



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 – <a href="mailto:hydratec@hydra.setec.fr">hydratec@hydra.setec.fr</a> – une société du groupe setec. T : 02 2 41 57 03 30			Directeur de Projet	Moreau
					Responsable d'affaire	TFC
					N° Affaire	51618
Fichier : 51618_HMUC_Authion_Phase2_Modele_hydrologique_v2.docx						
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 ( <a href="http://hydram.epfl.ch/e-drologie">http://hydram.epfl.ch/e-drologie</a> )	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 km<sup>2</sup>  
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 km<sup>2</sup> 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 m<sup>3</sup>/an<sup>1</sup>**. 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 m<sup>3</sup>).

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

---

<sup>1</sup> 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.

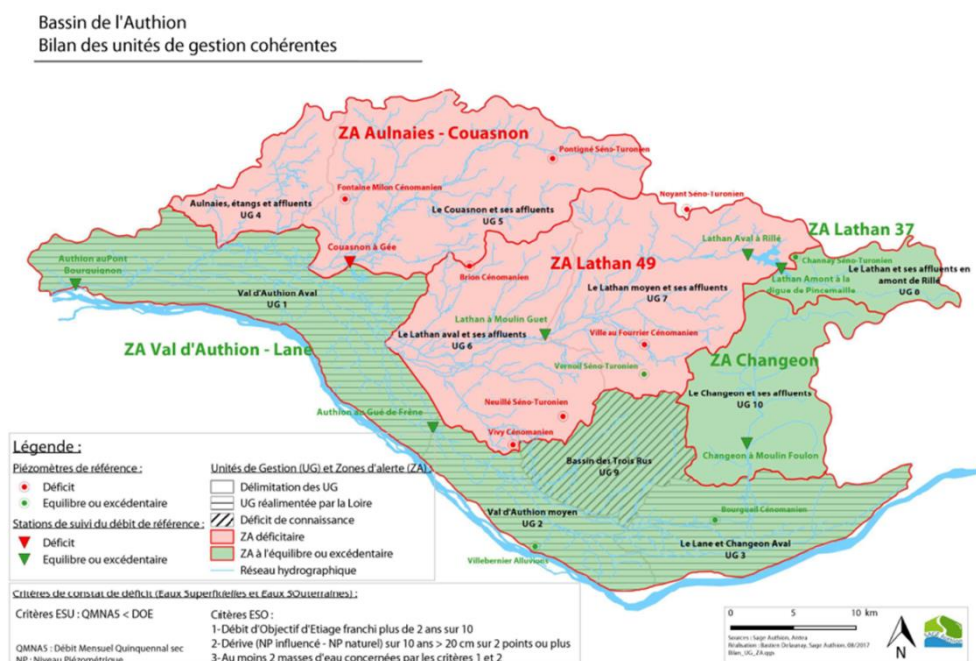


Figure 1-1 : Bilan des unités de gestion et des zones d'alerte (étude de définition des volumes prélevables, SMBAA, 2017)

### 1.1.4 Modification de la limite UG 2 et 3

Le SMBAA 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 préfetures 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)**

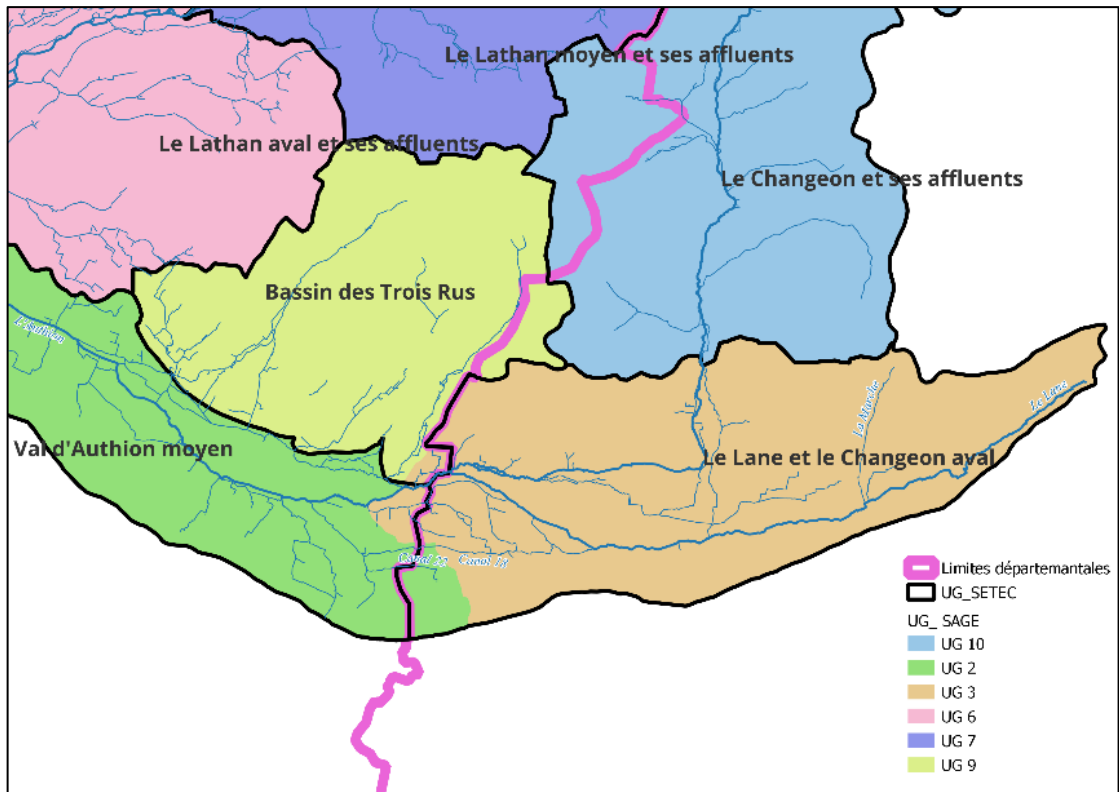


Figure 1-2 : Modification des limites des unités de gestion 2 et 3

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.

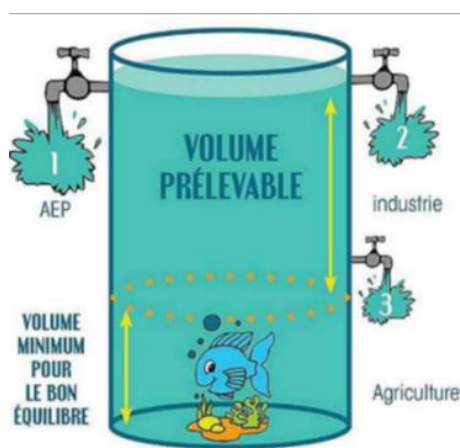


Figure 1-3 : Définition du DMB (source : Office Français de la Biodiversité)

