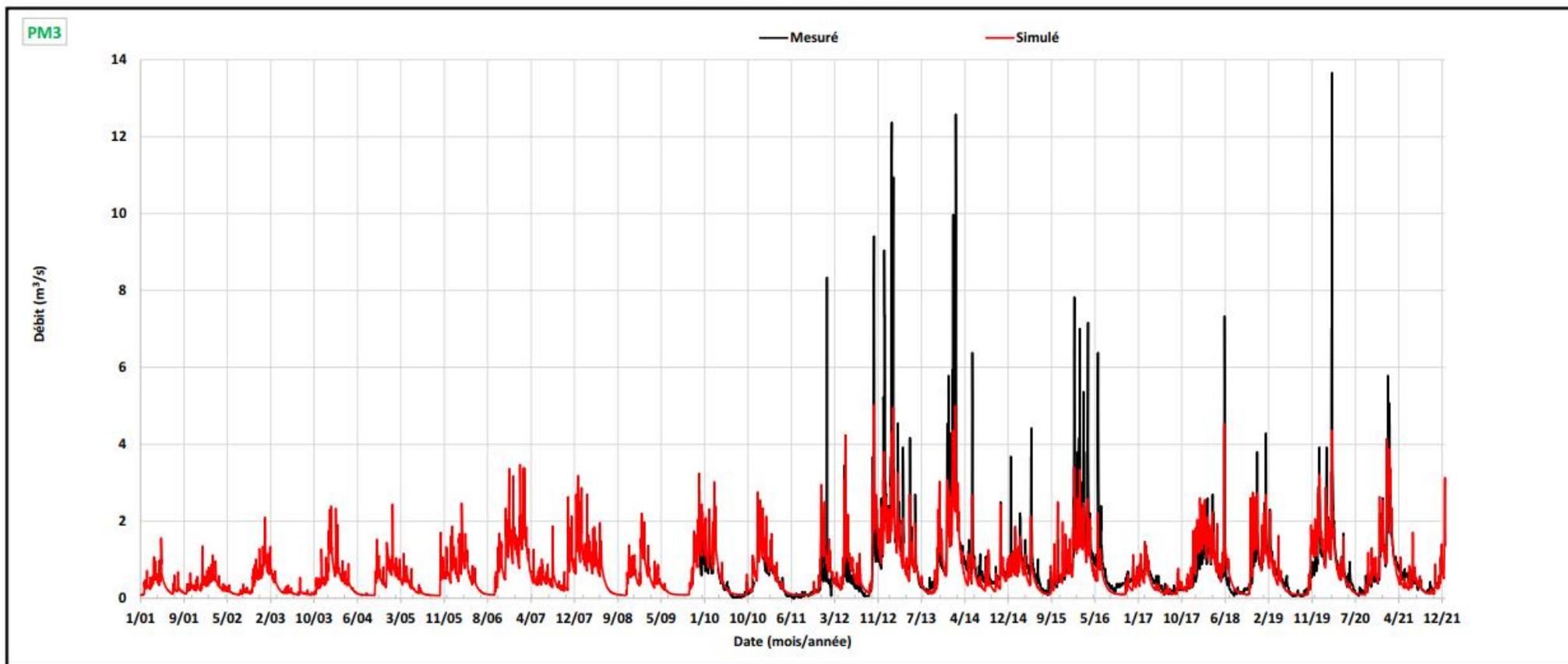
Référence : 51618
Projet : authion_v3
Modèle : authion_act
Scénario : 01_Act à 20_Act
Date : mai 2023



Etude H.M.U.C. du bassin versant de l'Authion Phase 2 Couasnon à Gée



Situation actuelle : 2001-2021



Nash(Y)	(valeurs fortes)	63.1
Nash(√Y)	(valeurs moyennes)	76.3
Nash(ln(Y))	(valeurs faibles)	78.4

Commentaire :
Absence de mesures entre 2001 et 2009

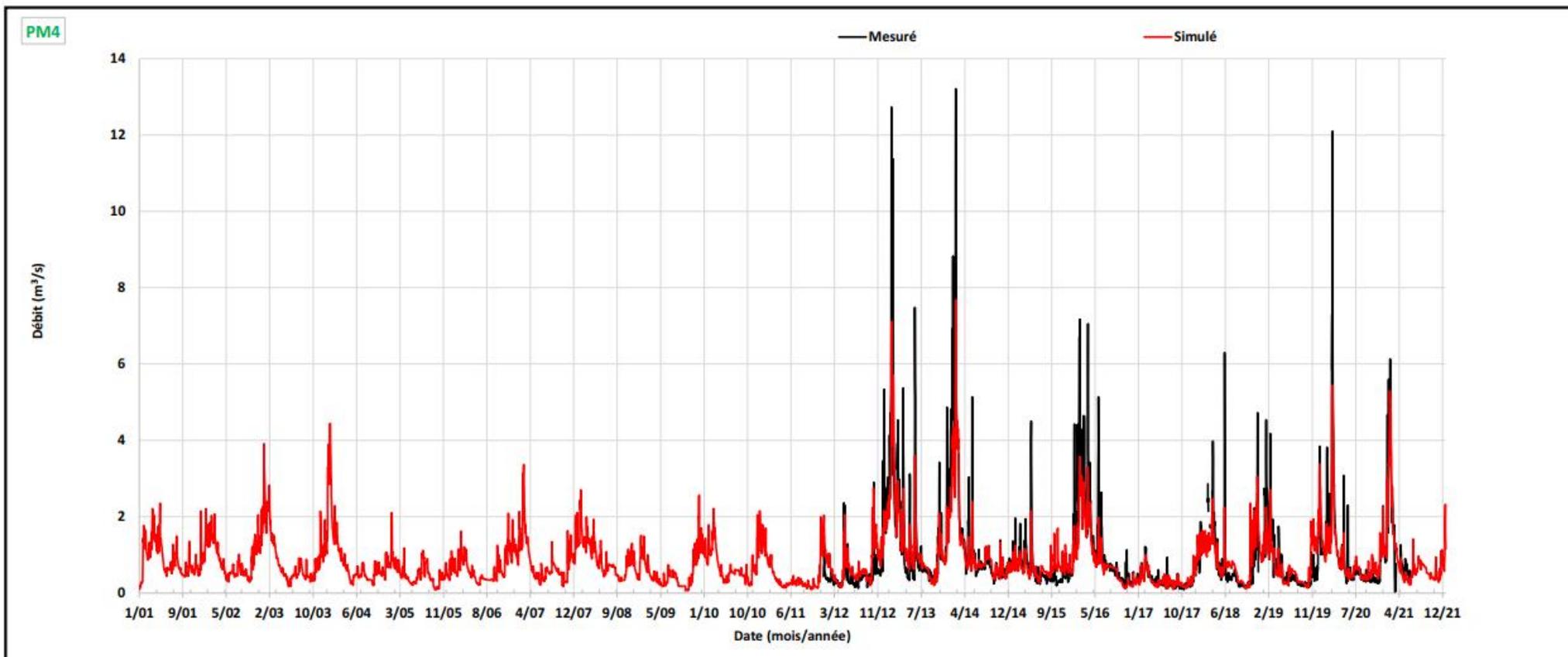
Référence : 51618
 Projet : authion_v3
 Modèle : authion_act
 Scénario : 01_Act à 20_Act
 Date : mai 2023



Etude H.M.U.C. du bassin versant de l'Authion Phase 2 Lathan au Moulin Guet



Situation actuelle : 2001-2021



Nash(Y)	(valeurs fortes)	76.2
Nash(√Y)	(valeurs moyennes)	79.7
Nash(ln(Y))	(valeurs faibles)	76.7

Commentaire :
Absence de mesures entre 2001 et 2011

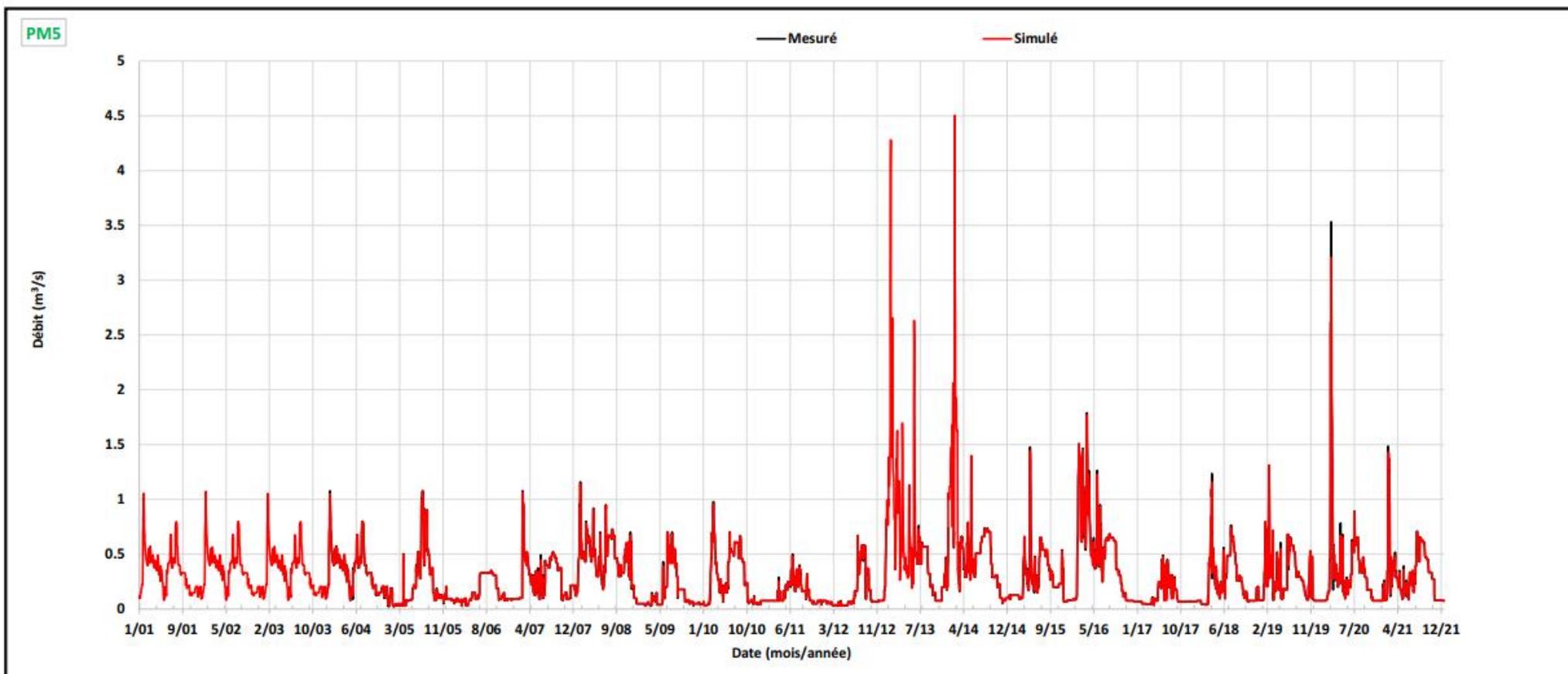
Référence : 51618
 Projet : authion_v3
 Modèle : authion_act
 Scénario : 01_Act à 20_Act
 Date : mai 2023



Etude H.M.U.C. du bassin versant de l'Authion Phase 2 Lathan au barrage des Mousseaux



Situation actuelle : 2001-2021

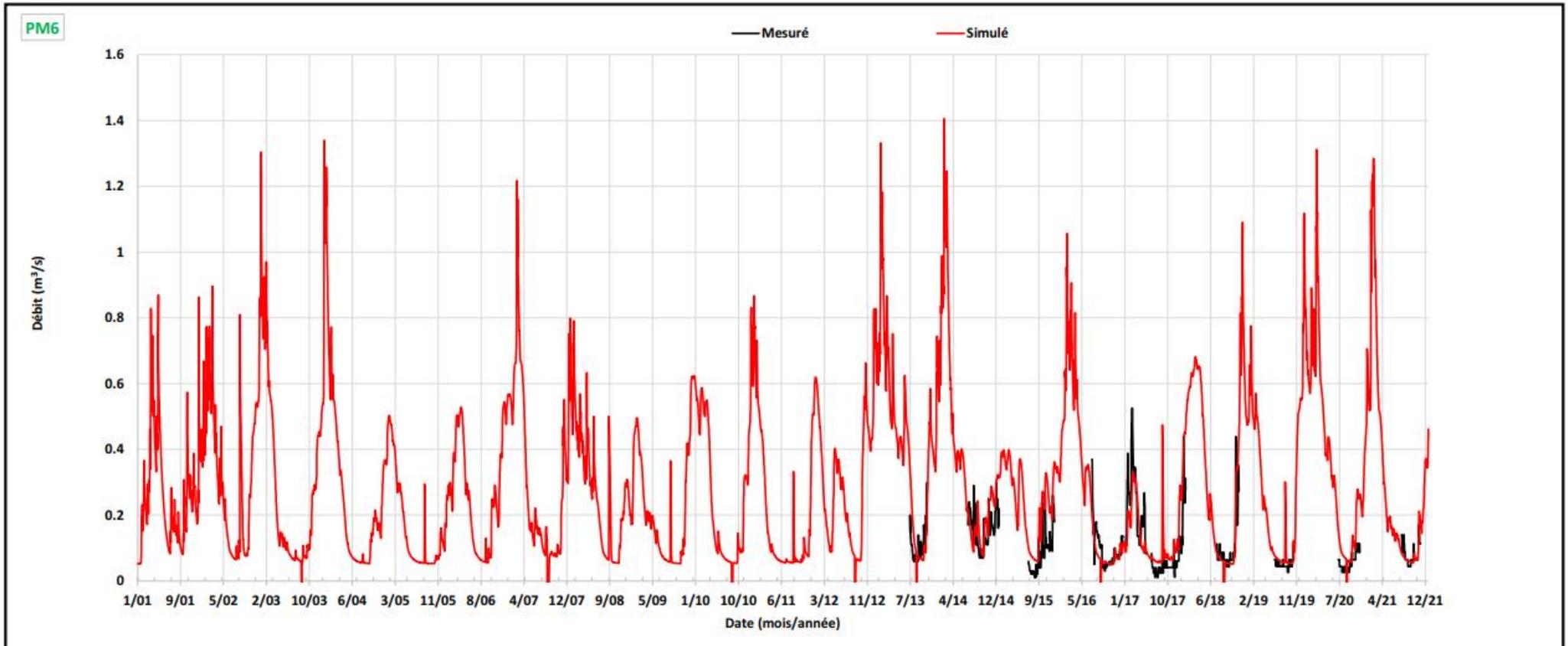


Nash(Y)	(valeurs fortes)	93.5
Nash(√Y)	(valeurs moyennes)	95.9
Nash(ln(Y))	(valeurs faibles)	96.6