## 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.

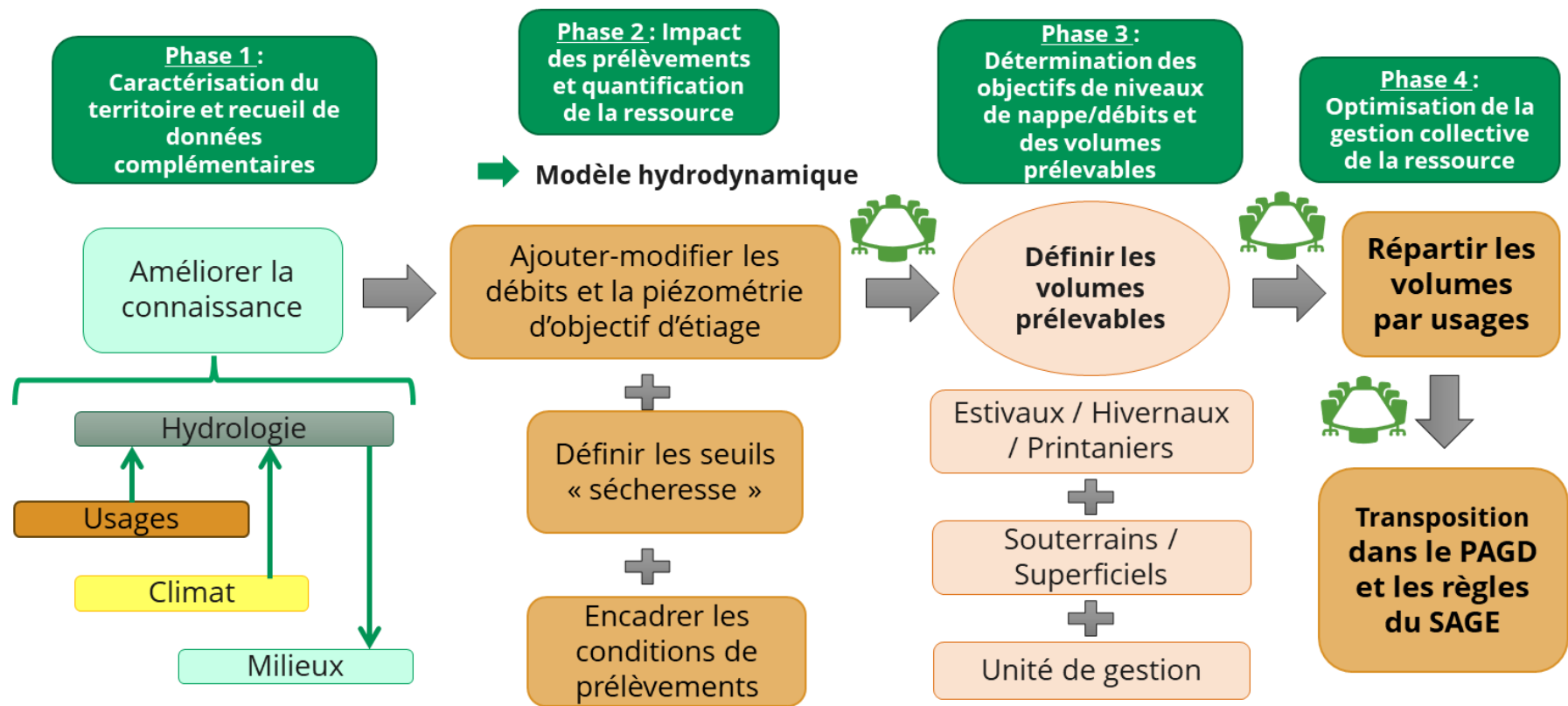


Figure 1-4 : Organisation générale de la présente étude

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



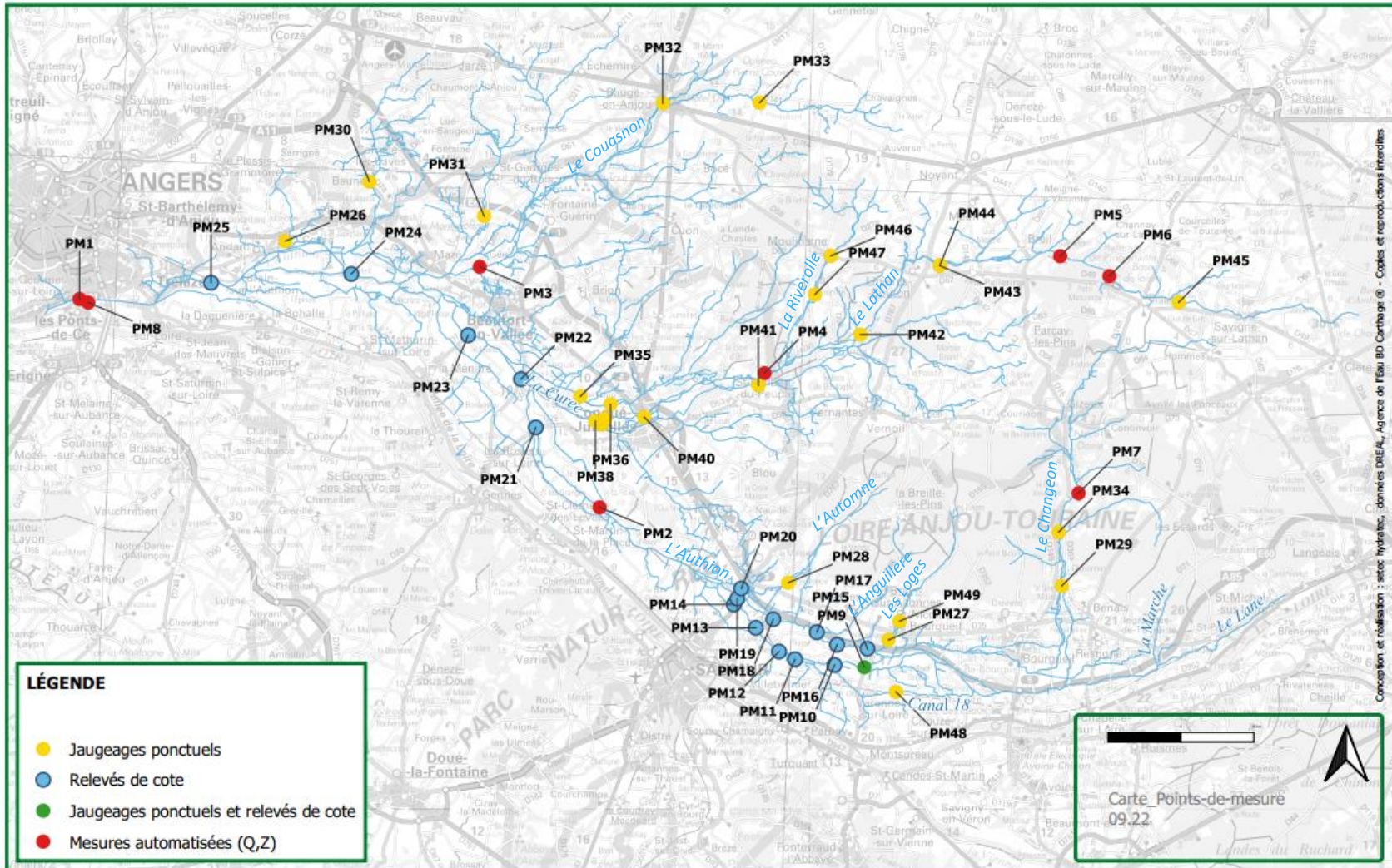


Figure 2-2 : Localisation des points de mesure

## 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.

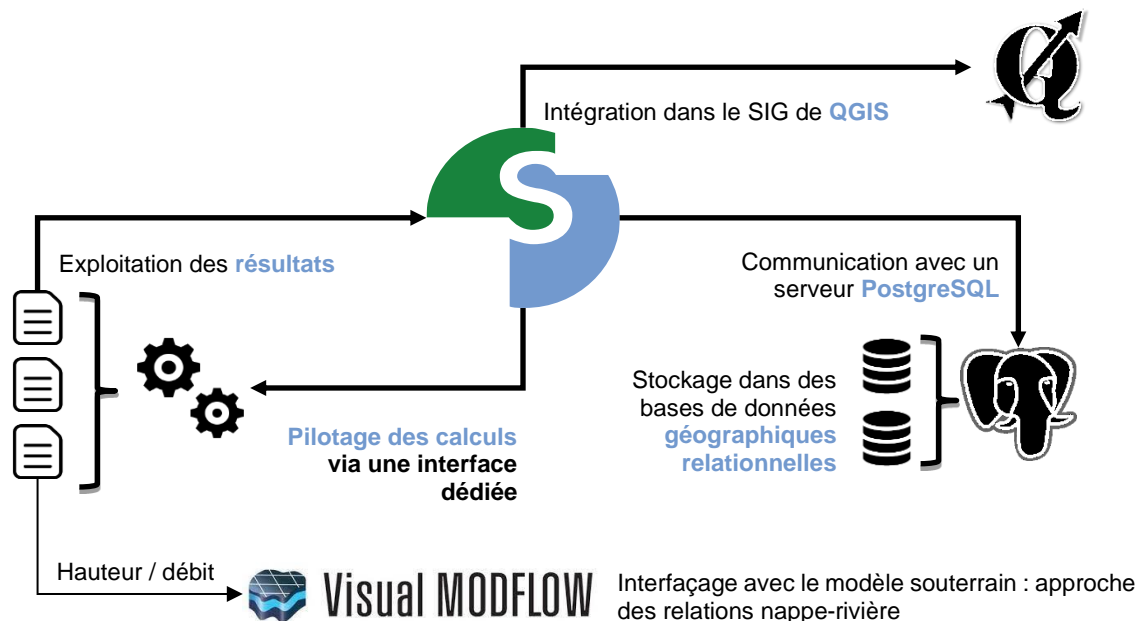


Figure 3-1 : Présentation du logiciel hydra et de son interface avec le logiciel Visual Modflow

#### 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 :

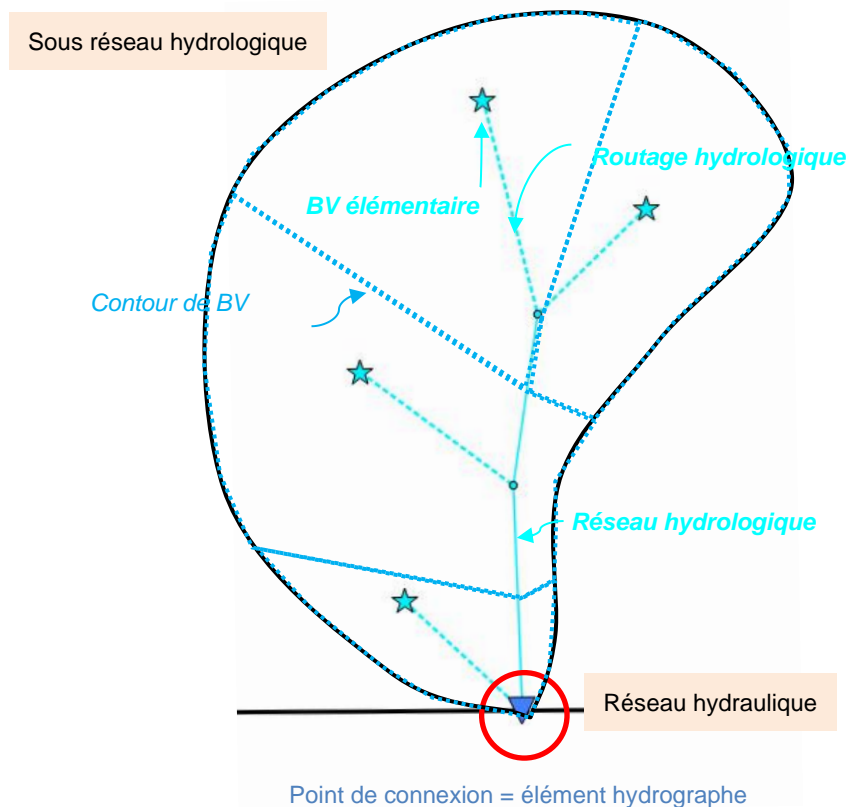


Figure 3-2 : Schéma de modélisation hydrologique et filaire

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.

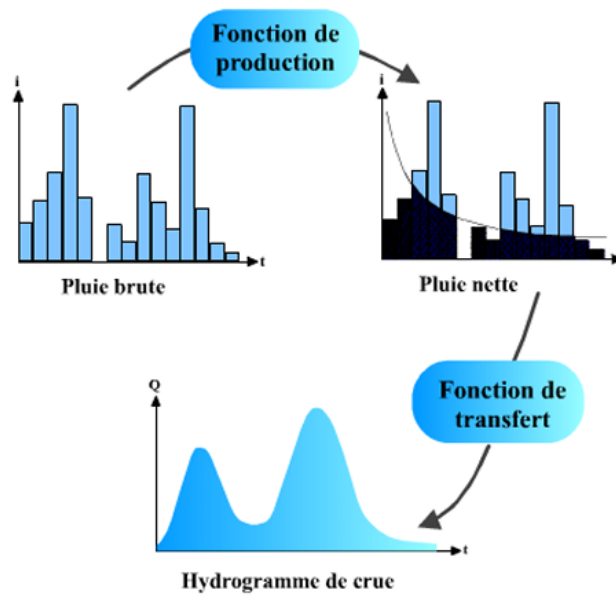


Figure 3-3 : Schéma explicatif des fonctions de production et de transfert (<http://hydram.epfl.ch/e-drologie>)

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.

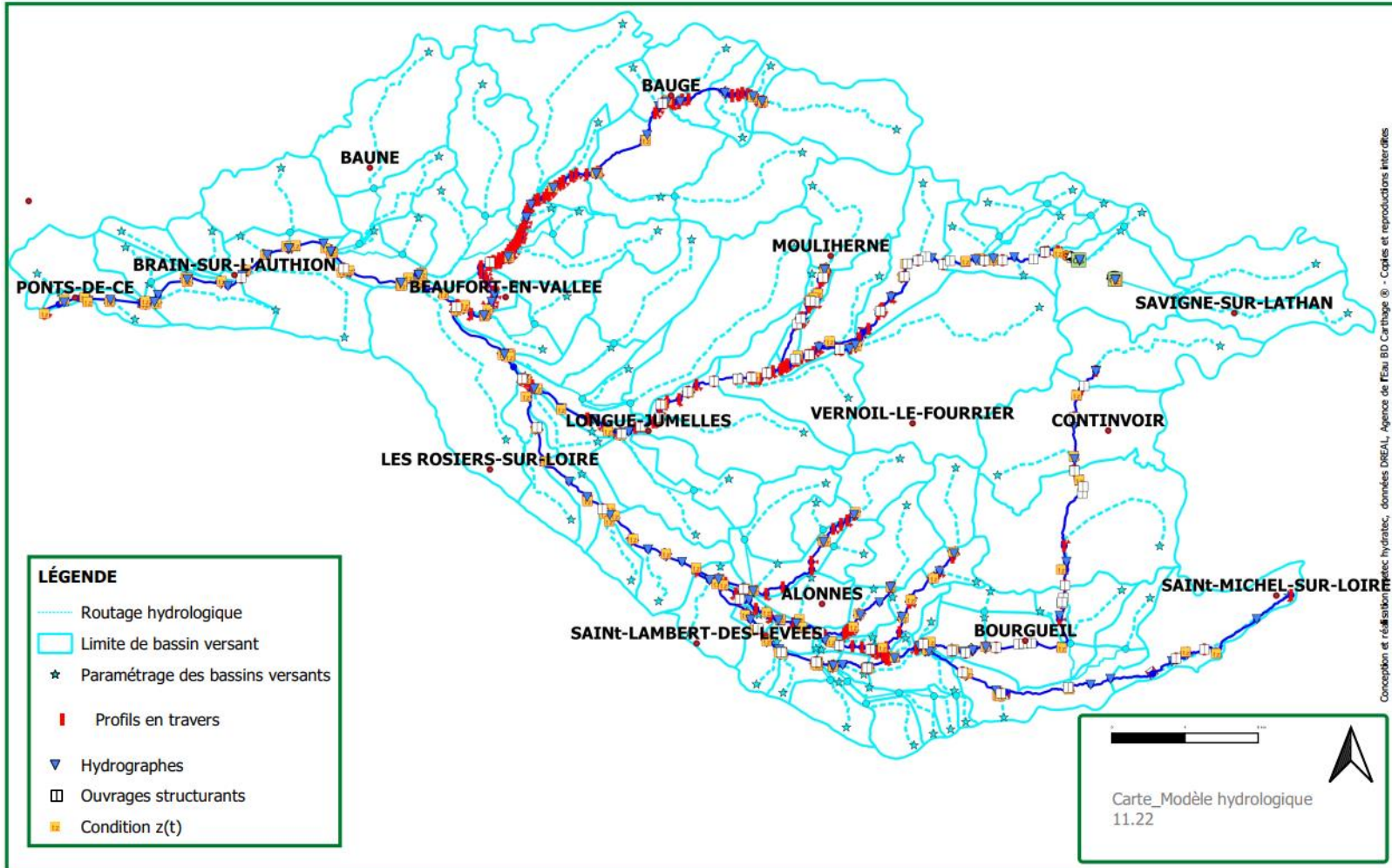


Figure 3-4 : Modèle hydrologique et hydraulique

### 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)

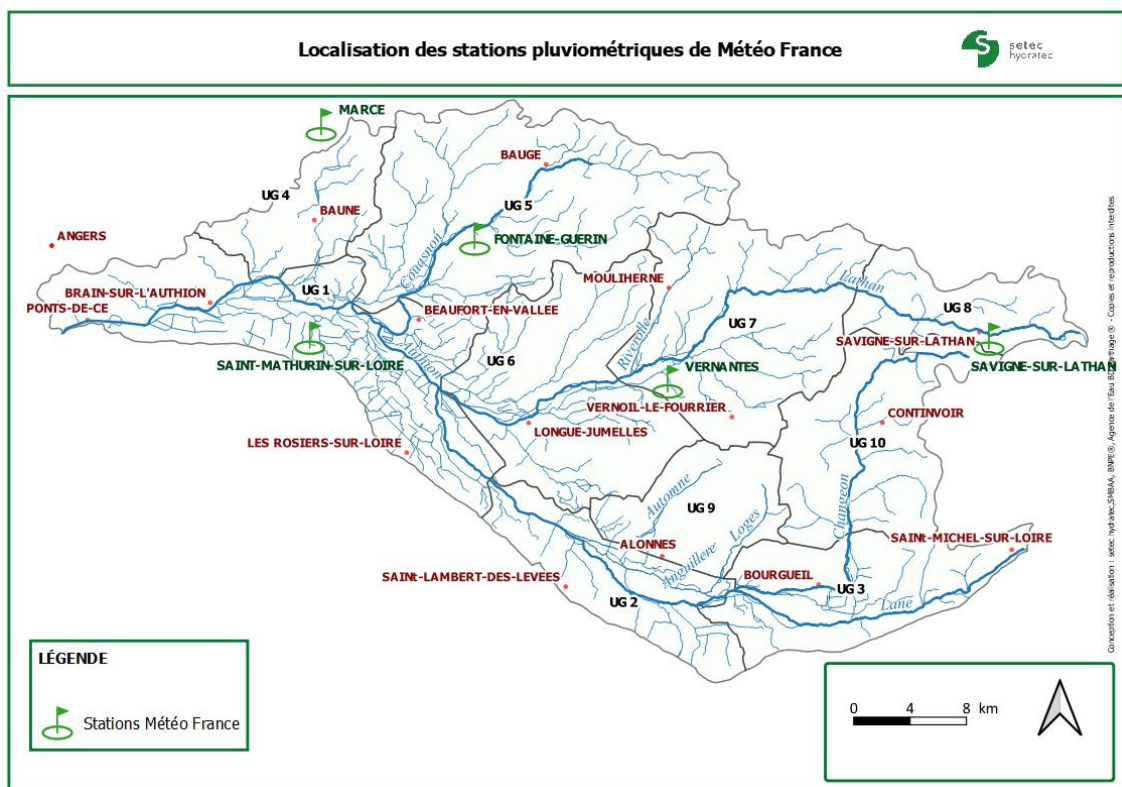


Figure 3-5 : Stations pluviométriques de Météo France considérées dans la modélisation

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 cultureux 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

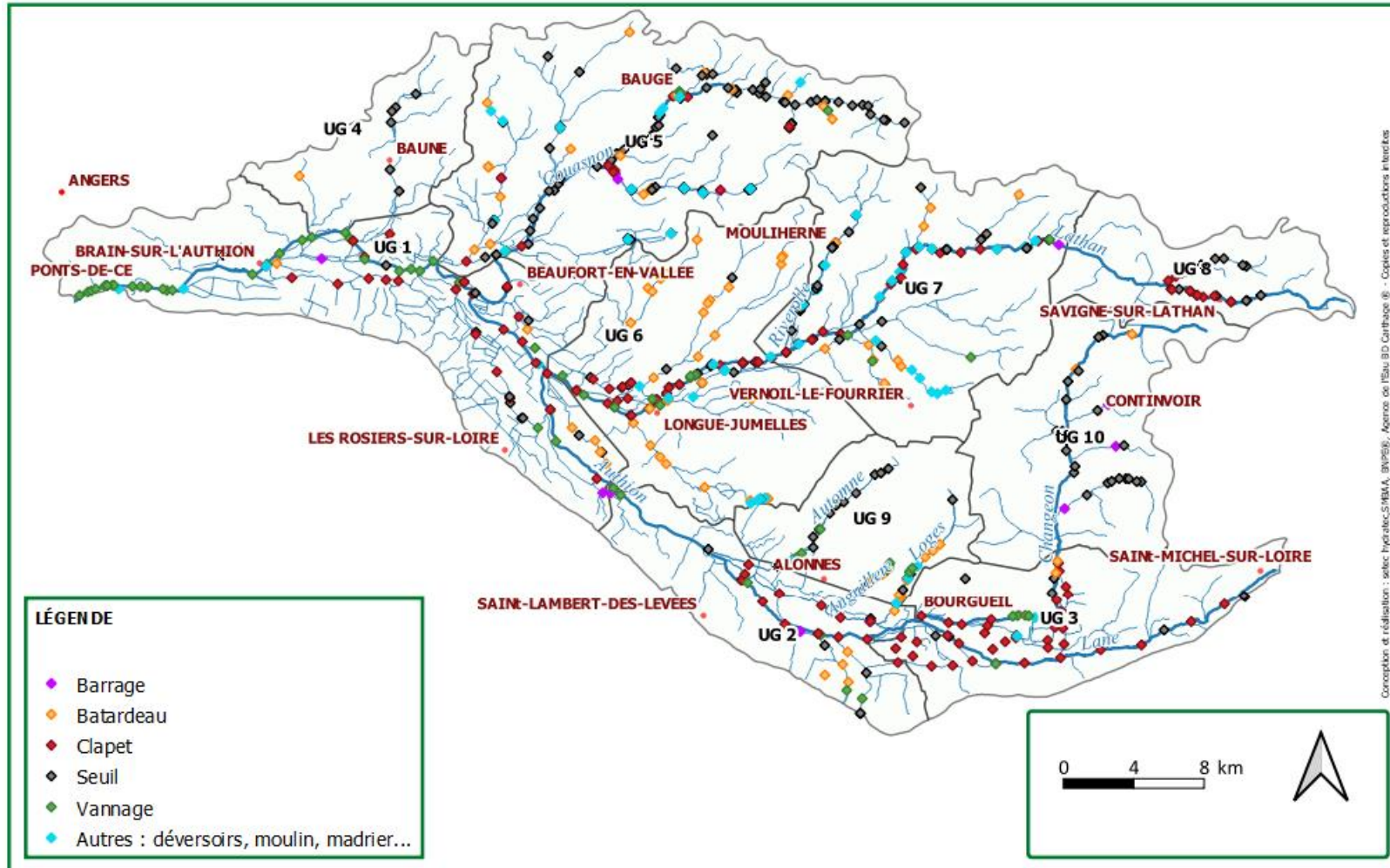


Figure 3-7 : Type d'ouvrages de régulation présents sur le bassin de l'Authion

**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 <sup>3</sup>
Aspersion anti-gel déclaré	10 000 m <sup>3</sup>
Abreuvement du bétail	800 000 m <sup>3</sup>

*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 mensuels<sup>2</sup> 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.

---

<sup>2</sup> CF rapport de phase 1

Volume (m³)	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.

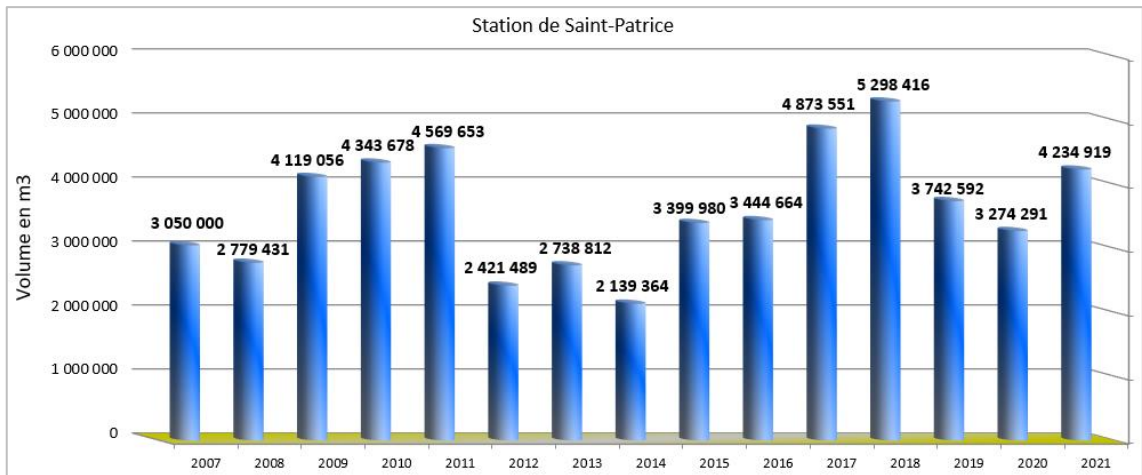


Figure 3-8 : Volumes annuels prélevés en Loire au droit de la prise d'eau à Saint-Patrice (source : SYDEVA)

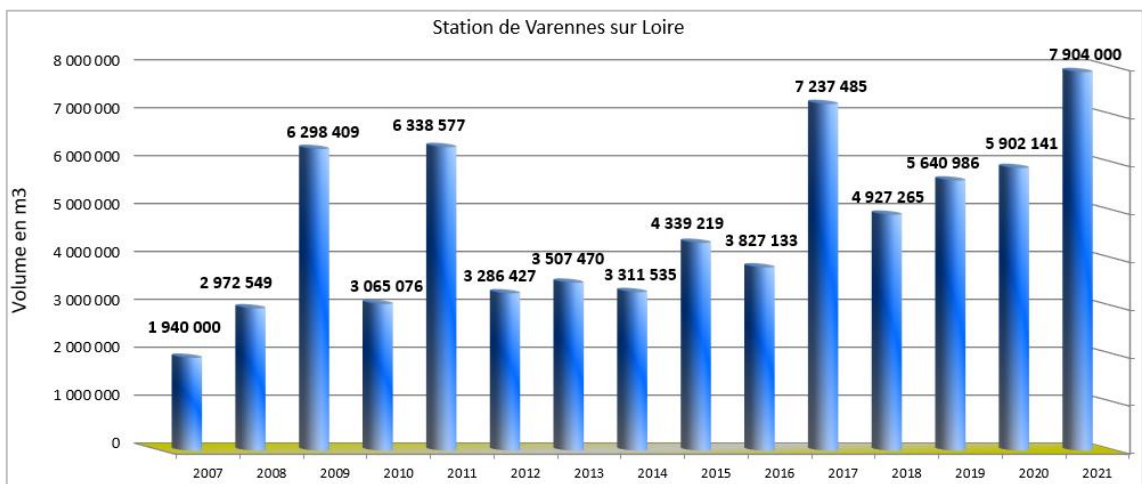


Figure 3-9 : Volumes annuels prélevés en Loire au droit de la prise d'eau à Varennes-sur-Loire (source : SYDEVA)

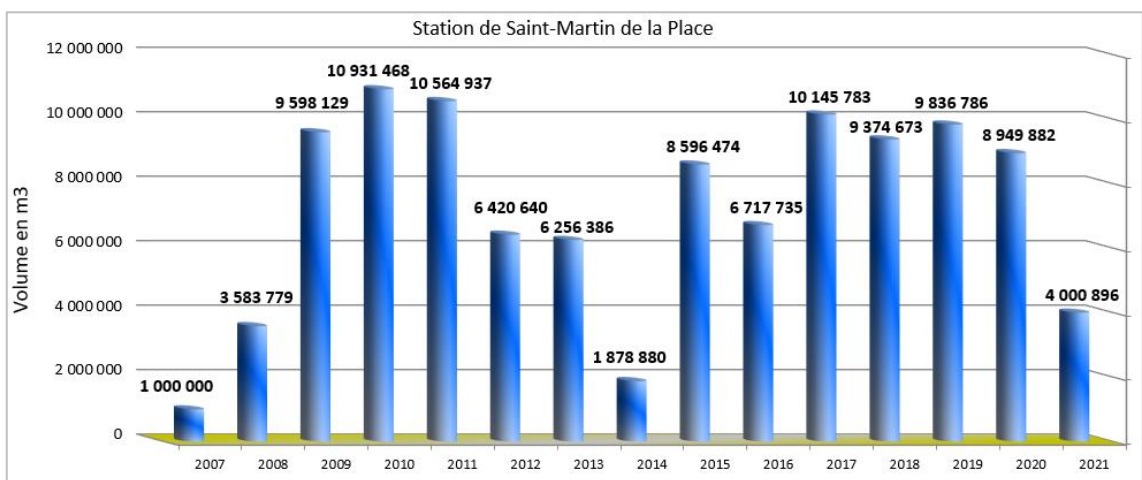


Figure 3-10 : Volumes annuels prélevés en Loire au droit de la prise d'eau à Saint-Martin-de-la-Place (source : SYDEVA)

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.