Commentaire :
Conditions imposées en aval du barrage des Mousseaux :
Débits mesurés = débits simulés

Référence : 51618
Projet : authion_v3
Modèle : authion_act
Scénario : 01_Act à 20_Act
Date : mai 2023

Situation actuelle : 2001-2021

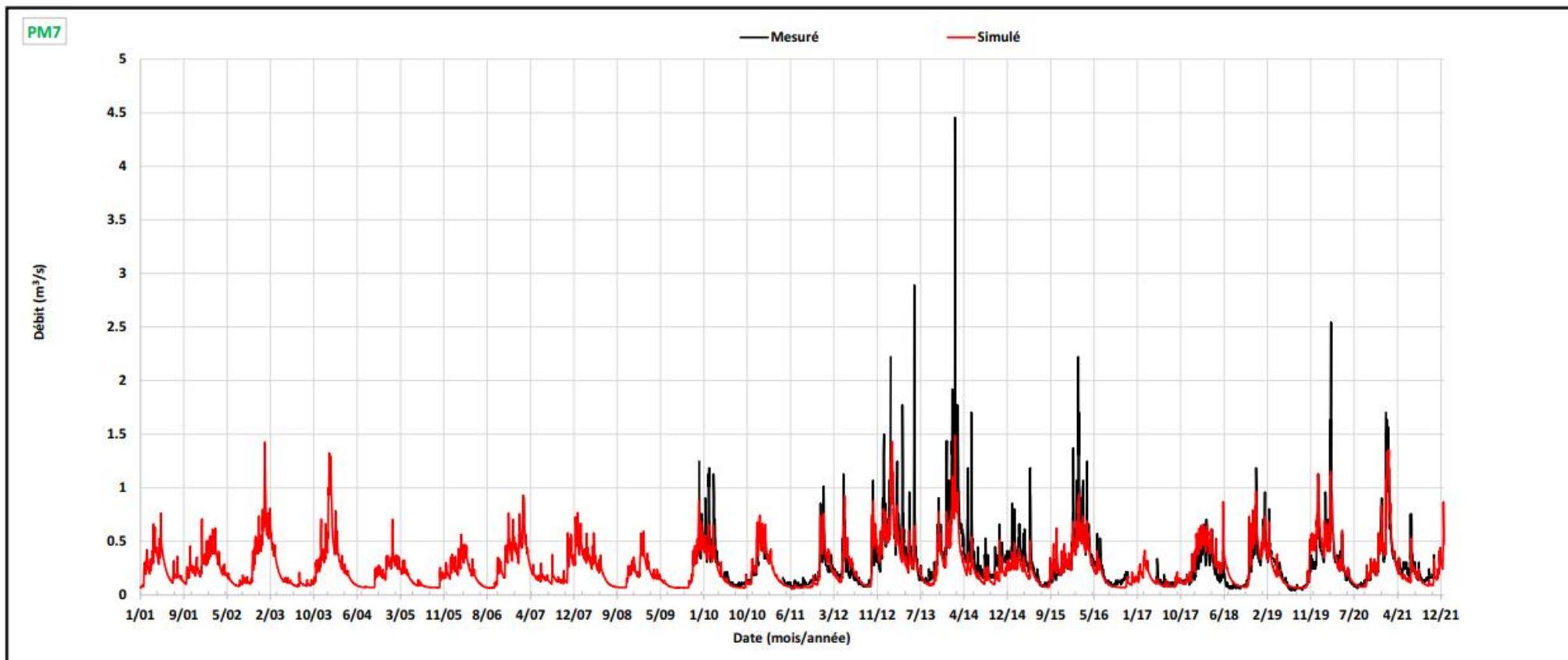


Nash(Y)	(valeurs fortes)	11.7
Nash(√Y)	(valeurs moyennes)	24.1
Nash(ln(Y))	(valeurs faibles)	29.1

Commentaire :
Absence de mesures entre 2001 et 2013
Absence de mesures hors été

Référence : 51618
Projet : authion_v3
Modèle : authion_act
Scénario : 01_Act à 20_Act
Date : mai 2023

Situation actuelle : 2001-2021



Nash(Y)	(valeurs fortes)	67.1
Nash(√Y)	(valeurs moyennes)	75.7
Nash(ln(Y))	(valeurs faibles)	77.3

Commentaire :
Absence de mesures entre 2001 et 2009

Référence : 51618
 Projet : authion_v3
 Modèle : authion_act
 Scénario : 01_Act à 20_Act
 Date : mai 2023

3.5.1 Analyse de la recharge des réservoirs de la zone non saturée

La couche de sol insaturée est composée de deux réserves :

- Le réservoir de surface : réserve facilement utilisable (RFU) ;
- Le réservoir de sol permettant d'alimenter le cours d'eau par ressuyage.

La figure ci-après présente l'évolution de la recharge des réservoirs de la zone non saturée sur un sous bassin versant du Changeon. Les réservoirs se remplissent de la fin d'automne jusqu'au début du printemps. Cette période est essentielle à la recharge de ces réserves et dépend notamment des facteurs météorologiques (pluviométrie et ETP).

La vidange de ces réservoirs s'amorce dès le printemps principalement en raison de l'augmentation de l'ETP.

Les réservoirs se vident totalement en été (août), il n'y a donc plus de ressuyage du sol.

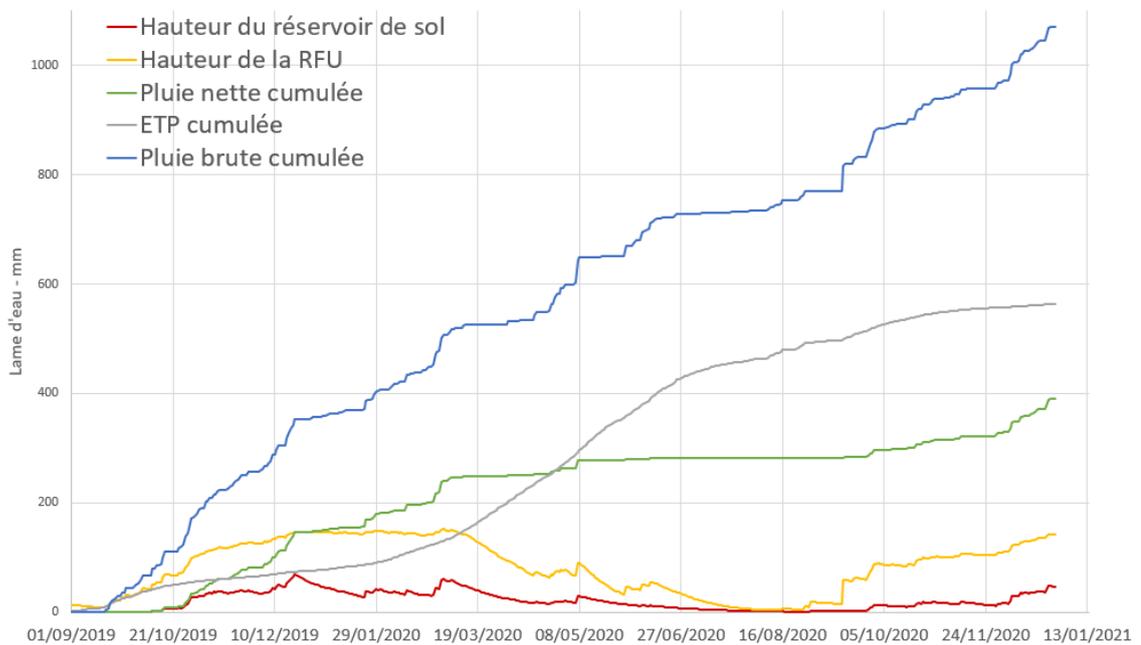


Figure 3-17 : Bilan des flux dans la zone non saturée – exemple sur le Changeon (sous-bassin versant 7)

3.6 SIMULATION DE LA SITUATION ACTUELLE DESINFLUENCEE SUR LA PERIODE 2001-2021

3.6.1 Adaptations du modèle

Les adaptations du modèle hydrologique et hydraulique sont les suivantes :

- Suppression des prélèvements superficiels liés aux usages : irrigation, alimentation en eau du bétail et aspersion pour la lutte anti-gel.
- Suppression des rejets de STEP et industries.

La réalimentation par les prises d'eau en Loire et par la retenue des Mousseaux sont maintenues. En effet, il ne serait pas pertinent de calculer les volumes prélevables pour l'Authion sans cette réalimentation.

De ce fait, nous utiliserons les terminologies suivantes :

- « désinfluencé-réalimenté » pour les unités de gestion concernées par une réalimentation (UG 1,2,3,6 et7)
- « désinfluencé » pour les unités de gestion non concernées par une réalimentation
- la terminologie « sans usages » est également employée, notamment dans les figures. Elle fait référence au scénario désinfluencé ou désinfluencé -réalimenté.

Le guide HMUC publié par l'AELB en juin 2022 précise :

« Dans le cas d'un cours d'eau réalimenté par soutien d'étiage ou par des rejets industriels ou d'assainissement collectif, il se peut que le débit naturel (excluant les réalimentations) soit inférieur au débit influencé (incluant les réalimentations). Il convient dans ce cas précis d'analyser la qualité et la pérennité de ces rejets au regard des besoins des milieux et d'évaluer un débit écologique prenant en compte les objectifs de bon état physicochimique des cours d'eau. »

Dans le cas de la réalimentation issue de la Loire ou de la retenue de Rillé, nous considérons que cette réalimentation est pérenne et que sa qualité n'est pas susceptible de dégrader la qualité des cours d'eau.

Cette situation, prévue au cahier des charges de la présente étude, a été rappelée lors du COPIL du 4 juillet 2022.

3.6.2 Analyse des bilans hydrologiques à l'exutoire des stations

Les résultats en situation désinfluencée sur la chronique 2001-2021 pour les stations du Val d'Authion (Pont Bourguignon et Gué de Fresne) sont présentés en pages suivantes. Les stations du Val d'Authion montrent une hausse plus nette des débits désinfluencés par rapport aux débits actuels en période estivale (juin-septembre), où se concentrent les principaux usages agricoles.

Globalement à l'échelle du bassin versant de l'Authion, les débits mensuels minimums d'une fréquence de retour de 5 ans (QMNA5) sont globalement plus élevés en situation sans usages.

À l'exutoire du bassin versant de l'Authion (UG1), l'impact des prélèvements et des rejets sur le QMNA5 est de 265 litres par seconde soit près de 700 000 m³ par mois.

Pour certaines unités de gestion, les débits désinfluencés sont supérieurs aux débits influencés. Il s'agit des unités de gestion pour lesquelles les rejets domestiques ou industriels soutiennent

fortement les débits estivaux, alors que la pression de prélèvements est modérée. C'est le cas les UG 3 et 9, pour lesquels le maximum des rejets est respectivement de 8.74 l/s et 3.15 l/s, soit 79% et 5% du QMNA5.

Le tableau ci-dessous synthétise les débits caractéristiques calculés pour chaque UG.

Q (m ³ /s)	UG1	UG2	UG3	UG4	UG5	UG6	UG7	UG7b	UG8	UG9	UG10	
Débits moyens mensuels	Jan.	8.41	2.89	2.21	0.43	1.23	1.84	1.33	0.18	0.23	0.65	0.78
	Fév.	9.09	3.06	2.39	0.43	1.27	2.15	1.60	0.19	0.43	0.67	0.84
	Mars	7.19	2.40	1.83	0.34	1.02	1.69	1.29	0.14	0.41	0.50	0.67
	Avr.	4.63	1.54	1.11	0.20	0.64	1.07	0.83	0.08	0.32	0.29	0.42
	Mai	3.74	1.36	0.90	0.13	0.57	0.81	0.61	0.068	0.25	0.23	0.34
	Juin	2.97	1.32	0.73	0.089	0.43	0.68	0.54	0.048	0.30	0.16	0.24
	Juil.	2.60	1.33	0.59	0.052	0.26	0.69	0.61	0.028	0.47	0.10	0.16
	Août	2.52	1.20	0.47	0.037	0.20	0.66	0.60	0.020	0.50	0.070	0.13
	Sept.	1.79	1.06	0.39	0.037	0.18	0.48	0.43	0.017	0.34	0.062	0.12
	Oct.	2.69	1.01	0.56	0.11	0.39	0.56	0.44	0.043	0.18	0.15	0.22
	Nov.	4.78	1.61	1.11	0.25	0.74	0.97	0.70	0.10	0.13	0.34	0.43
	Déc.	7.08	2.39	1.79	0.37	1.09	1.45	1.03	0.15	0.12	0.54	0.65
Module	4.80	1.76	1.17	0.20	0.68	1.08	0.83	0.088	0.31	0.31	0.42	
Médian	3.61	1.36	0.88	0.15	0.57	0.81	0.65	0.068	0.24	0.24	0.32	
QMNA2	1.55	0.63	0.23	0.010	0.12	0.41	0.34	0.006	0.075	0.020	0.089	
QMNA5	1.00	0.51	0.17	0.003	0.11	0.26	0.19	0.001	0.045	0.004	0.077	

Tableau 5 : Débits caractéristiques par UG en situation désinfluencée

Une comparaison entre les débits influencés et désinfluencés-réalimentés est présentée à la page suivante.

Un gradient de couleur a été ajouté permettant d'identifier les mois où l'impact des prélèvements et des rejets est le plus fort. Le pourcentage indiqué correspond à la part du débit désinfluencé-réalimenté impacté par les usages.

Sur l'UG 1, les usages occasionnent une baisse des débits de l'ordre de 31% du débit moyen mensuel du mois de juillet et du mois d'août.

En vert figurent les débits influencés supérieurs aux débits désinfluencés-réalimentés. Ainsi, au mois de septembre et octobre les débits influencés à l'exutoire de l'UG 1 sont supérieurs de 6% et 7% aux débits désinfluencés-réalimentés. Dans ces cas, ce sont les rejets domestiques et industriels qui contribuent à l'augmentation des débits.

L'UG7 bis (Riverolle) se distingue par un impact très fort des usages sur les débits, notons qu'il s'agit d'un cours d'eau aux très faibles débits pour lesquels les différences sont tout de suite très significatives.