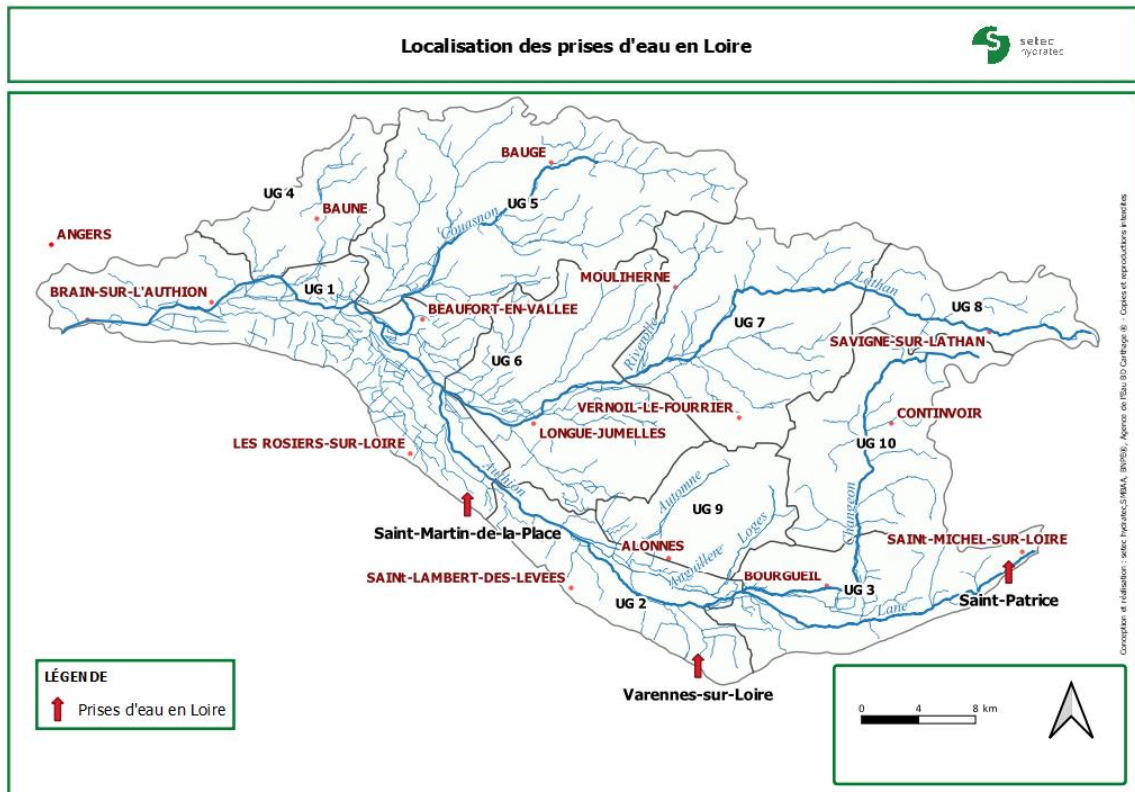


Figure 3-11 : Localisation des prises d'eau en Loire

**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 m<sup>3</sup>. 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 m<sup>3</sup>/j entre mars et mai,
- 32 600 m<sup>3</sup>/j entre juin et septembre,
- 5 400 m<sup>3</sup>/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 m<sup>3</sup>.



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 m<sup>3</sup>/s pour le Changeon et 0.1 m<sup>3</sup>/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.

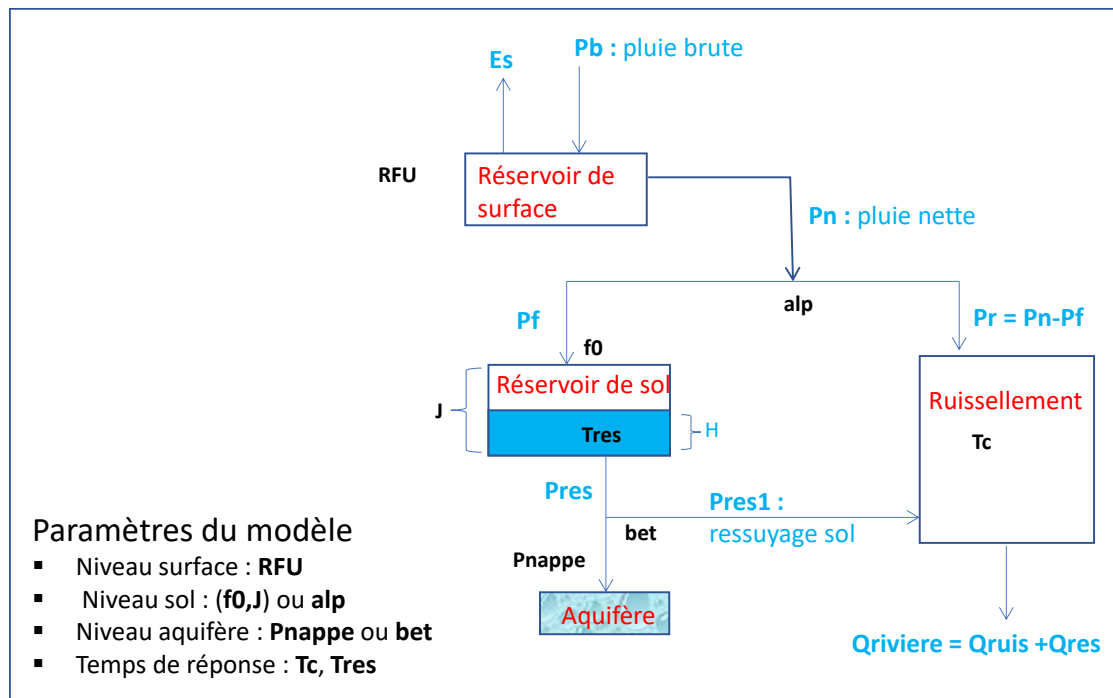


Figure 3-12 : Schéma fonctionnel des lois hydrologiques utilisées sous Hydra

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<sub>c</sub>, 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.

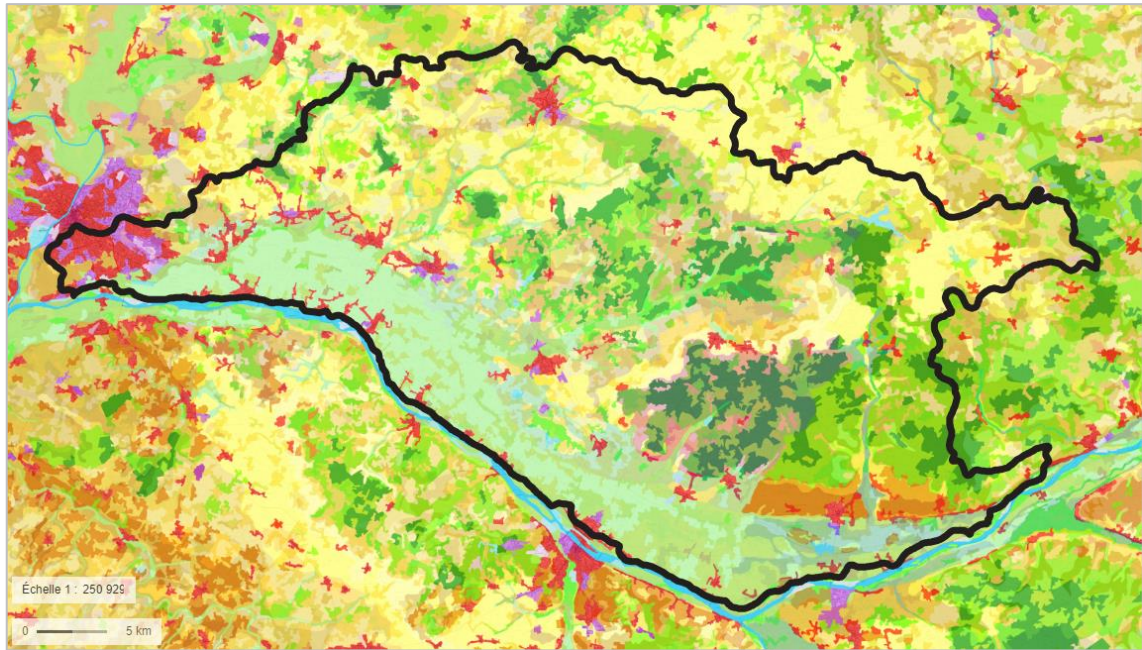
Ce paragraphe décrit la démarche de calage du modèle hydrologique et hydraulique du bassin versant de l'Authion et présente les résultats de calage obtenus pour les périodes suivantes : septembre 2018 – décembre 2019 (année avec un été plutôt sec) et septembre 2020 – décembre 2021 (année avec un été 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'Authion (Geoportail)

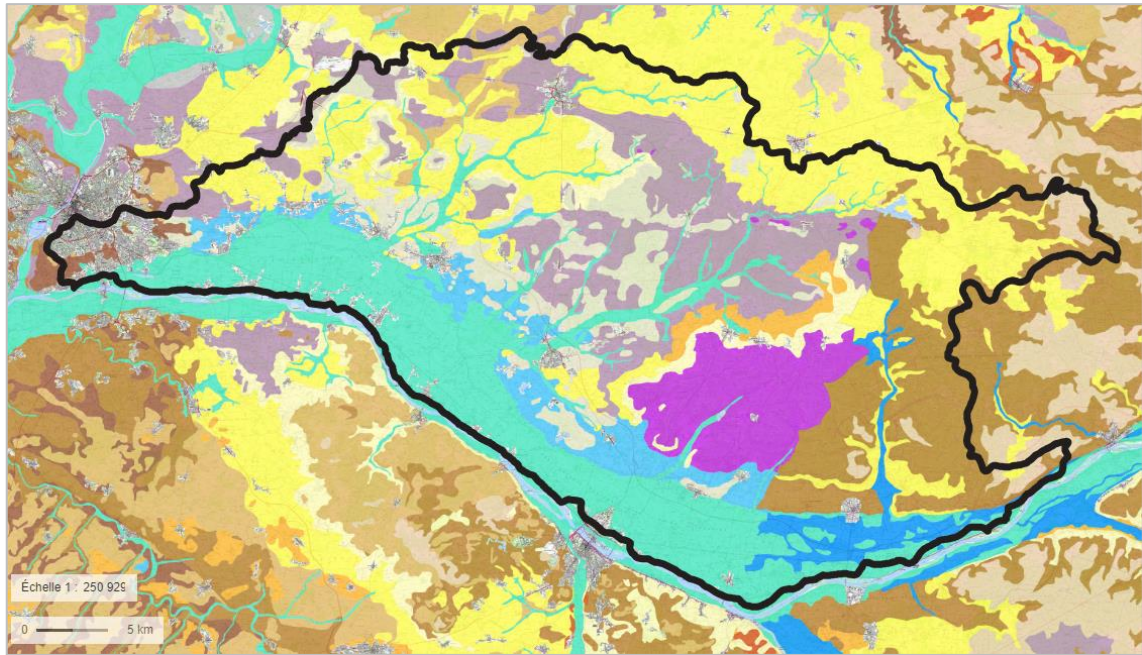


Figure 3-15 : Pédologie du sol du bassin versant de l'Authion (Geoportail)

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 <sup>2</sup> )	$V_{TOT}$ (Mm <sup>3</sup> )	$Q_{BASE}$ (m <sup>3</sup> /s)	$V_{BASE}$ (Mm <sup>3</sup> )	$V_{NET}$ (Mm <sup>3</sup> )	$V_{NET}$ (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.

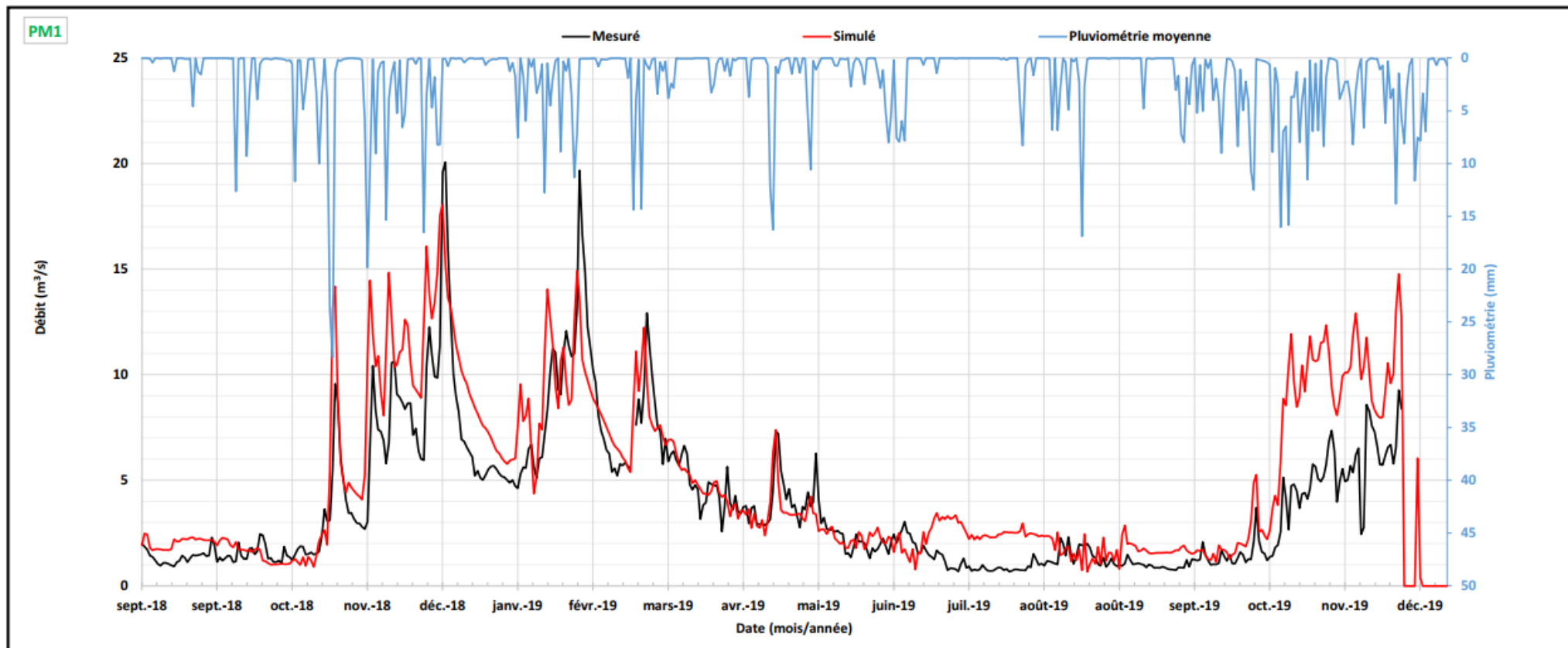
L'analyse de ces graphiques montre des divergences locales, mais les résultats sont globalement satisfaisants sur la forme générale des hydrogrammes et sur les débits de base : le calage du modèle a permis de traduire correctement les processus hydrologiques à l'œuvre dans le bassin de l'Authion. Les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

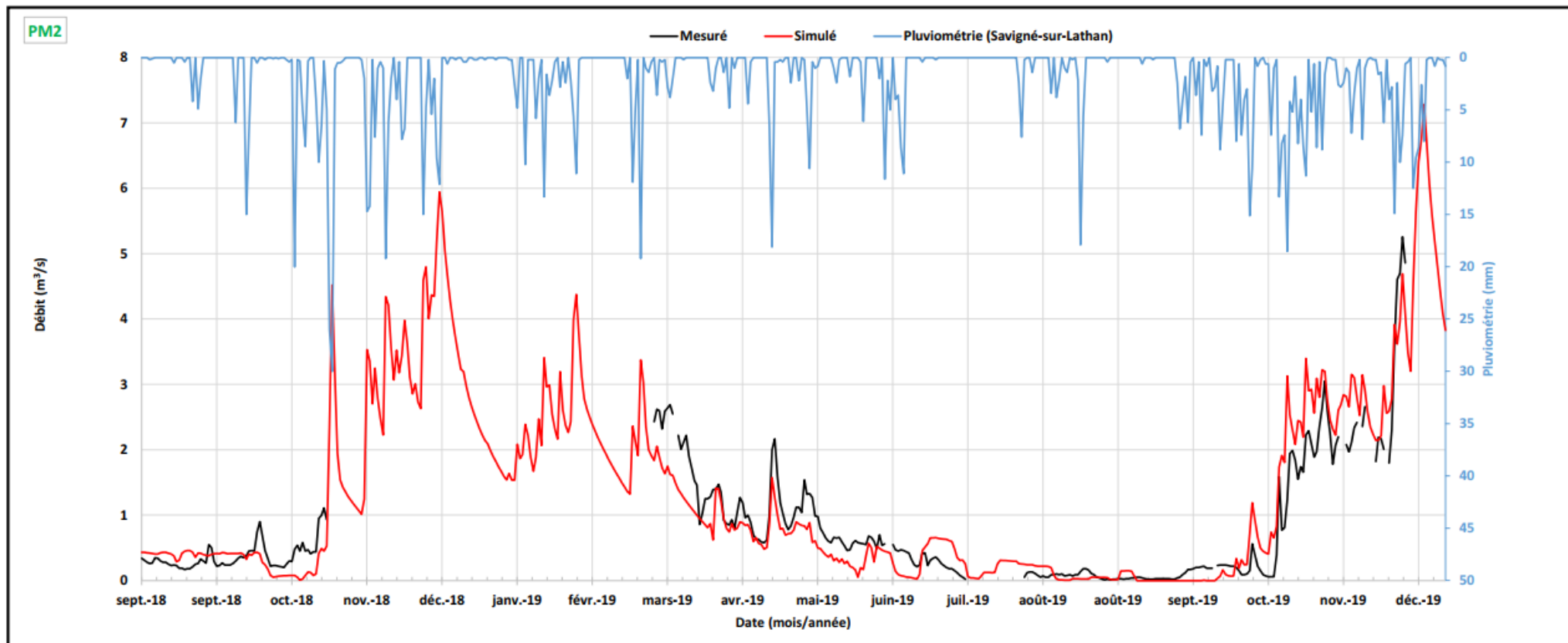


	Mesuré	Simulé	Ecart (%)
Volume (m3)	158 475 744	202 539 198	27.8
Débit max (m3/s)	20.07	18.05	10.0
Nash(Y)	<i>(valeurs fortes)</i>		55.9
Nash(√Y)	<i>(valeurs moyennes)</i>		65.1
Nash(ln(Y))	<i>(valeurs faibles)</i>		63.7

**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

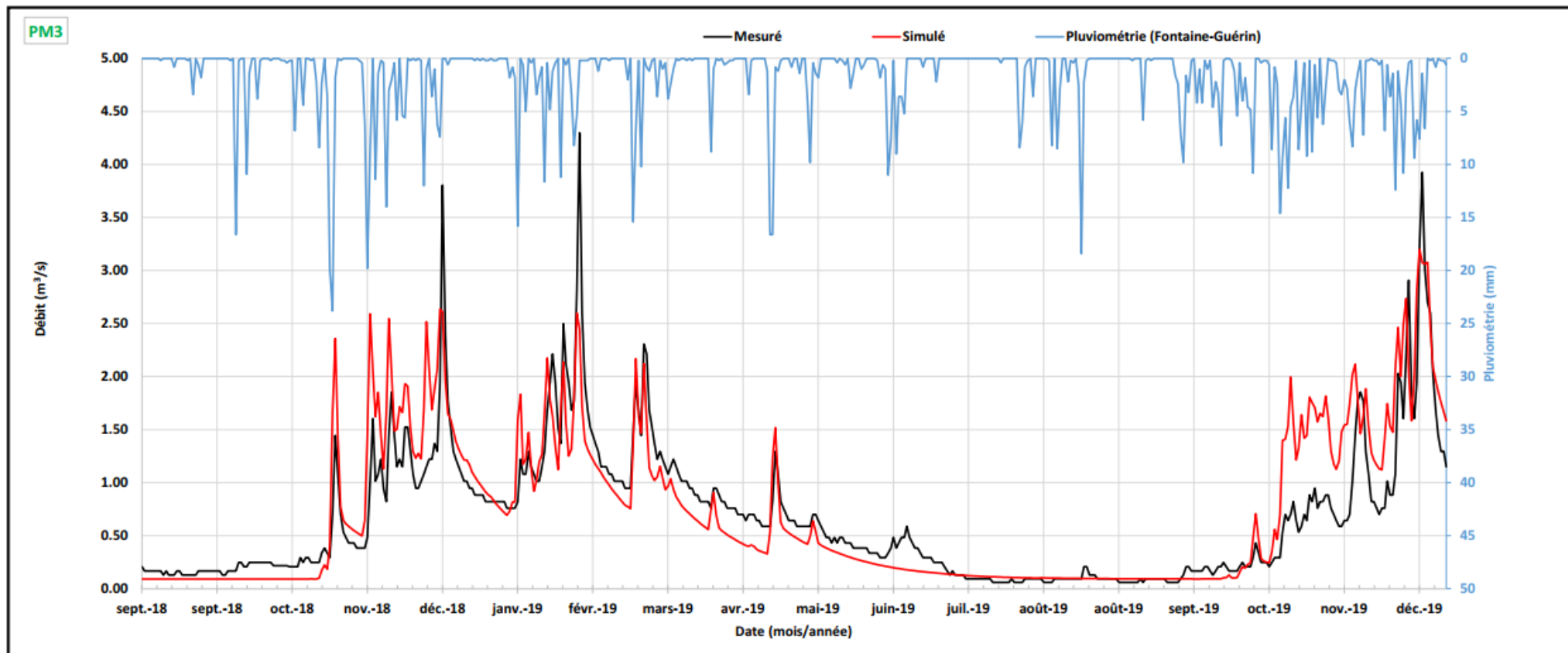


	Mesuré	Simulé	Ecart (%)
Volume (m3)	20 729 952	19 911 008	4.0
Débit max (m3/s)	5.26	7.28	38.5
Nash(Y)	<i>(valeurs fortes)</i>		80.3
Nash(√Y)	<i>(valeurs moyennes)</i>		71.6
Nash(ln(Y))	<i>(valeurs faibles)</i>		40.9

**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

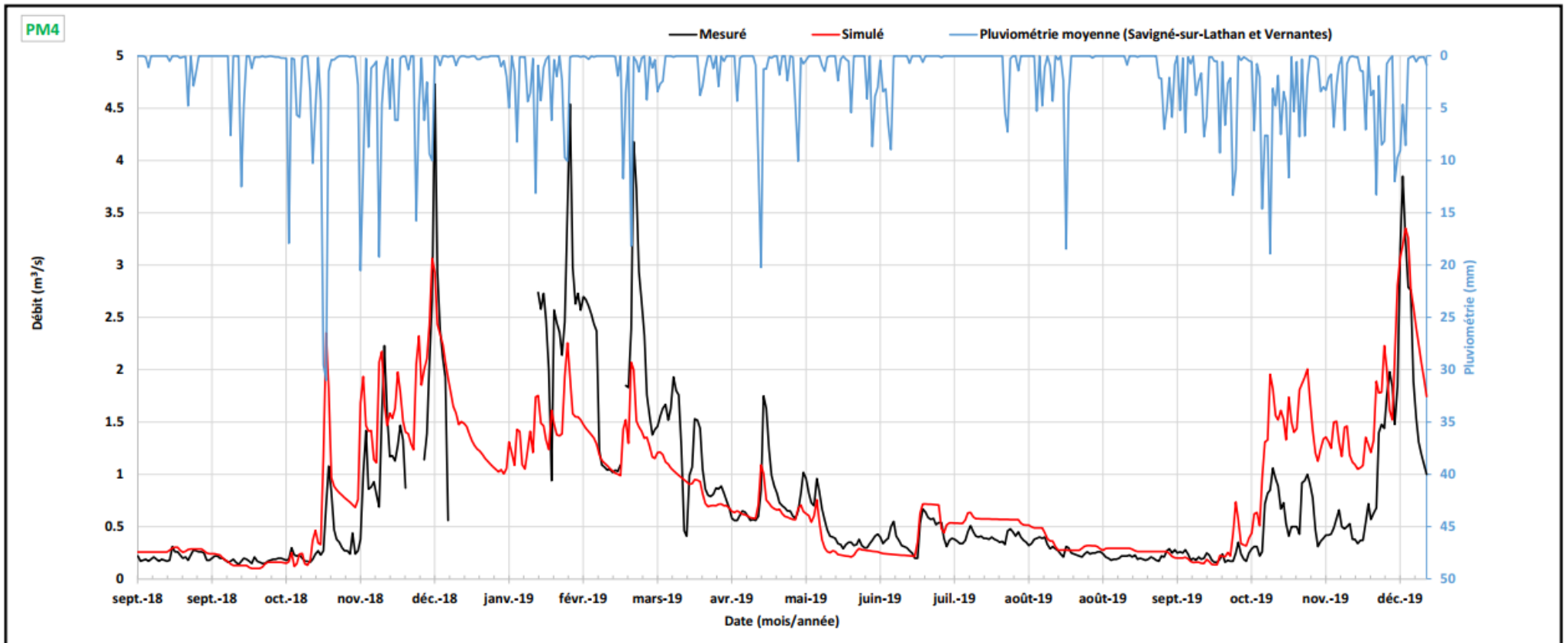


	Mesuré	Simulé	Ecart (%)
Volume (m3)	28 511 219	30 035 498	5.3
Débit max (m3/s)	4.30	3.20	25.5
Nash(Y)	<i>(valeurs fortes)</i>		70.5
Nash(√Y)	<i>(valeurs moyennes)</i>		78.4
Nash(ln(Y))	<i>(valeurs faibles)</i>		79.6