Q (m³/s)	UG1	UG2	UG3	UG4	UG5	UG6	UG7	UG7b	UG8	UG9	UG10	
Débits moyens mensuels	Jan.	1%	0%	1%	0%	-1%	-1%	-2%	-13%	0%	0%	0%
	Fév.	2%	0%	1%	0%	-1%	0%	-1%	-12%	2%	0%	0%
	Mars	1%	0%	1%	0%	-1%	0%	-2%	-17%	0%	0%	0%
	Avr.	0%	-3%	2%	0%	-3%	0%	-1%	-10%	0%	0%	0%
	Mai	-2%	-5%	1%	0%	-4%	-1%	-2%	-19%	0%	0%	-3%
	Juin	1%	-7%	1%	1%	-5%	-5%	-2%	-20%	0%	6%	0%
	Juil.	-31%	-18%	-2%	-4%	-8%	-15%	-3%	-27%	0%	0%	0%
	Août	-31%	-19%	-2%	8%	-5%	-14%	-3%	-25%	0%	1%	-8%
	Sept.	6%	-6%	3%	8%	-6%	-4%	-2%	-31%	0%	2%	0%
	Oct.	7%	-1%	3%	0%	-3%	0%	-2%	-23%	0%	0%	0%
	Nov.	2%	0%	2%	0%	-1%	0%	-1%	-23%	0%	0%	-2%
	Déc.	1%	0%	1%	0%	-1%	0%	-1%	-15%	0%	0%	0%
Module	-1%	-3%	1%	0%	-1%	-2%	-1%	-10%	0%	0%	-2%	
Médian	-3%	-5%	2%	0%	-2%	0%	-3%	-13%	0%	0%	0%	
QMNA2	-13%	2%	4%	0%	-20%	-5%	0%	-100%	-7%	9%	-2%	
QMNA5	-35%	-11%	6%	0%	-22%	-30%	-12%	0%	-13%	43%	-4%	

Tableau 6 : Ecarts des débits influencés et désinfluencés (% par rapport au débits désinfluencés-réalimentés)

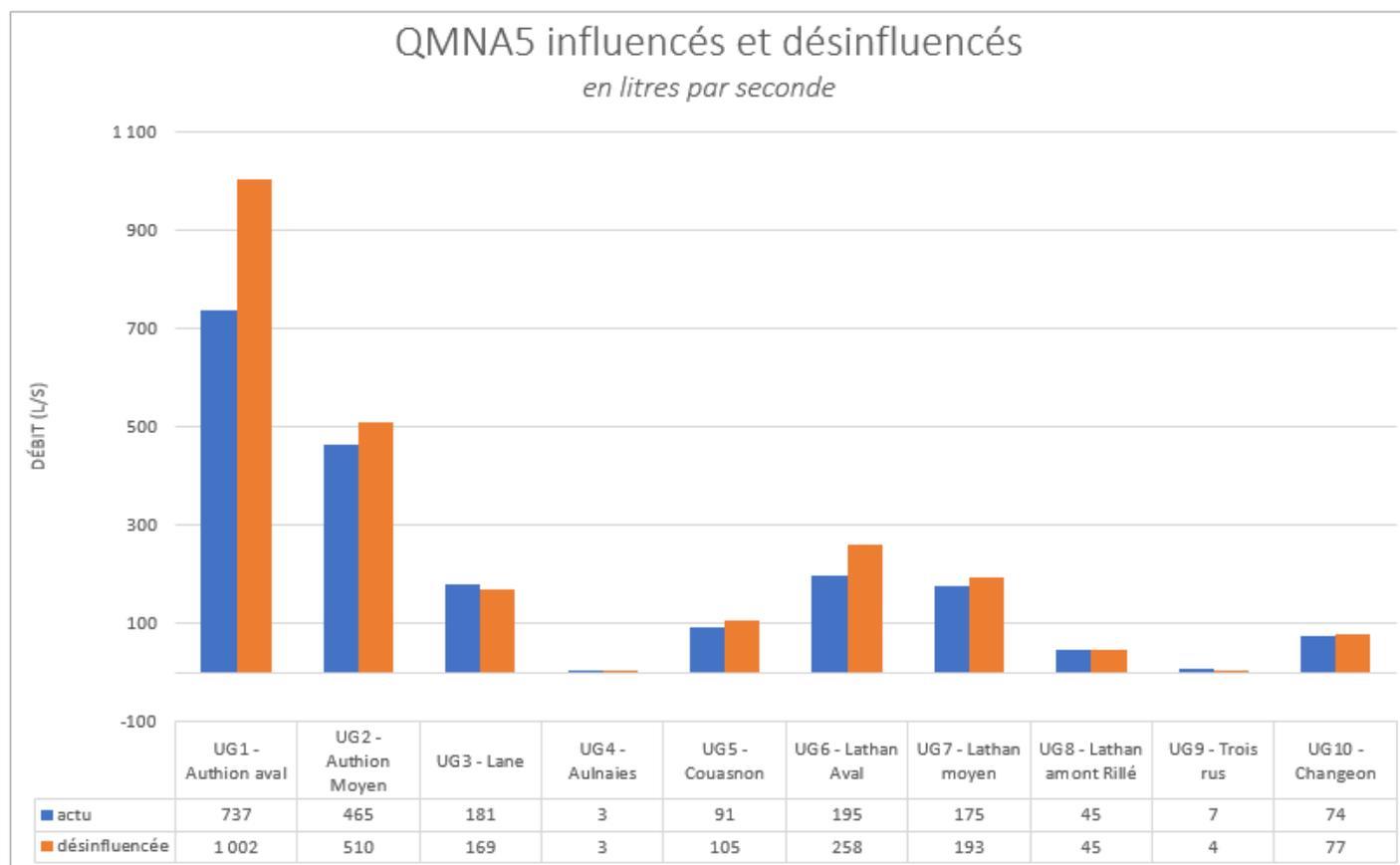
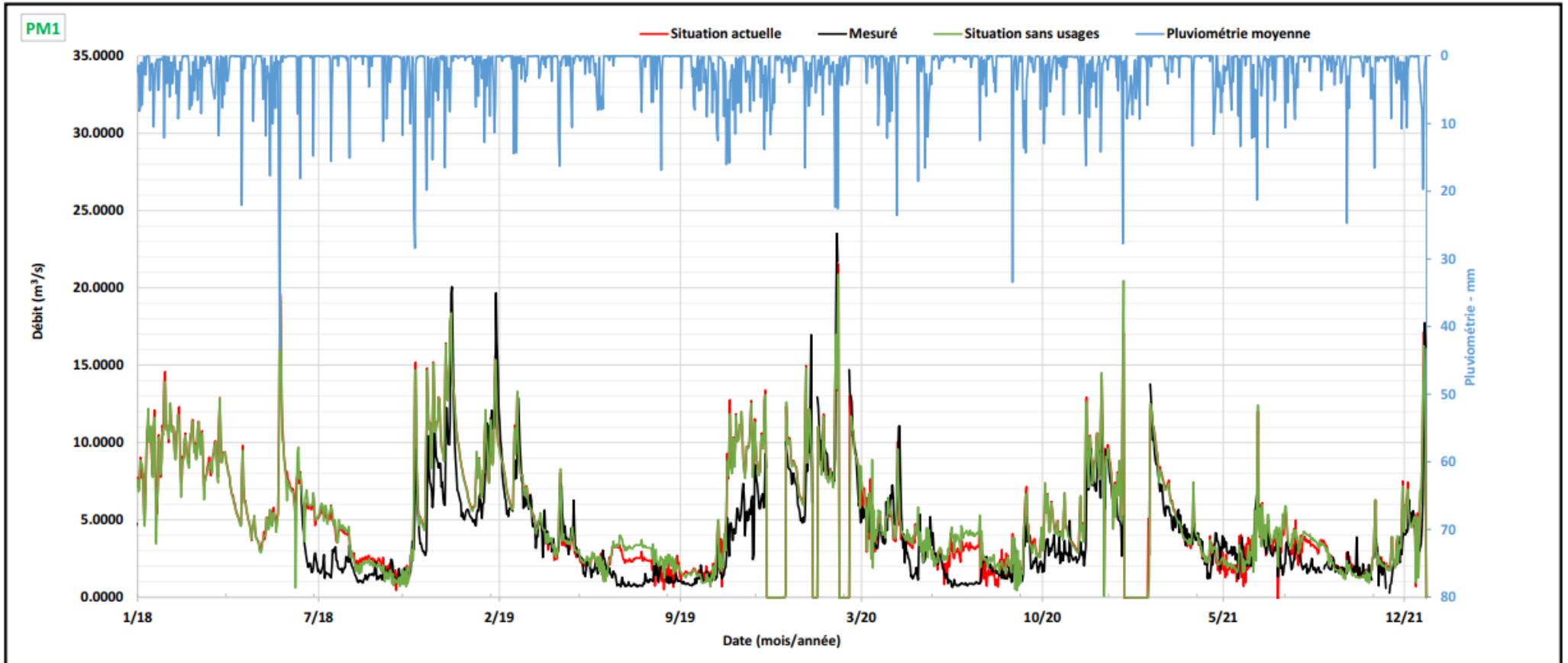
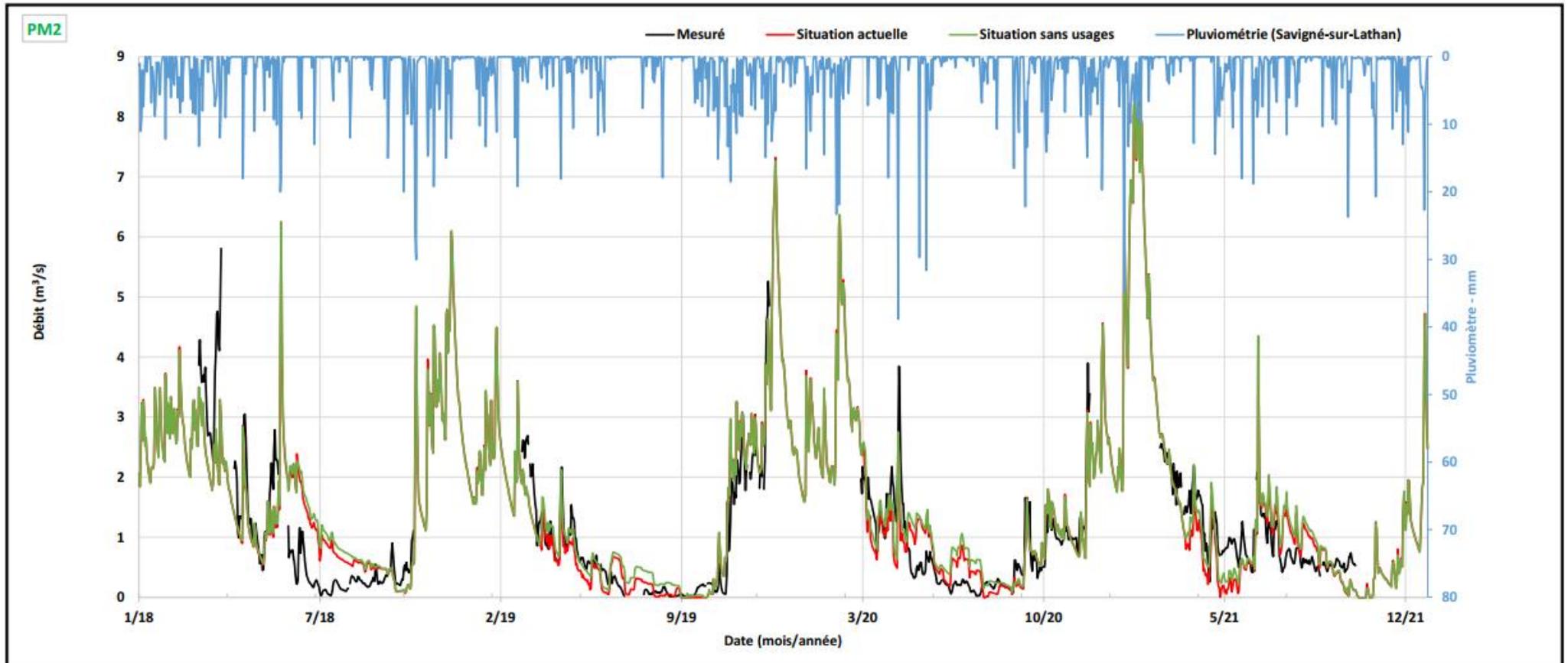


Figure 3-18 : QMNA5 influencés et désinfluencés par UG

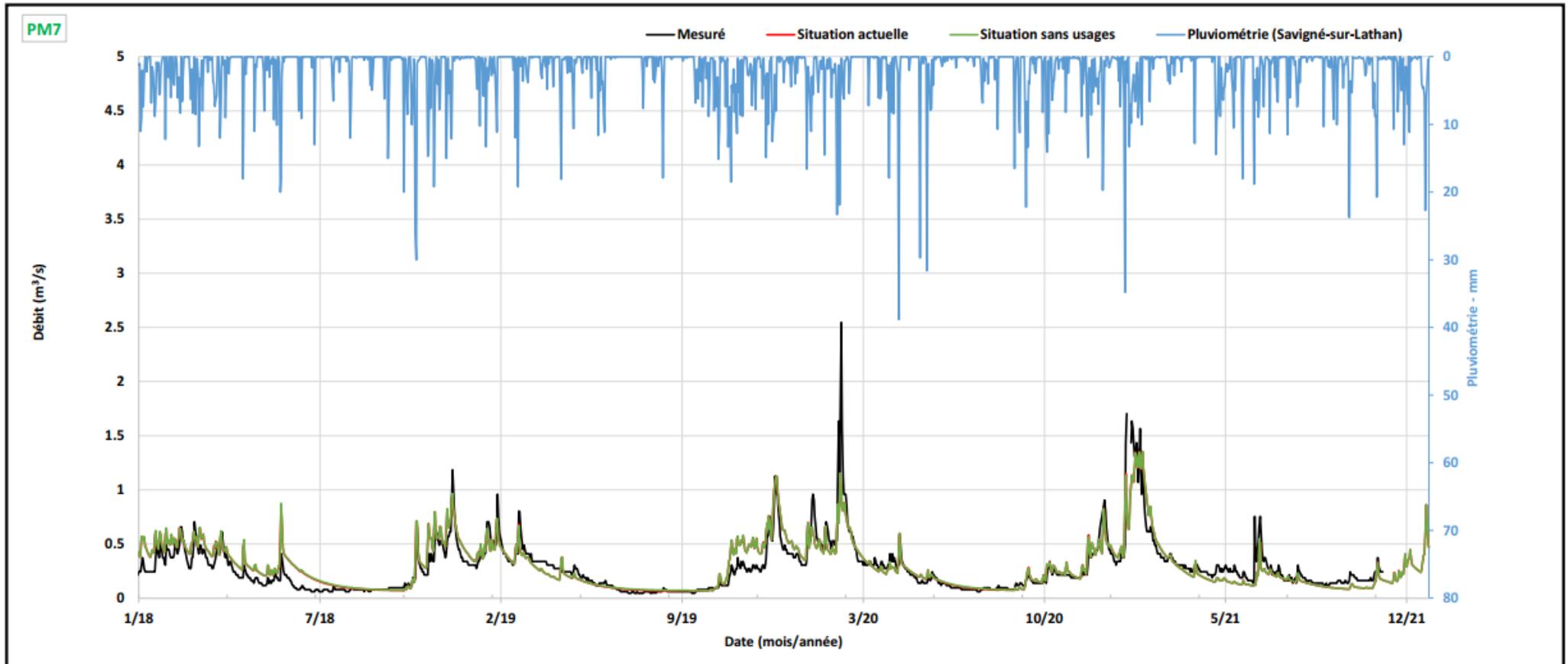
Situation sans usages : 2018-2021



Situation sans usages : 2018-2021



Situation sans usages : 2018-2021



3.7 SYNTHÈSE DE L'IMPACT DES PRÉLEVEMENTS A L'EXUTOIRE DU BASSIN VERSANT DE L'AUTHION

A l'exutoire du bassin versant, les effets des prélèvements sur les débits sont les plus visibles car cumulés. Nous représentons ci-dessous les débits influencés et désinfluencés pour chaque mois de l'année. Les « boîtes à moustaches » représentent la dispersion des valeurs annuelles pour chaque mois :

- Le débit minimum atteint au mois d'avril est de 2 m³/s, le débit maximal est de 8 m³/s et la médiane est de 4 m³/s.
- Les débits du mois d'octobre sont les plus dispersés, avec des valeurs minimales proches du DOE (0.5 m³/s) et des valeurs maximales dépassant les 10 m³/s.
- A l'inverse, pour le mois de septembre les débits ne s'étalent que de 1 à 3 m³/s.

Pour chaque mois, la différence entre la situation influencée et désinfluencée est représentée :

- Les débits désinfluencés sont plus élevés que les débits influencés pour les mois d'avril et de novembre (période non réalimentée) et de juillet-août (période réalimentée).
- Pour les mois de mai et octobre, les débits désinfluencés sont plus faibles qu'en situation actuelle, du fait de prélèvements faibles et d'une absence de soutien par les rejets domestiques et industriels.
- Les plus faibles débits moyens et médians sont constatés en septembre, mais c'est en juillet, août et octobre que les débits minimums sont observés. Ces débits minimums approchent le débit objectif étiage (DOE³).

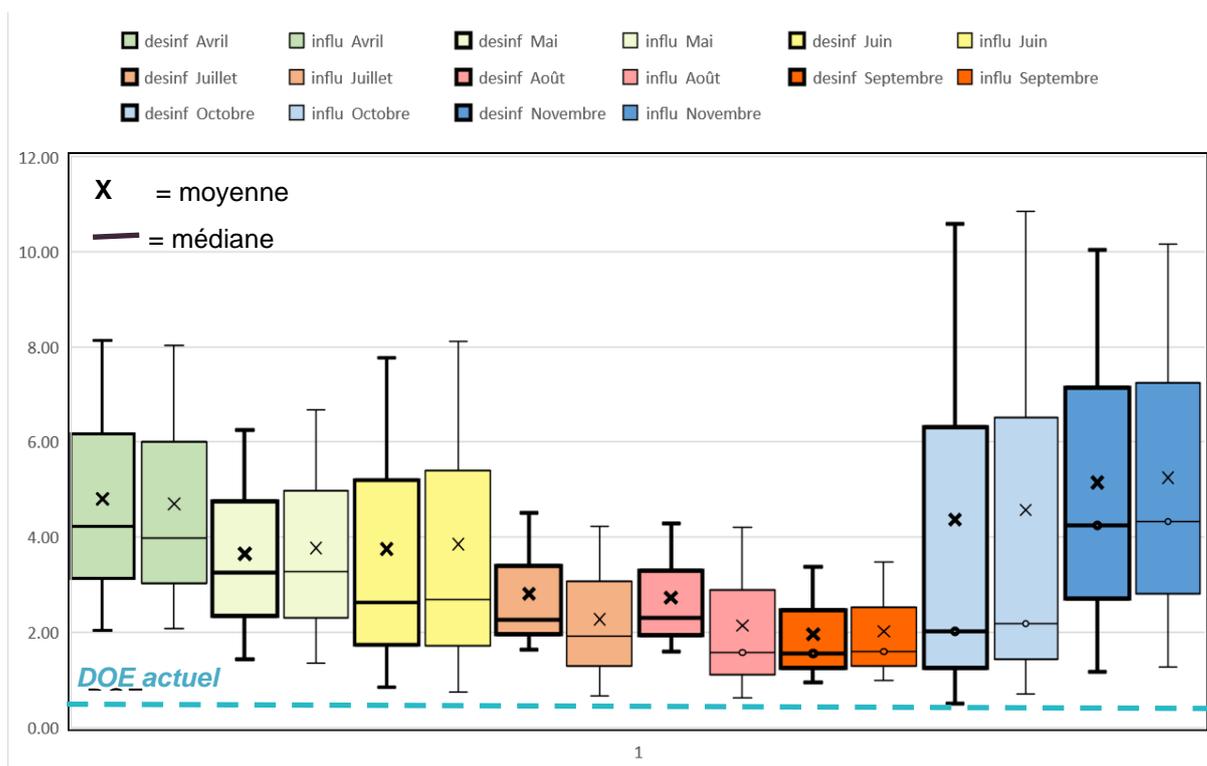
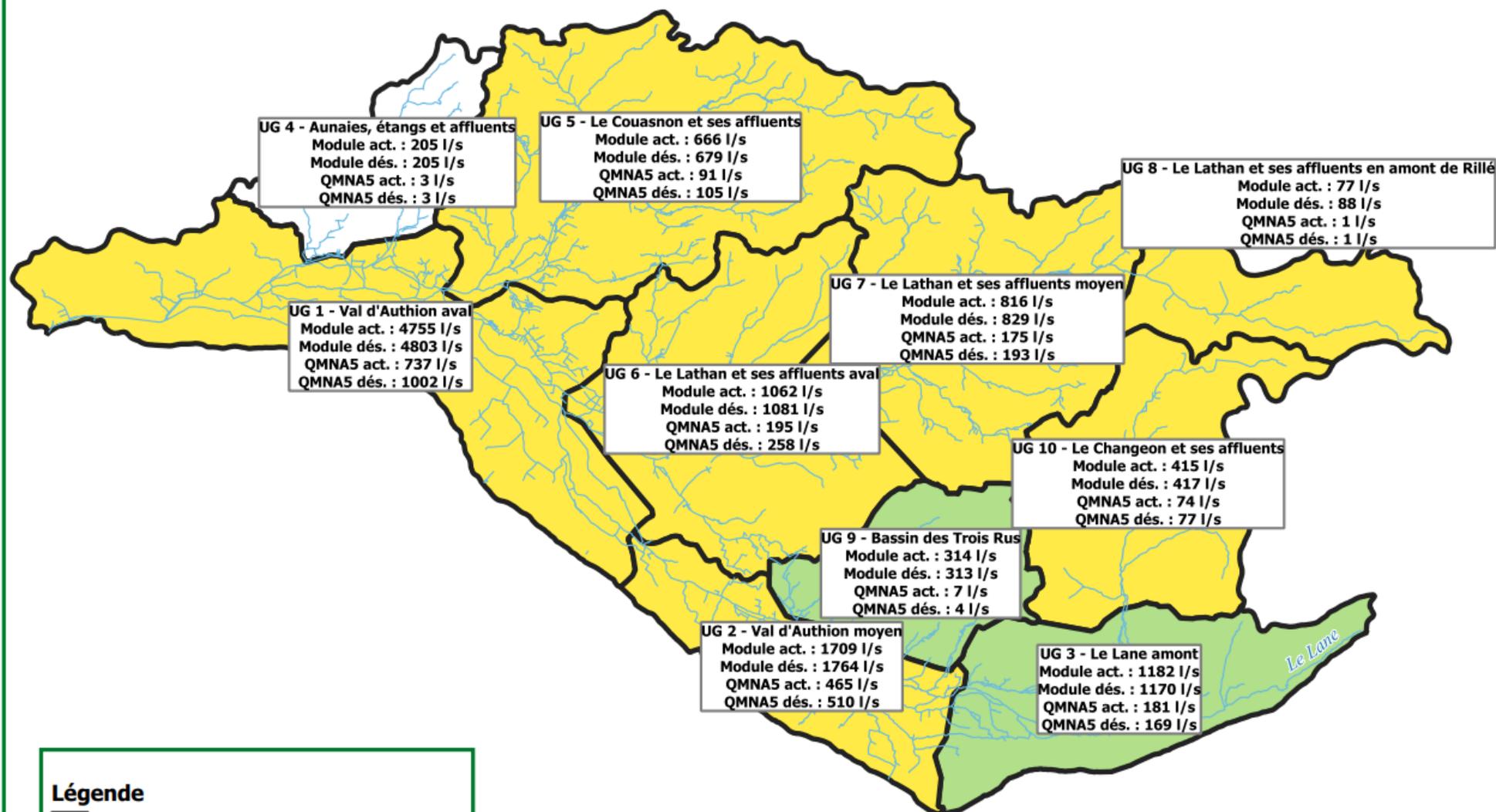


Figure 3-19 : Ecart des débits influencés et désinfluencés pour la chronique 2001-2021 à l'exutoire du bassin versant (UG1) pour la période avril à novembre

³ Le Débit Objectif d'Étiage* (DOE) défini à un point nodal est la valeur de débit moyen mensuel permettant de satisfaire l'ensemble des usages en moyenne huit années sur dix et d'atteindre le bon état des eaux.

Module et QMNA5 par UG en situation actuelle et désinfluencée



Légende

- Débits actuels < débits désinfluencés
- Débits actuels > débits désinfluencés
- Débits actuels = débits désinfluencés



3.8 PRISE EN COMPTE DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR L'ANNEE DE 2020 EN ABSENCE D'USAGES

3.8.1 Calcul de l'impact du changement climatique à l'horizon moyen

Afin d'étudier les effets du changement climatique, nous avons choisi de considérer l'état de la ressource pour l'année 2020 considérée comme une année normale au regard de la période de référence :

- Pluviométrie de l'année 2020 à Beaucouzé : 746,4 mm (+8 % par rapport à la période 1981-2010) ;
- Température moyenne de l'année 2020 à Beaucouzé : 13.8 °C (+1,6 °C par rapport à la période 1981-2010).

Dans le modèle superficiel, la prise en compte du changement climatique a été considérée de la manière suivante (cf. rapport de phase 1) :

- +2 °C appliqués aux températures journalières de l'année 2020. Les nouvelles valeurs de l'ETP ont été calculées sur la base de cette augmentation de température ;
- +10 mm sur le cumul de précipitations hivernales de l'année 2020 (décembre 2019 et-janvier-février 2020) ;
- -10 mm sur le cumul des précipitations estivales de l'année 2020 (juin-juillet-août).

Pour rappel, l'évolution des précipitations est plus incertaine que l'évolution des températures, sur laquelle tous les modèles climatiques convergent.

3.8.2 Résultats des simulations

Les résultats par UG pour l'année de 2020 en situation actuelle, désinfluencée et projetée sont présentés en pages suivantes.

D'après le modèle, l'impact du changement climatique sur les débits est de 0.2 m³/s en moyenne, soit 6.3 millions de m³ pour l'année 2020 (3.6 % du volume annuel écoulé en 2020).

Néanmoins, à partir du mois d'août, l'impact sur les débits n'est presque pas visible dans le modèle superficiel. En effet, à partir de cette période l'essentiel :

- des réservoirs de sol de la couche insaturée sont quasiment vides
- des cours d'eau sont alimentés par les apports de nappes ou par la réalimentation (Mousseaux/Loire).

Or, le modèle n'intègre pas de variation de ce débit « de base » en fonction du changement climatique.

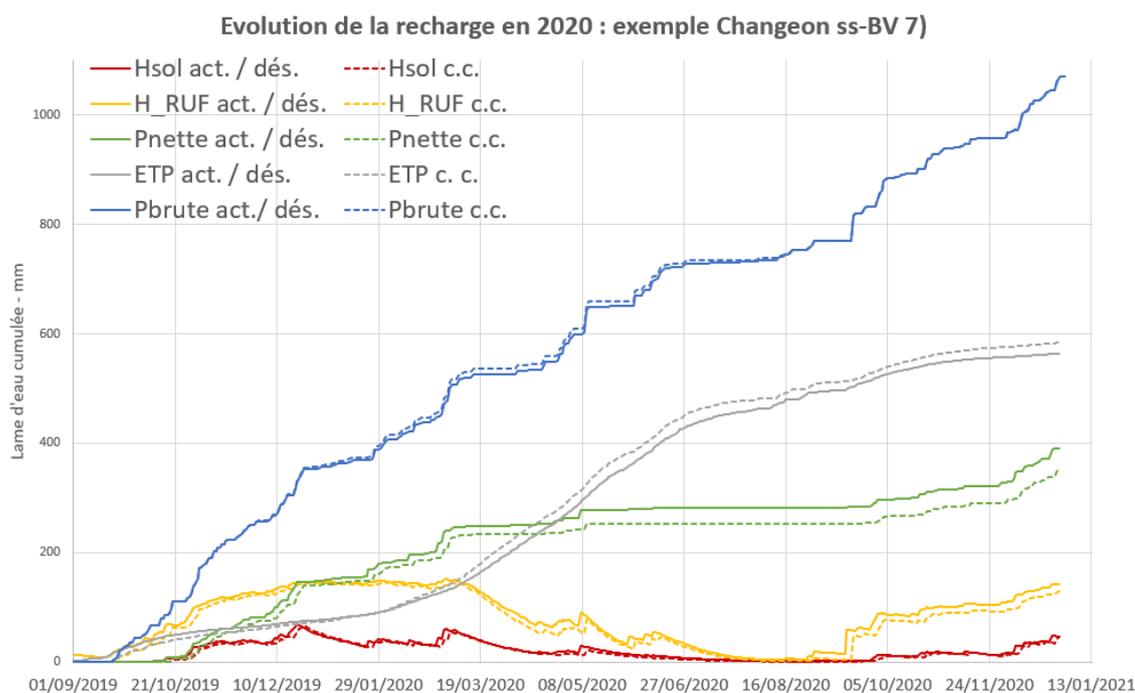


Figure 3-20 : Evolution de la recharge en 2020 en situation actuelle (act.), désinfluencée (des.) et désinfluencée + changement climatique (c. c.) – exemple sur le Changeon (sous-bassin versant 7)