**Commentaire :**  
Hausse du débit à l'automne  
Résultats satisfaisants

Référence : 51618  
Projet : authion\_v3  
Modèle : authion\_act  
Scénario : calage\_2019  
  
Date : mai 2023

### Calage pour 2019

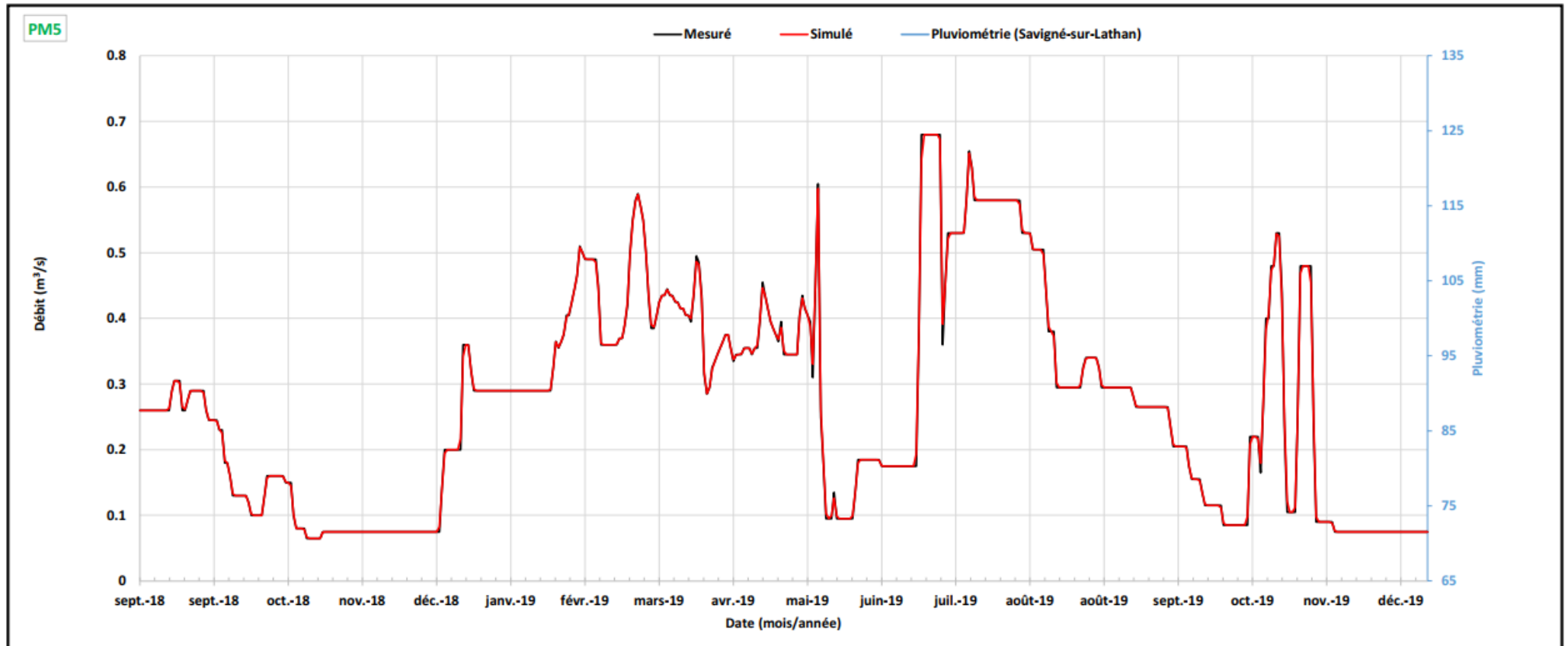


	Mesuré	Simulé	Ecart (%)
Volume (m3)	28 968 192	31 005 846	7.0
Débit max (m3/s)	4.73	3.35	29.1
Nash(Y)	(valeurs fortes)		57.4
Nash(√Y)	(valeurs moyennes)		63.5
Nash(ln(Y))	(valeurs faibles)		67.1

**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

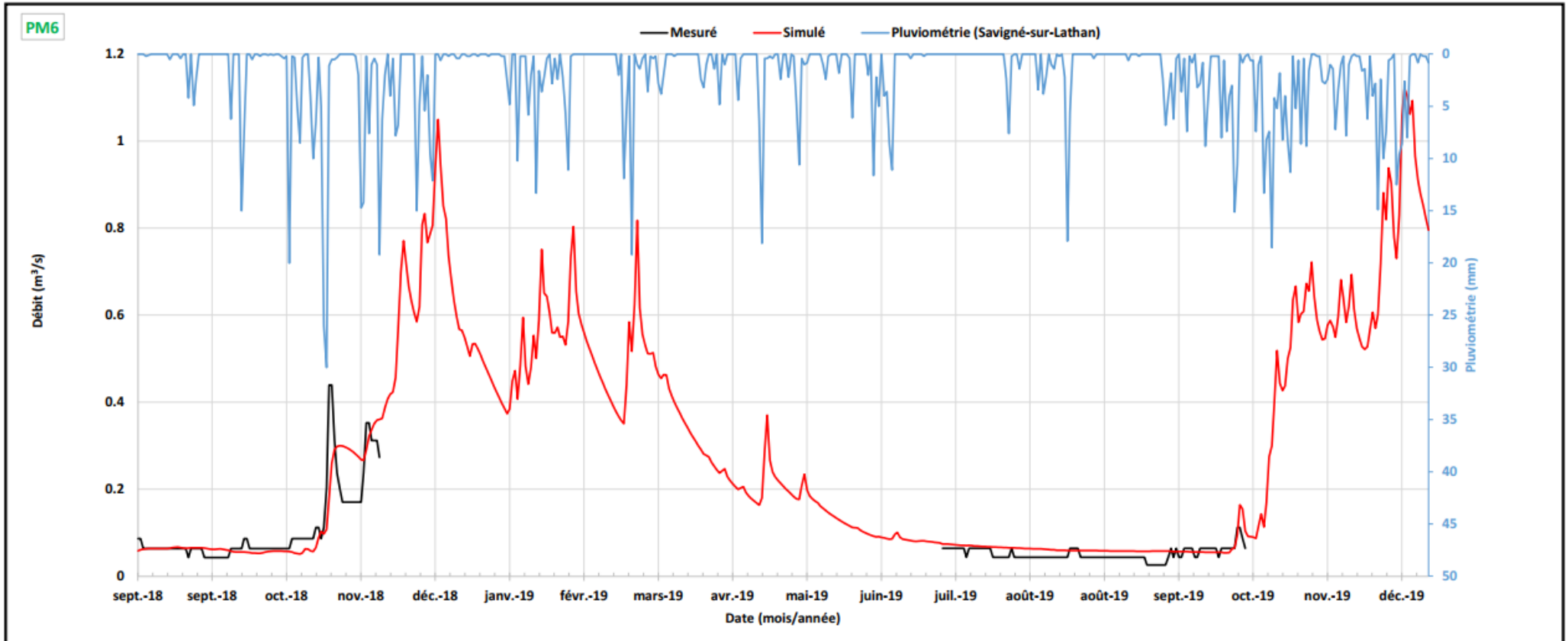


	Mesuré	Simulé	Ecart (%)
Volume (m3)	11 381 472	11 382 735	0.0
Débit max (m3/s)	0.68	0.68	0.0
Nash(Y)	(valeurs fortes)		99.9
Nash(√Y)	(valeurs moyennes)		99.9
Nash(ln(Y))	(valeurs faibles)		99.9

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

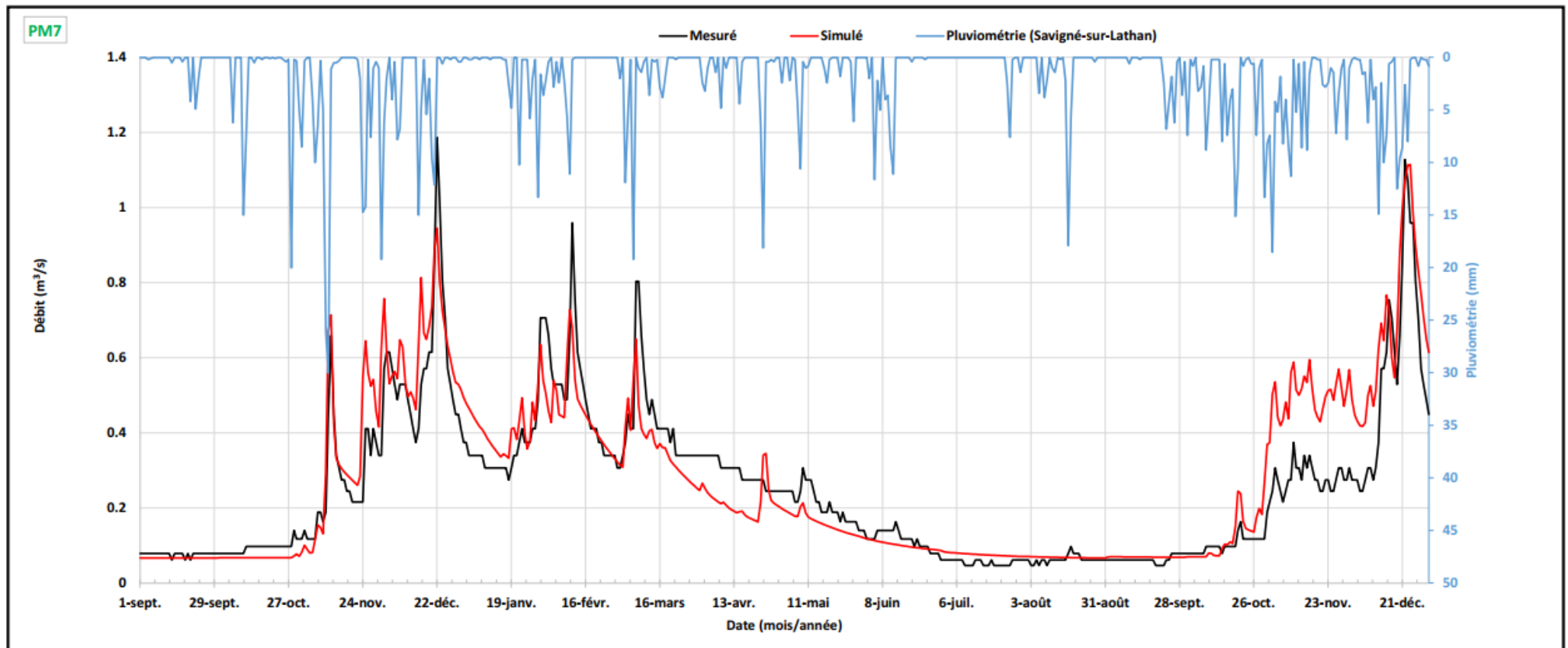
Référence : 51618  
Projet : authion\_v3  
Modèle : authion\_act  
Scénario : calage\_2019  
Date : mai 2023