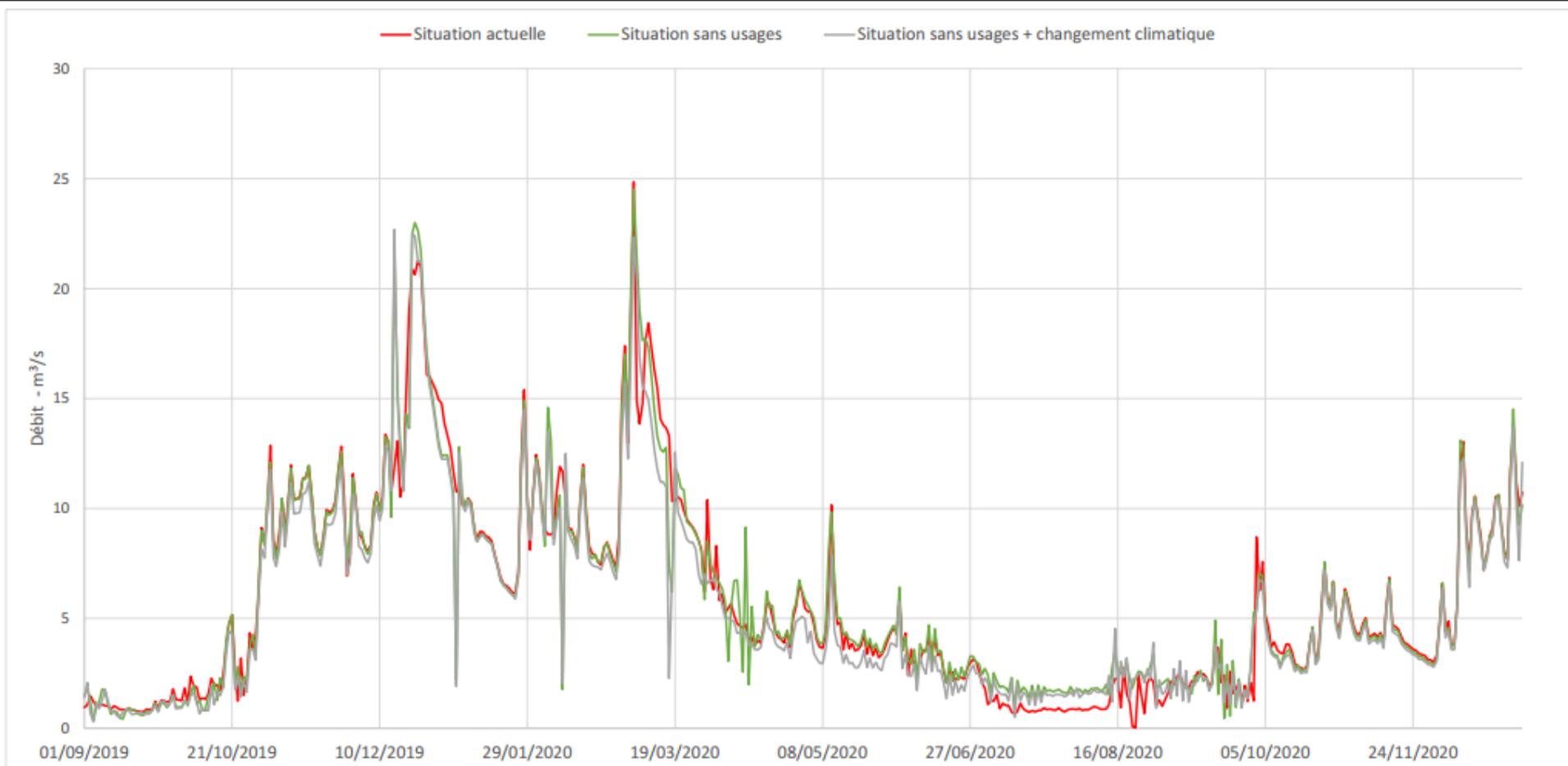
	Année 2020	Année 2020 + c.c.	Evolution
Pluie brute (mm)	1070	1070	0%
Evapotranspiration (mm)	564	584	+4%
Pluie nette (mm)	390	355	-9%
Ruissellement (mm)	20	18	-9%
Infiltration (mm)	371	337	-9%
Ressuyage du sol (mm)	100	88	-11%
Infiltration vers nappe (mm)	227	203	-11%
Recharge maximale du réservoir de surface	69	67	-2%
Recharge maximale du réservoir facilement utilisable (RFU)	152	146	-4%

Tableau 7 : Synthèse de l'évolution de la recharge pour l'année 2020 – exemple sur le Changeon (sous-bassin versant 7)

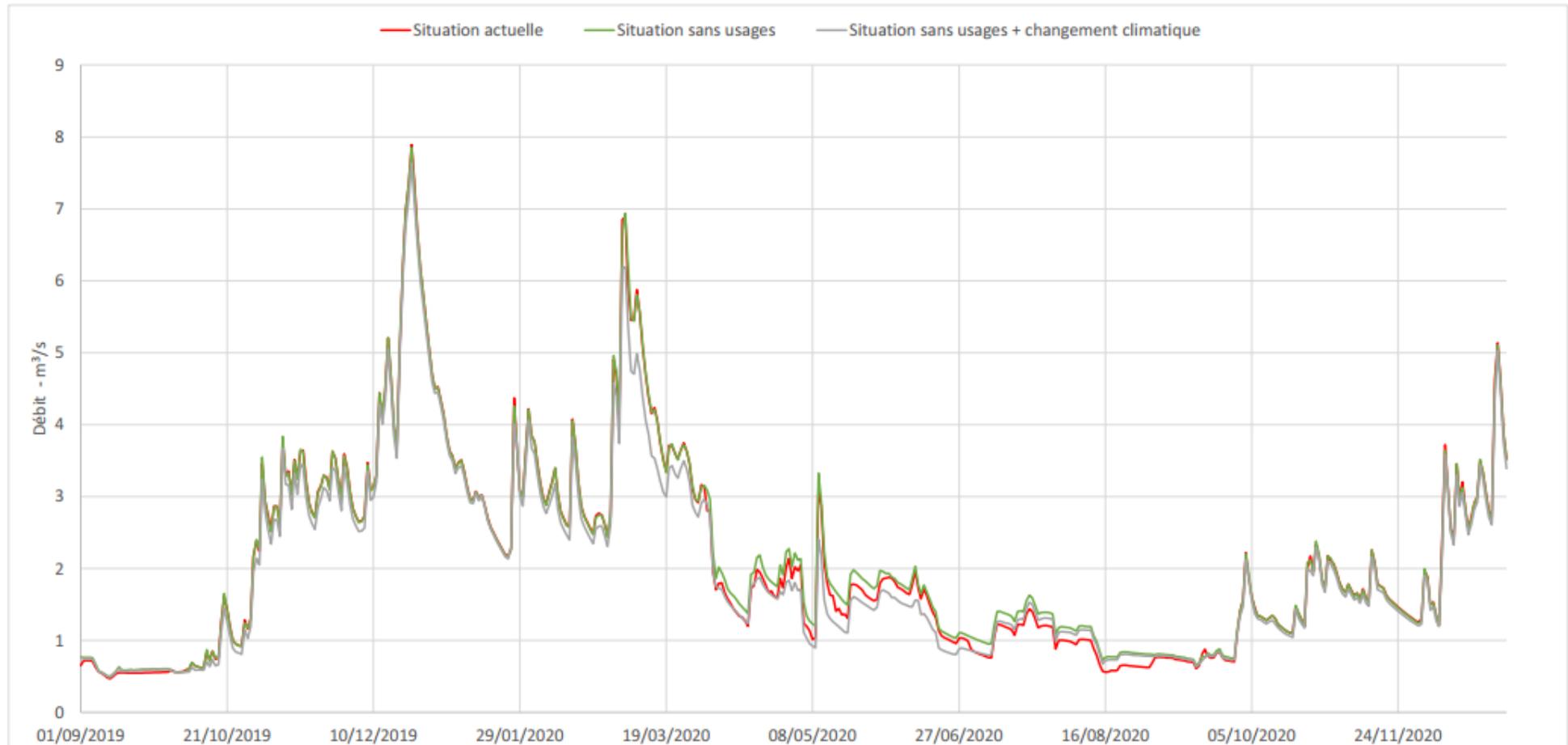
En conséquence cette baisse de 3.6 % est une variation optimiste de la baisse de la ressource disponible compte tenu du changement climatique. Elle n'intègre :

- ni la diminution de l'apport des sources
- ni l'éventuelle diminution des réalimentations à partir de la Loire.

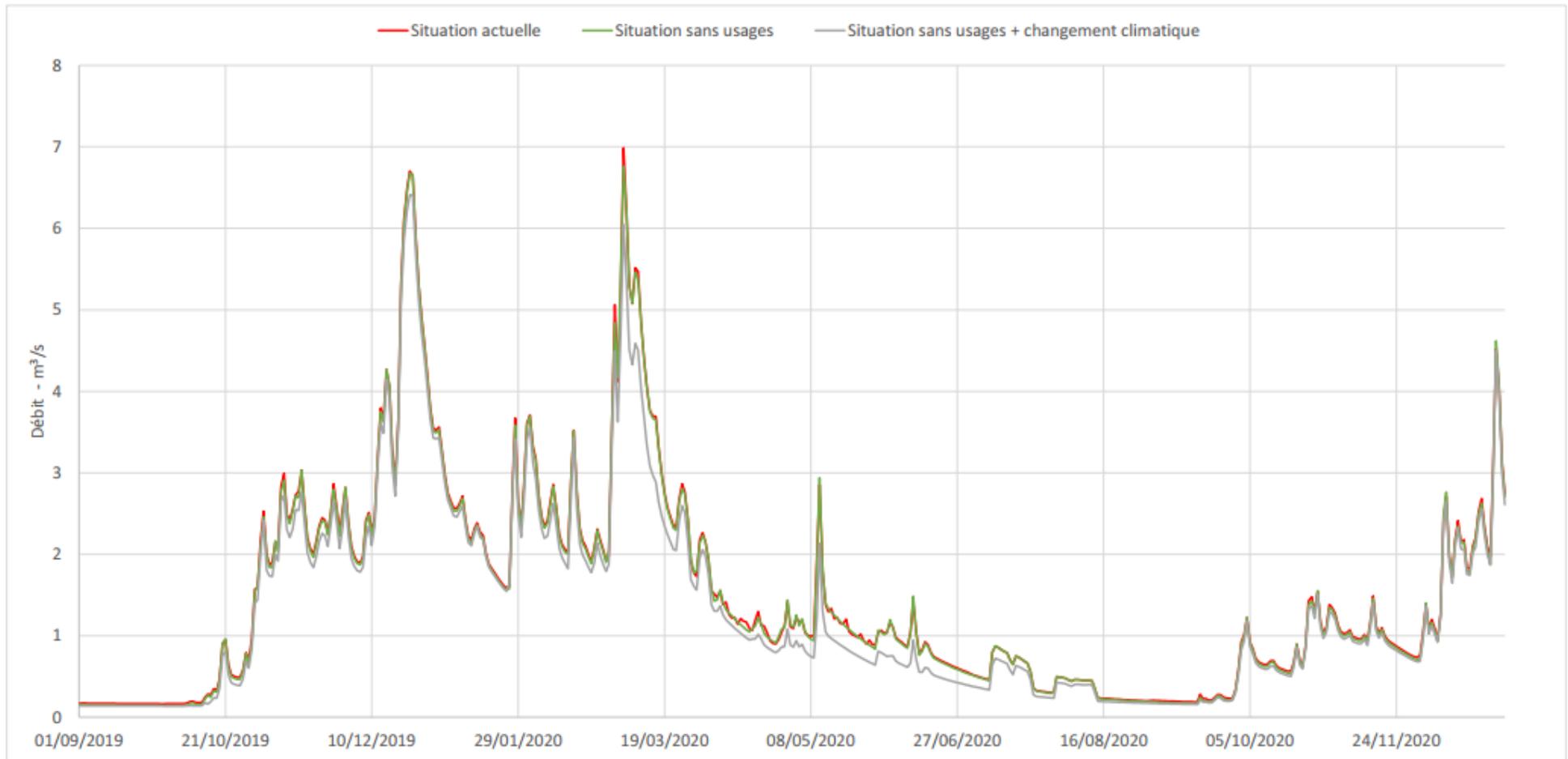
Situation sans usages avec changement climatique de sept 2019 à déc 2020



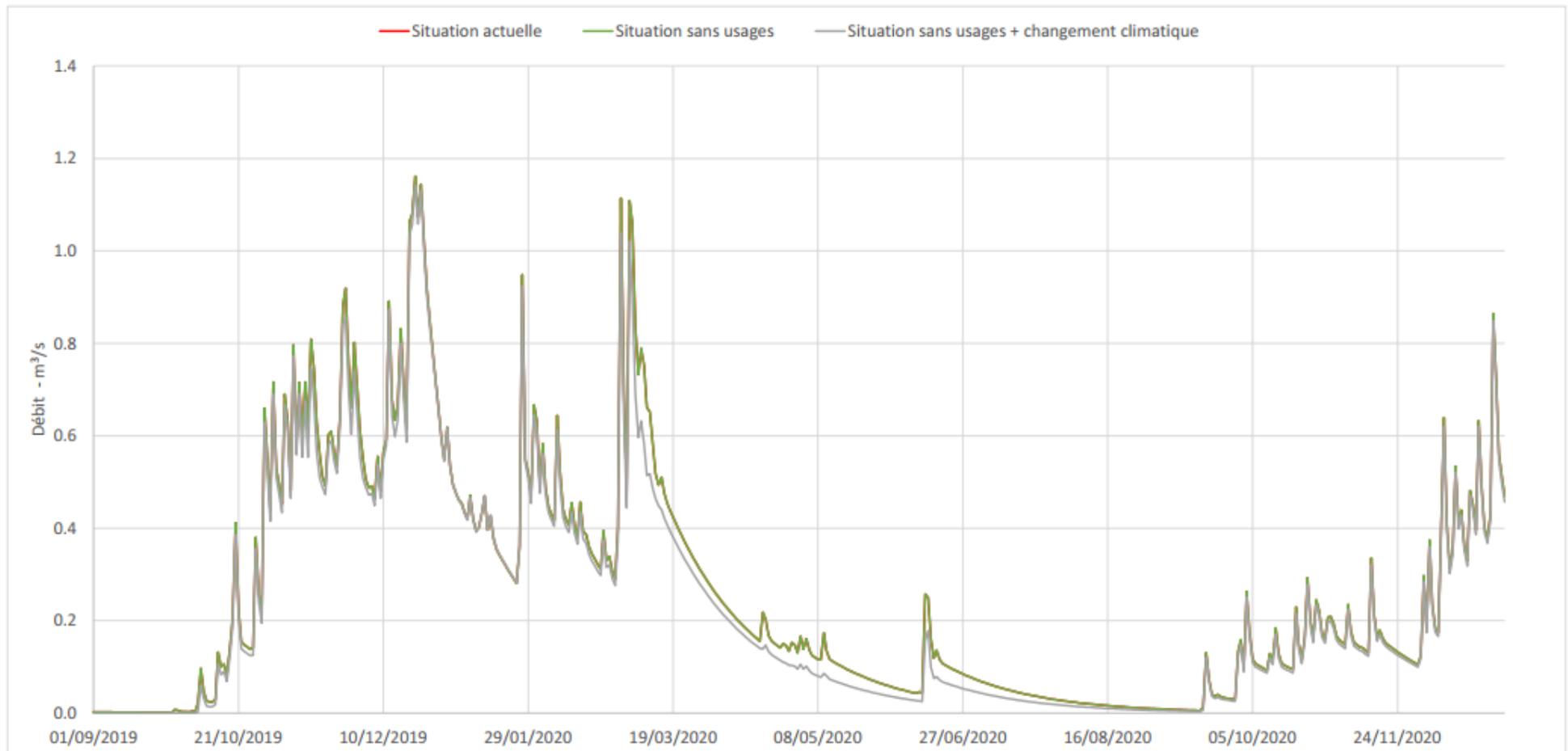
Situation sans usages avec changement climatique de sept 2019 à déc 2020



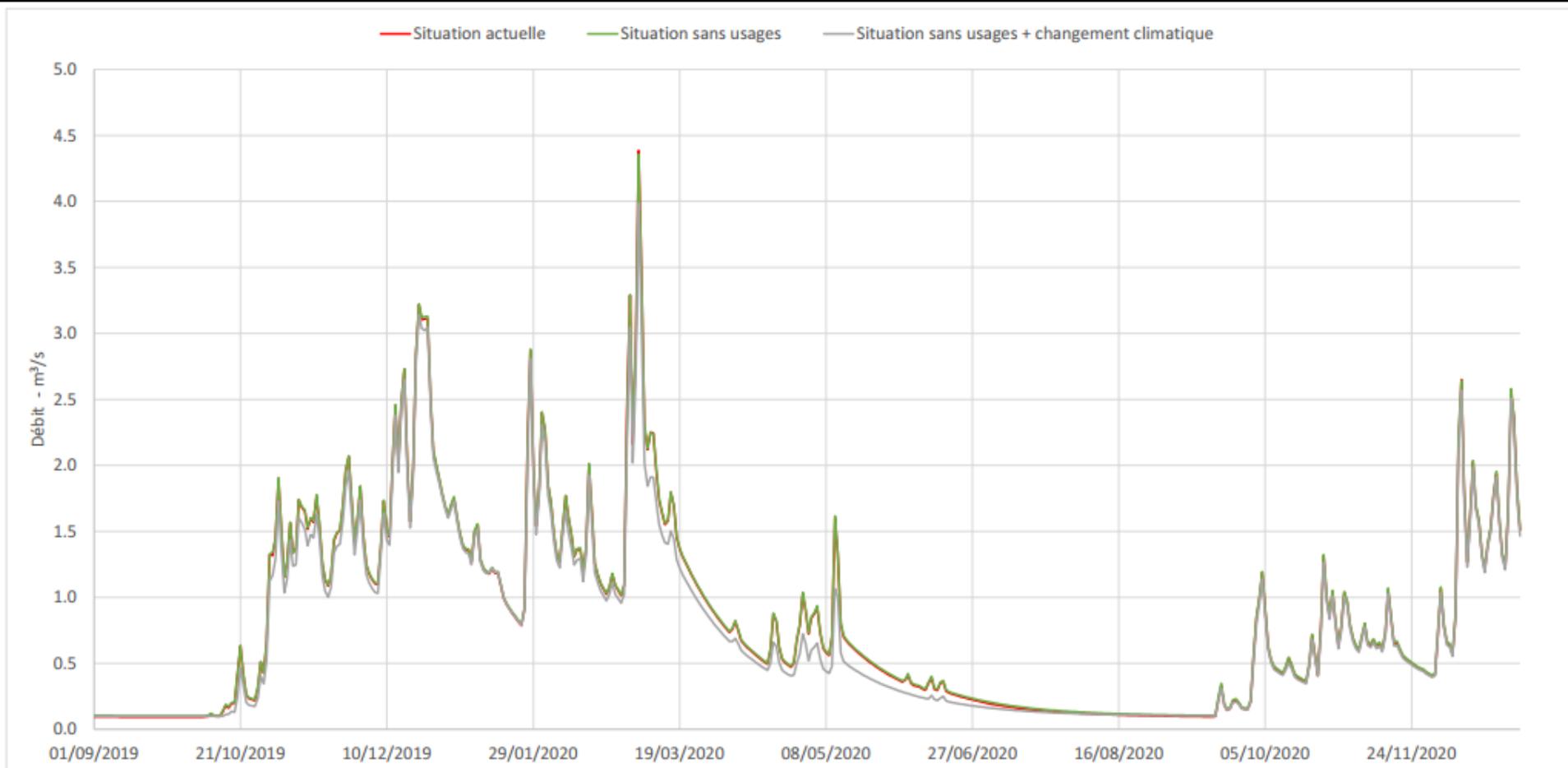
Situation sans usages avec changement climatique de sept 2019 à déc 2020



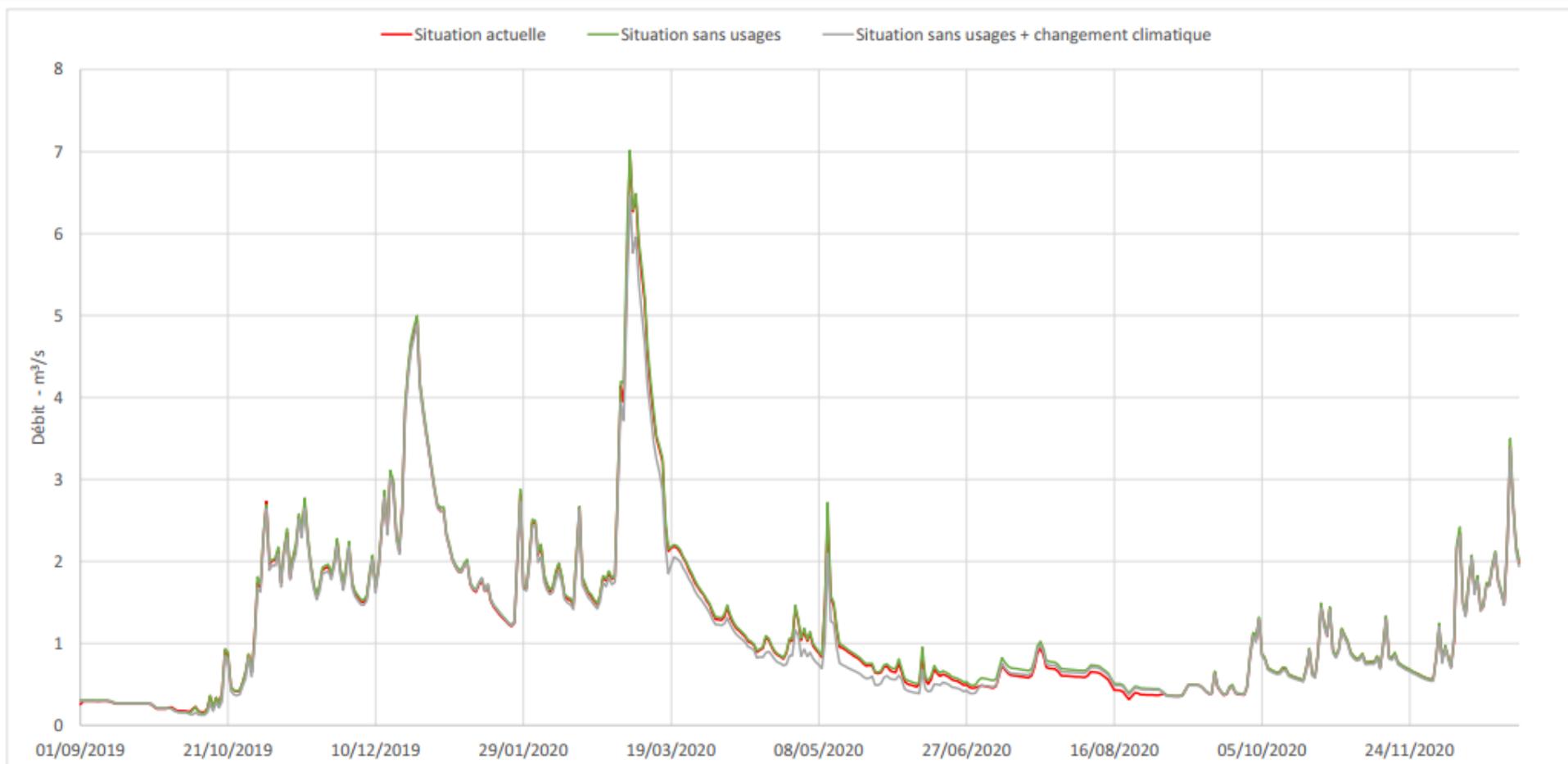
Situation sans usages avec changement climatique de sept 2019 à déc 2020



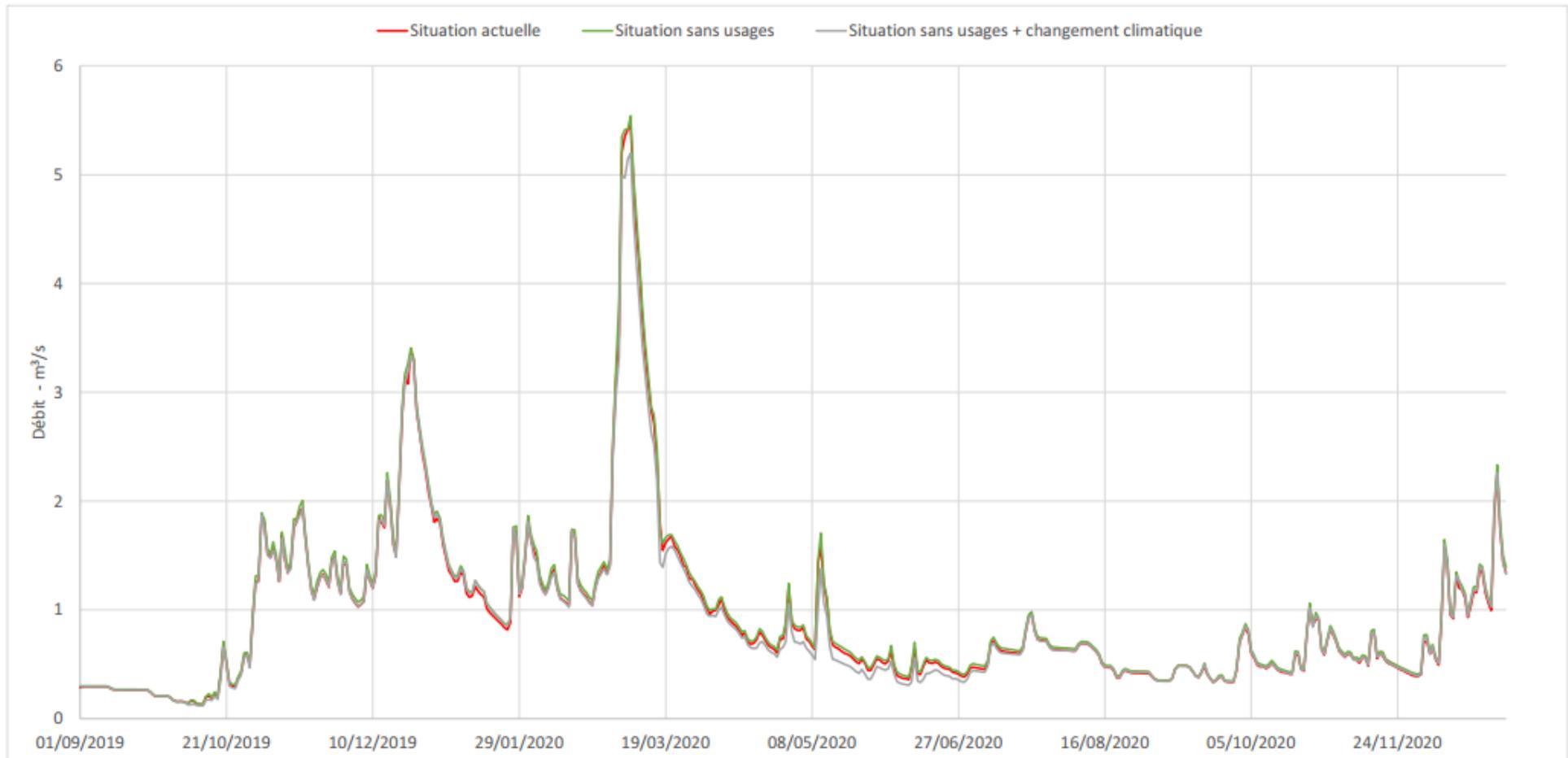
Situation sans usages avec changement climatique de sept 2019 à déc 2020