## 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**

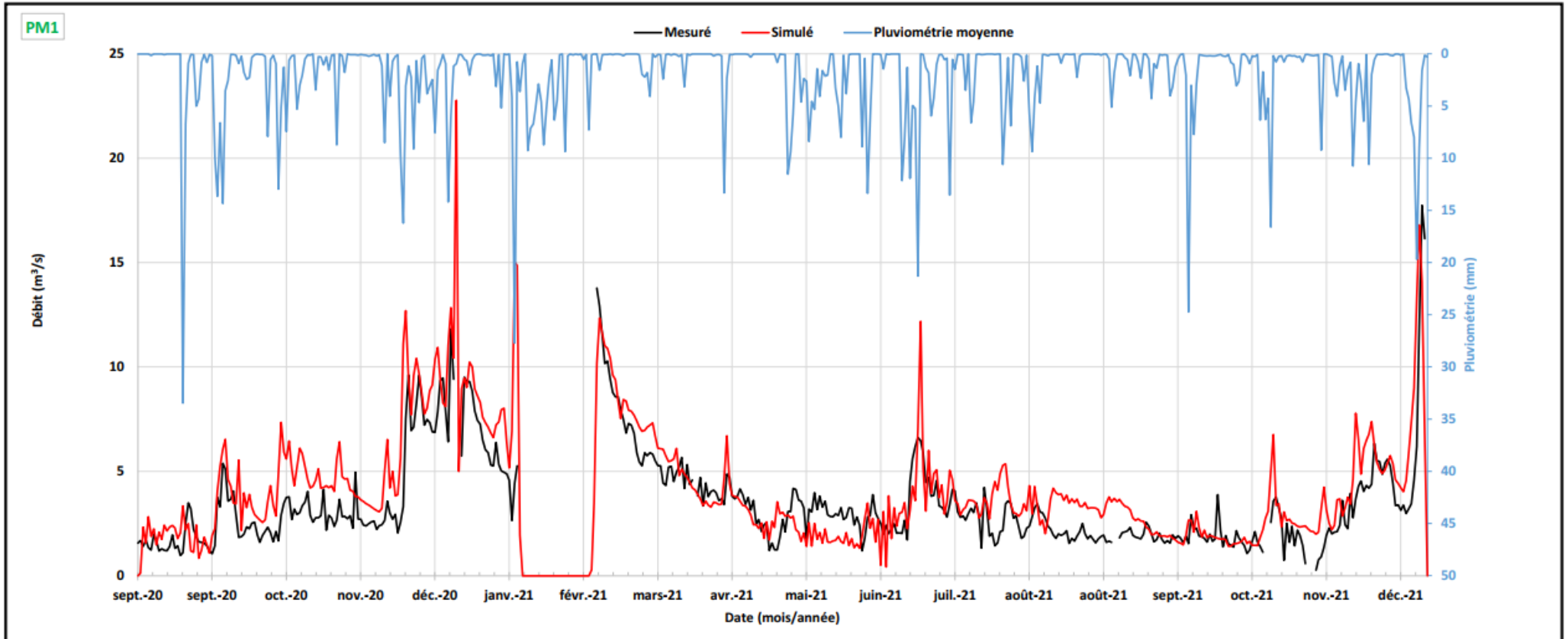
Cette période a été marquée par une pluviométrie moyenne de 970 mm, dont 686 mm en 2021, concentrée sur les mois de février, juin, octobre, novembre et décembre 2021. La pluviométrie de février 2021 a provoqué des apports très importants dans les cours d'eau du fait de la capacité limitée de la nappe 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

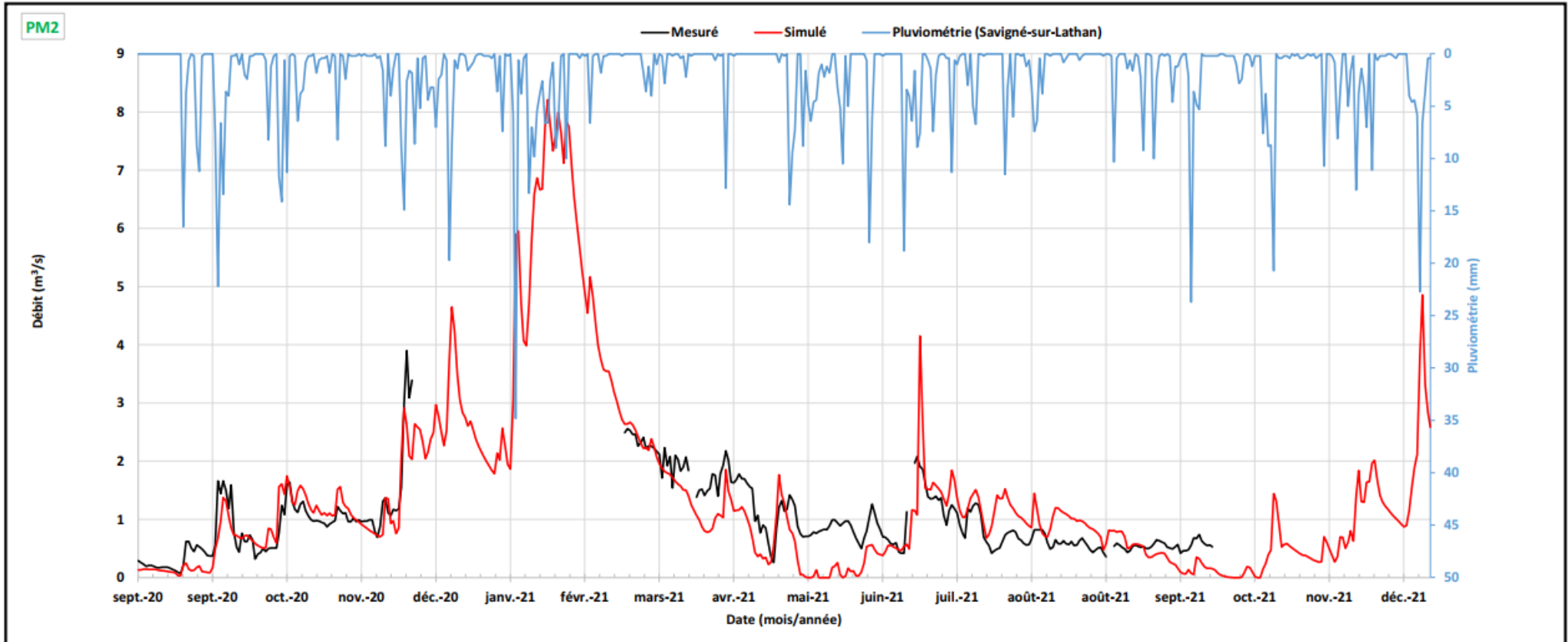


	Mesuré	Simulé	Ecart (%)
Volume (m3)	135 933 120	164 666 681	21.1
Débit max (m3/s)	17.74	22.77	28.3
Nash(Y)	<i>(valeurs fortes)</i>		44.4
Nash(√Y)	<i>(valeurs moyennes)</i>		42.2
Nash(ln(Y))	<i>(valeurs faibles)</i>		26.2

**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

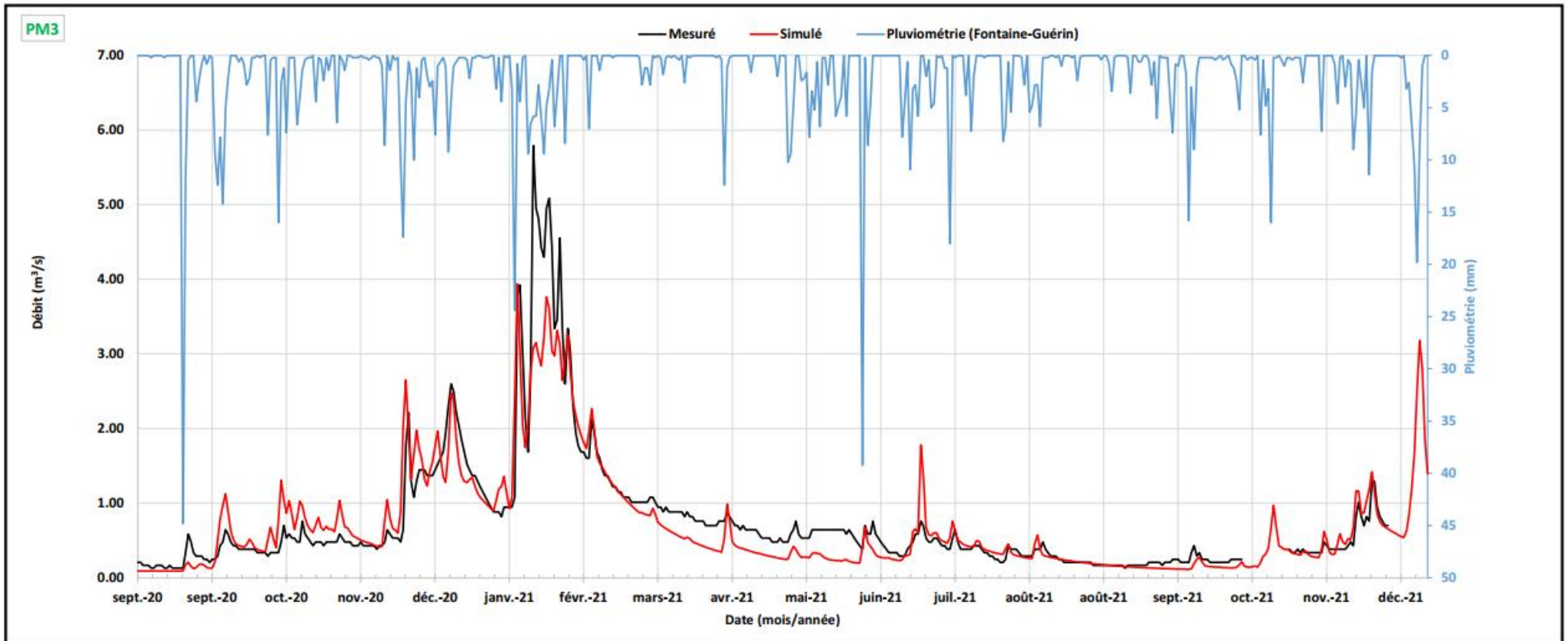


	Mesuré	Simulé	Ecart (%)
Volume (m3)	27 117 504	24 528 436	9.5
Débit max (m3/s)	3.90	8.21	110.5
Nash(Y)	<i>(valeurs fortes)</i>		46.7
Nash(√Y)	<i>(valeurs moyennes)</i>		3.3
Nash(ln(Y))	<i>(valeurs faibles)</i>		-121.3

**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

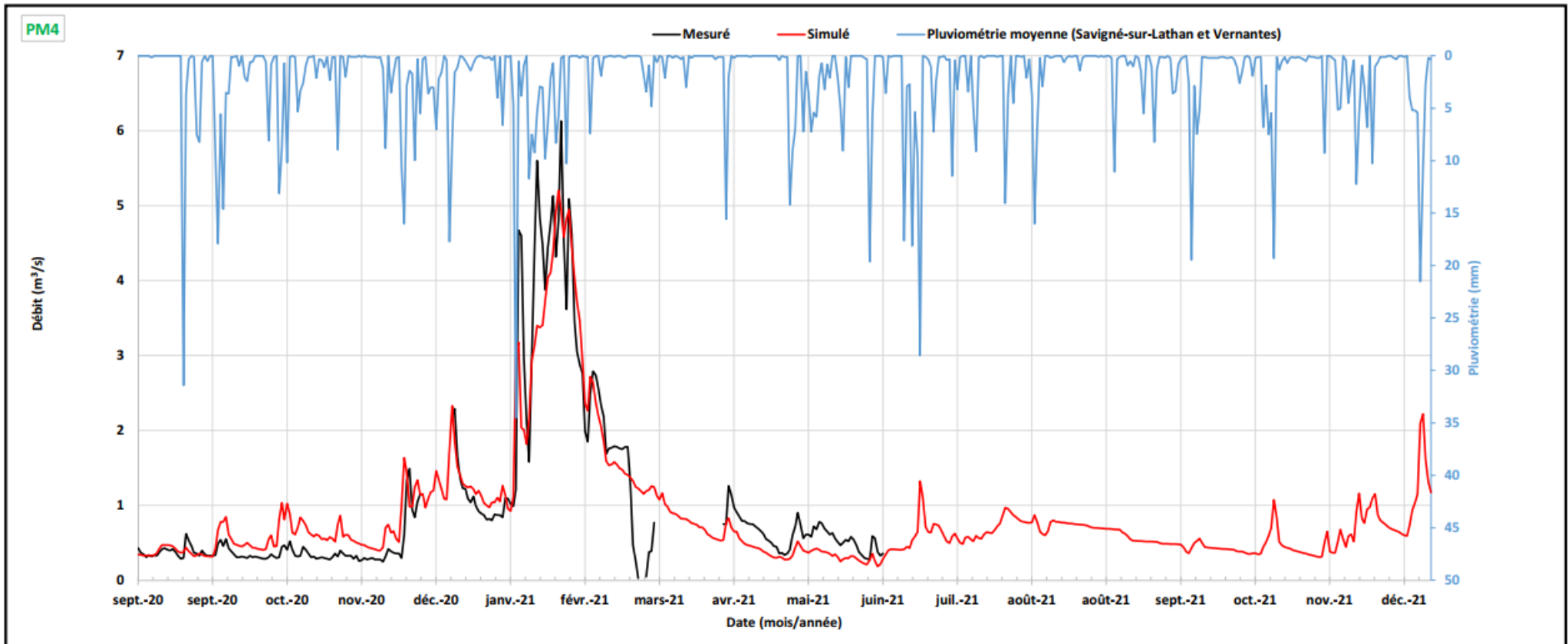


	Mesuré	Simulé	Ecart (%)
Volume (m3)	29 542 514	27 217 474	7.9
Débit max (m3/s)	5.79	3.94	32.0
Nash(Y)	<i>(valeurs fortes)</i>		83.5
Nash(√Y)	<i>(valeurs moyennes)</i>		82.0
Nash(ln(Y))	<i>(valeurs faibles)</i>		73.4