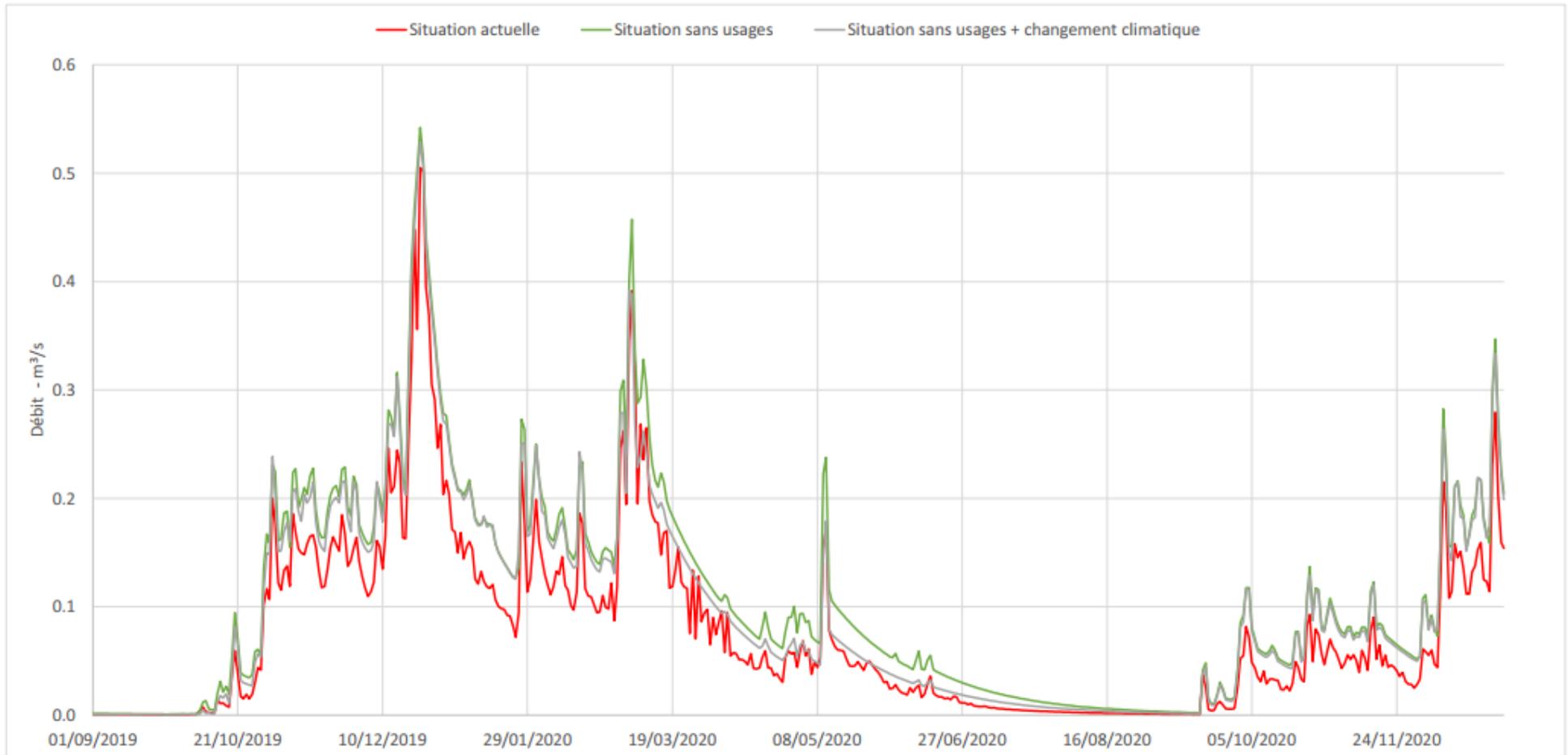
Situation sans usages avec changement climatique de sept 2019 à déc 2020



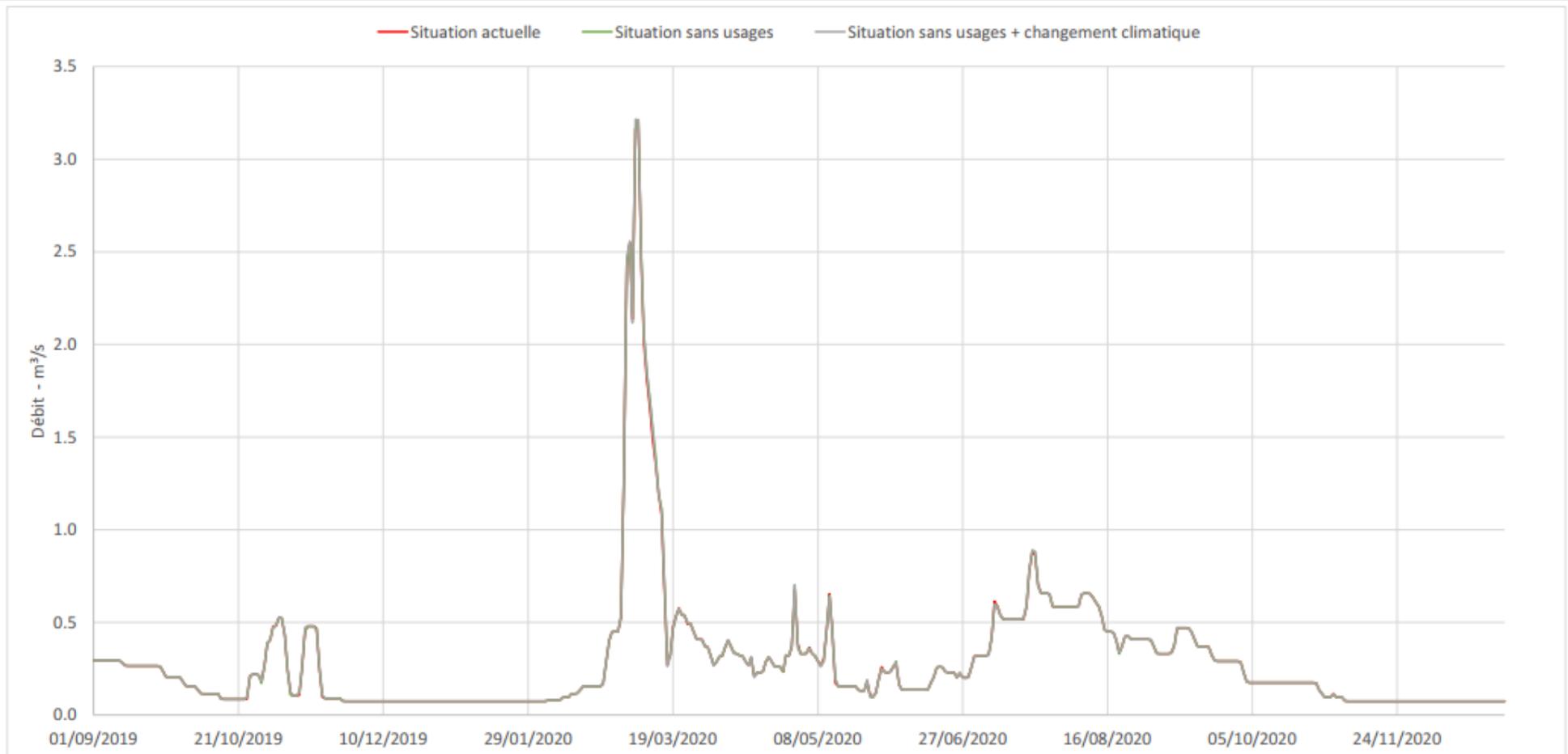
Situation sans usages avec changement climatique de sept 2019 à déc 2020



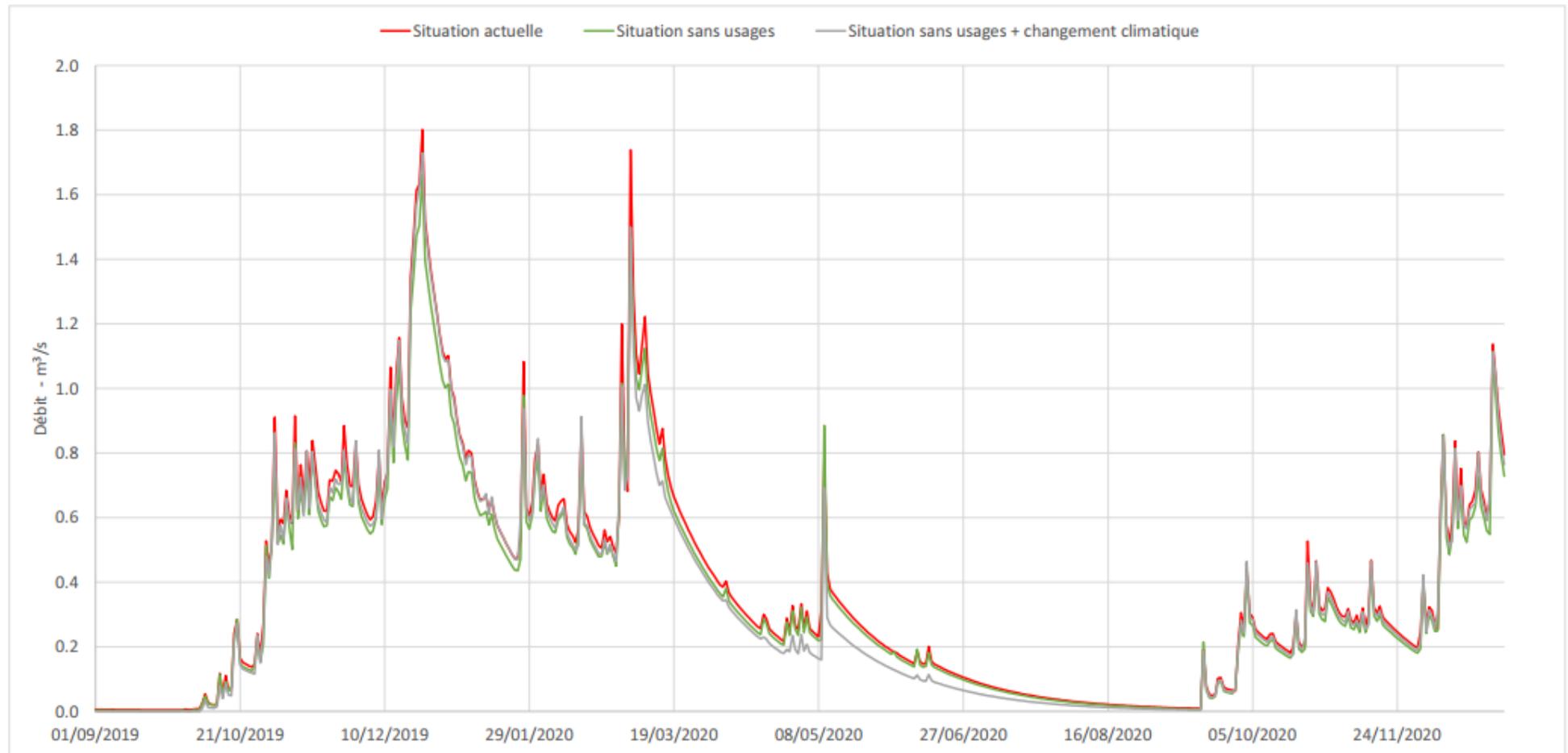
Situation sans usages avec changement climatique de sept 2019 à déc 2020



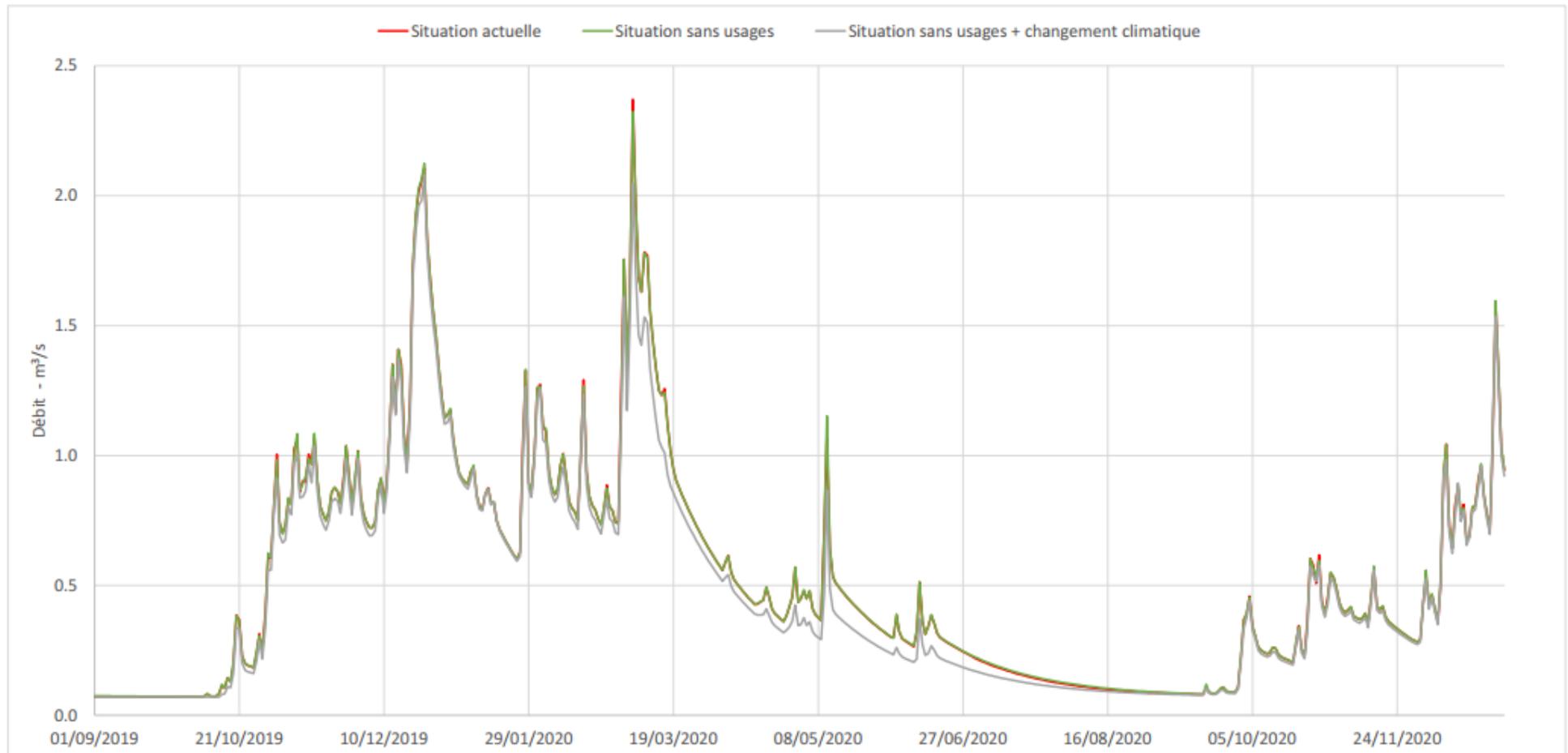
Situation sans usages avec changement climatique de sept 2019 à déc 2020



Situation sans usages avec changement climatique de sept 2019 à déc 2020



Situation sans usages avec changement climatique de sept 2019 à déc 2020



3.8.3 Nuances à apporter quant à l'intégration du changement climatique dans le modèle

Cette baisse de 3.6 % est une variation optimiste de la baisse de la ressource disponible compte tenu du changement climatique. Elle n'intègre :

- ni la diminution de l'apport des sources
- ni l'éventuelle diminution des réalimentations à partir de la Loire

Pour évaluer la baisse de la ressource en eau disponible, nous pouvons utilement nous appuyer sur les premiers résultats du projet EXPLORE 2, publiés en mars 2023 sur la plateforme DRIAS eau.

3.9 EFFETS DU CHANGEMENT CLIMATIQUE SUR LES DEBITS D'APRES LES PREMIERS RESULTATS DU PROJET EXPLORE 2

Le projet EXPLORE 2 met à disposition sur le portail **DRIAS Eau** les futurs de l'eau les effets des différents modèles climatiques, selon les scénarios d'émission de gaz à effets de serre, sur l'hydrologie. Ces résultats sont issus d'un modèle pluie-débit (SIM2) qui reconstitue les débits naturels (sans usages, sans réalimentation).

Pour l'Authion aux Ponts-de-Cé, le débit naturel moyen estival est de 1.58 m³/s tandis que ce débit est de 2.70 m³/s dans notre modèle hydraulique qui intègre la réalimentation estivale (sans usages).

Les valeurs brutes du portail DRIAS Eau ne sont donc pas exploitables pour la définition des volumes prélevables, puisque cela reviendrait à ne pas considérer la réalimentation en Loire comme prélevable. Néanmoins, il est intéressant d'observer les écarts relatifs, c'est-à-dire la différence en pourcentage, des débits tenant compte du changement climatique (scénario RCP 8.5, médiane multimodèles) avec la période de référence, suivant les saisons.

On observe que les débits futurs tendent à être plus importants pour la période hivernale et **en diminution pour la période estivale et automnale (-9% et -3% sur l'Authion aux Ponts-de-Cé).**

La diminution des débits est plus importante pour la Loire à Saumur, allant jusqu'à -24% en automne.

Écart relatif de la moyenne du débit : % de différence entre la période de référence et l'horizon moyen (2041-2070)				
RCP8.5 : Scénario avec émissions non réduites				
	printemps	été	automne	hiver
L'Authion aux Ponts-de-Cé	+14%	-9%	-3%	+12%
La Loire à Saumur	+4%	-14%	-24%	+14%

Tableau 8 : Écart relatif de la moyenne du débit : % de différence entre la période de référence et l'horizon moyen (2041-2070) d'après le scénario 8.5

Écart relatif de la moyenne du débit : différence entre la période considérée et la période de référence
 RCP8.5 : Scénario avec émissions non réduites
 Horizon moyen (2041-2070) - Moyenne estivale
 Produit multi-modèles : médiane de l'ensemble modèle hydrologique SIM2 forcé par l'ensemble DRIAS-2020

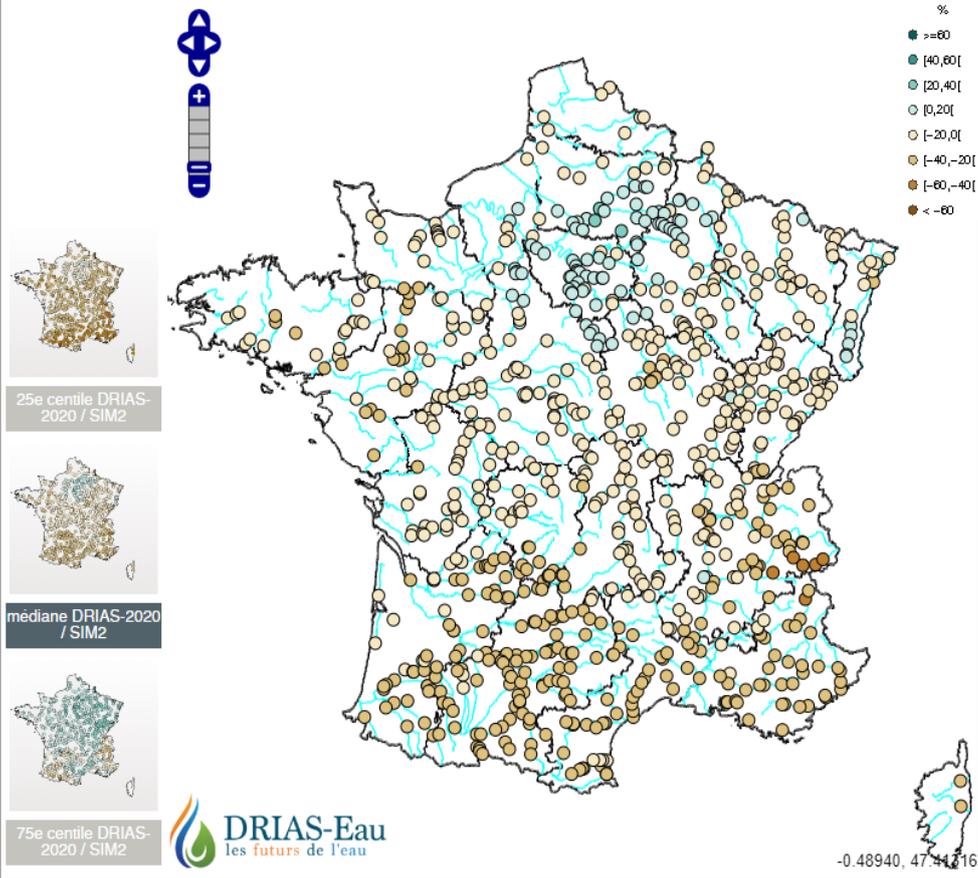


Figure 3-21 : Localisation des résultats de simulation de l'effet du changement climatique sur les débits dans le projet Explore 2

4. PRÉLÈVEMENTS SUPERFICIELS NON INCLUS DANS LE MODÈLE

Certains prélèvements ne sont pas inclus dans le modèle. Il s'agit de prélèvements non réglementés et dont la localisation n'est pas précisément connue.

Pour ces usages, une estimation par ratio est proposée, permettant d'obtenir un ordre de grandeur de l'impact global de ces usages en période estivale sur les débits des cours d'eau. Nous intégrerons cette estimation lors du calcul des volumes potentiellement mobilisables (VPM)⁴ en phase 3.

Une évaluation plus fine devrait nécessairement passer par une caractérisation plus précise de l'usage, qui n'est pas prévue dans le cadre de cette étude.

4.1 INTERCEPTION DES ECOULEMENTS PAR LES PLANS D'EAU EN PERIODE DE BASSES EAUX

Les plans d'eau sont remplis en période de hautes eaux. Les plans d'eau non connectés au milieu naturel n'ont ainsi pas d'effets sur les débits en période de basses eaux.

Toutefois, pour les plans d'eau connectés au milieu (cours d'eau situé sur la nappe d'accompagnement, ou sur le cours d'eau, ouvrages de prélèvements non étanches, etc...), une partie des écoulements sont captés par le plan d'eau.

Il est complexe d'estimer les volumes d'eau interceptés, qui dépendent du niveau de connexion des cours d'eau à leur milieu, du niveau de charge du plan d'eau (plein ou non) et du milieu.

La phase 1 de l'étude a permis d'estimer ces volumes :

- 200 000 m³ évaporés pour un mois d'été (juillet) par les plans d'eau connectés au milieu naturel
- Soit environ 15 000 à 30 000 m³ par unité de gestion (suivant la densité de plans d'eau connectés)

⇒ **Soit un effet d'interception des écoulements (plans d'eau sur cours d'eau ou connectés via la nappe d'accompagnement) évalué entre 1 et 2 l/s**

La carte du règlement du SAGE présente la densité de plans d'eau par sous-bassin versant. Il semble que les plans d'eau sont répartis de façon assez homogène. Nous notons, toutefois, une densité plus importante pour l'UG 9.

4.2 LUTTE ANTI-GEL PAR ASPERSION

L'aspersion anti-gel est un usage pratiqué en arboriculture et en viticulture. Néanmoins, cet usage est mal connu. La connaissance des prélèvements et des volumes en jeu s'améliore en même temps que l'élaboration de l'étude HMUC.

Une partie de la lutte anti-gel a été intégrée dans le modèle. Il s'agit des points d'aspersion dans le vignoble déclarés à la DDT. Néanmoins, pour l'usage viticole, les prélèvements sont majoritairement issus des plans d'eau non déclarés. Une régularisation est en cours.

⁴ Volume potentiellement mobilisable: volume qui peut être mobilisé dans un milieu naturel par l'ensemble des usages au sens large, qu'ils soient réglementés ou non (ex : abreuvement, sécurité civile...), qu'ils soient liés à un prélèvement actif ou non (ex : interception des flux évaporés par les plans d'eau).

Pour l'usage arboricole, un recensement a été réalisé en 2023 par la DDT 49 auprès d'une vingtaine d'exploitations situées sur la partie Maine-et-Loire du bassin de l'Authion.

Pour quantifier l'impact instantané maximal nous retenons :

- Une hypothèse de volume total prélevé de 1 000 000 m³ dont :
 - 250 000 m³ en superficiel (y compris plans d'eau)
 - 750 000 m³ en souterrain (y compris plans d'eau)
- Consommé sur 10 jours de l'année
- 6 unités de gestion sont concernées (n°1/2/3/6/7/9)
- Ainsi 250 000 m³/6 UG → 42 000 m³ par UG sur 10 jours → soit 4 200 m³/jour de gel
 - ⇒ **soit 48 l/seconde (impact instantané maximal - au printemps)**
 - ⇒ **rejets dans le milieu superficiel variable de 30 à 80%. En prenant un taux de restitution de 83% (taux retenu par la DDT 37), les rejets seraient d'environ 40 l/seconde**
 - ⇒ **pas d'effet sur les débits estivaux**

Nota : cette évaluation permet de constater l'impact instantané important pour les milieux. Toutefois, l'étude HMUC n'a pas pour objectif de déterminer un impact instantané qui devra prendre en compte d'autres paramètres non connus à ce jour : milieu exact du prélèvement (notamment part des plans d'eau, qui ont pour effet de différer l'impact sur le milieu), localisation des rejets, voire la qualité des rejets.

5. CONCLUSIONS ET SUITES

La modélisation des écoulements superficiels a permis de caractériser les débits désinfluencés pour les différentes unités de gestion. Pour les cours d'eau réalimentés, il s'agit des débits désinfluencés (c'est-à-dire sans prélèvements et rejets associés aux usages), mais tenant compte de la réalimentation.

Ce parti-pris initial permet de définir quels sont les volumes prélevables en tenant compte de cette réalimentation, qui fait l'objet d'un arrêté préfectoral délivré au SYDEVA, renouvelé en 2021 pour une durée de 10 ans.

À l'exutoire du bassin de l'Authion, l'impact des prélèvements et des rejets est de 3 % du débit médian et de 26 % du débit d'étiage quinquennal (QMNA5).

Notons que les UG 1 et 2 concentrent la majorité des prélèvements superficiels, étant notamment la ressource utilisée par les réseaux d'irrigation qui s'étendent plus en amont.

Sur certaines unités de gestion, les chroniques de débits désinfluencés montrent des valeurs plus faibles que les chroniques influencées du fait de rejets industriels ou domestiques importants par rapport à l'hydrologie naturelle.

Le changement climatique, en particulier la hausse des températures (+2 °C en moyenne), aura un effet sur les débits, en agissant sur l'évapotranspiration (ETP) (diminution des précipitations efficaces qui contribuent à l'alimentation des nappes et des cours d'eau).

La diminution des débits moyens sera au minimum de 3,6 % en moyenne annuelle. Toutefois, cette diminution moyenne cache l'intensification et l'augmentation de la fréquence des sécheresses météorologiques, agricoles et hydrologiques.

Ces phénomènes sont présentés dans le cadre du projet Explore 2. Les débits estivaux et automnaux pourraient, d'après le modèle SIM 2, diminuer de 9 % (en été) à 3 % (en automne) (scénario 8.5) à l'horizon 2040-2070 par rapport à la période de référence.

La Loire subira également le changement climatique avec une diminution des débits moyens estivaux et automnaux. Le soutien d'étiage apporté par les barrages de Naussac et Villerest (Haute-Loire) permet aujourd'hui de soutenir les débits pour les usages principaux du bassin versant (refroidissement des centrales nucléaires, eau potable), mais la situation pourrait devenir plus concurrentielle demain pour les autres usages.

Il faut s'attendre à une augmentation de la fréquence des arrêts sécheresses pour l'axe Loire, avec des effets sur les prélèvements autorisés pour l'Authion.

Ce présent rapport aborde le volet « ressource superficielle » et sera complété par un rapport portant sur le volet « ressource souterraine ». Celui-ci présentera la piézométrie influencée et désinfluencée calculée à partir du modèle hydrogéologique.

Dans la phase 3, nous confronterons les chroniques de débits avec les gammes de débits biologiques, permettant d'identifier les unités de gestion en déficit quantitatif.

Un Débit d'Objectif d'Étiage (DOE) sera proposé par unité de gestion, permettant de calculer les volumes prélevables de basses eaux permettant de préserver les besoins du milieu naturel en périodes d'étiage.

Nous présenterons également des volumes prélevables de hautes eaux en respectant le cadrage réglementaire.

6. GLOSSAIRE

AELB : Agence de l'Eau Loire-Bretagne
AEP : Alimentation en Eau Potable
ANC : Assainissement Non Collectif
BNPE : Banque Nationale des Prélèvements quantitatifs en Eau
BRGM : Bureau de Recherches Géologiques et Minières
COTECH : Comité TECHnique
DCE : Directive Cadre sur l'Eau
DCR : Débits de Crise
DDT : Direction Départemental des Territoires
DOE : Débits Objectifs d'Étiage
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 : Débits d'étiage « Seuil Alerte »
EPCI : Établissement Public de Coopération Intercommunale
H.M.U.C. : Hydrologie, Milieux, Usage et Climat
ICPE : Installation Classée pour la Protection de l'Environnement
INSEE : Institut National de la Statistique et des Études Économiques
ISTEA : Institut National de recherche en Sciences et Technologies pour l'Environnement et l'Agriculture
OUGC : Organisme Unique de Gestion Collective
PCR : Piézométrie de CRise
POE : Piézométrie d'Objectif d'Étiage
PTGE : Projets de Territoires pour la Gestion de l'Eau
SAGE : Schéma d'Aménagement de Gestion des Eaux
SDAGE : Schéma Directeur d'Aménagement de Gestion des Eaux
SDAEP : Schéma Directeur pour l'Alimentation en Eau Potable
SDGRE : Schéma Départemental de Gestion de la Ressource en Eau
SMBAA : Syndicat Mixte du Bassin Versant de l'Authion et de ses Affluents
SIRENE : Système national d'Identification et du Répertoire des ENtreprises et de leurs Etablissements
SISPEA : Système d'Information sur les Services Publics d'Eau et d'Assainissement
STEP : Station d'Épuration des Eaux Usées
VP : Volumes Prélevables