**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

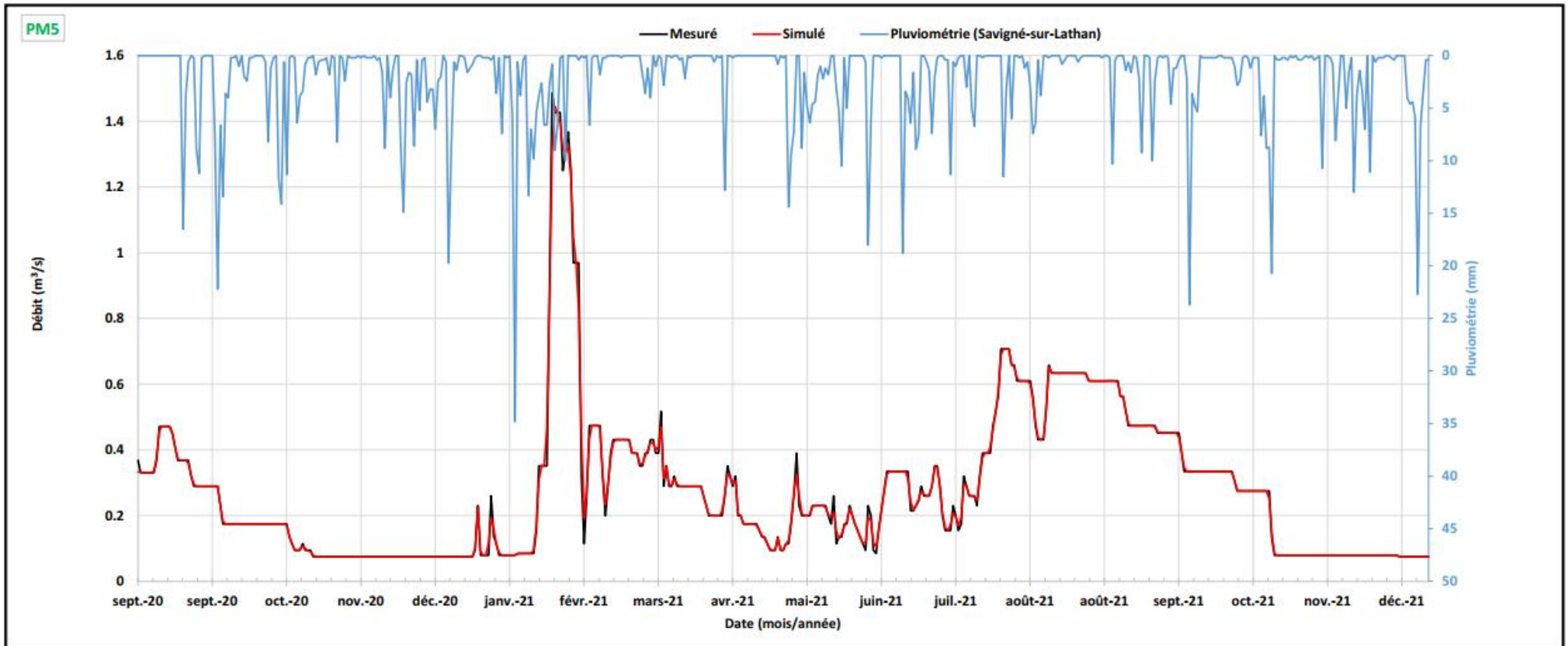
Référence : 51618  
Projet : authion\_v3  
Modèle : authion\_act  
Scénario : calage\_2021  
  
Date : mai 2023



## 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

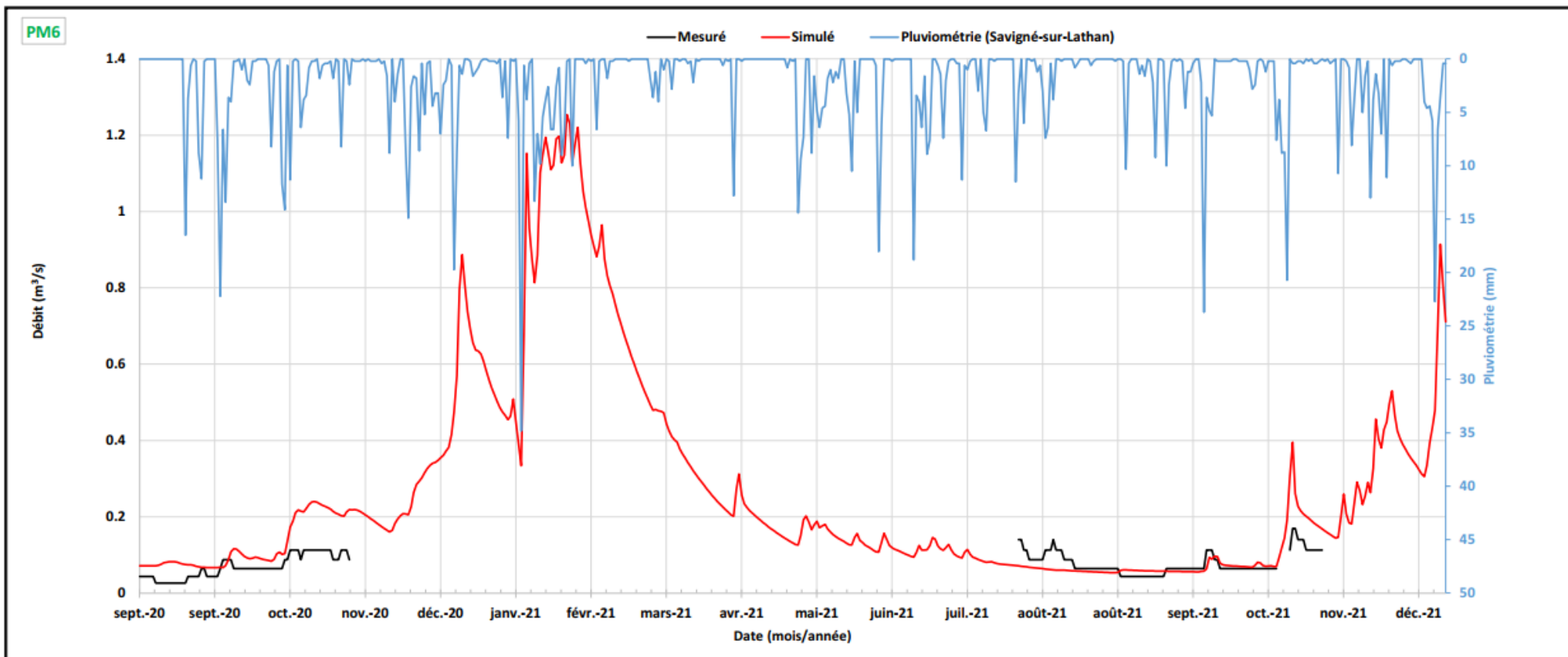
Référence : 51618  
Projet : authion\_v3  
Modèle : authion\_act  
Scénario : calage\_2021  
  
Date : mai 2023



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



### Calage pour 2021

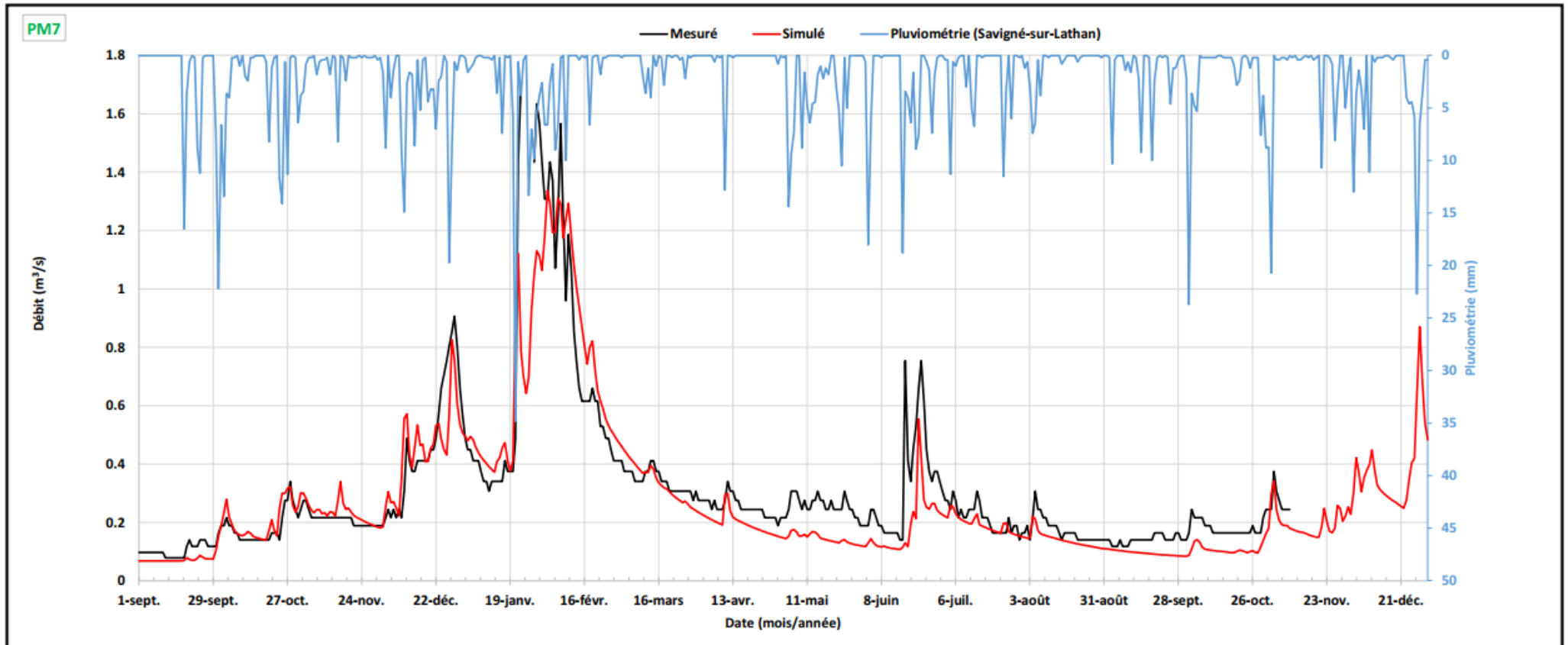


	Mesuré	Simulé	Ecart (%)
Volume (m3)	1 212 293	1 619 851	33.6
Débit max (m3/s)	1.70	1.25	26.4
Nash(Y)	(valeurs fortes)		-231.7
Nash(√Y)	(valeurs moyennes)		-96.4
Nash(ln(Y))	(valeurs faibles)		-40.0

**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

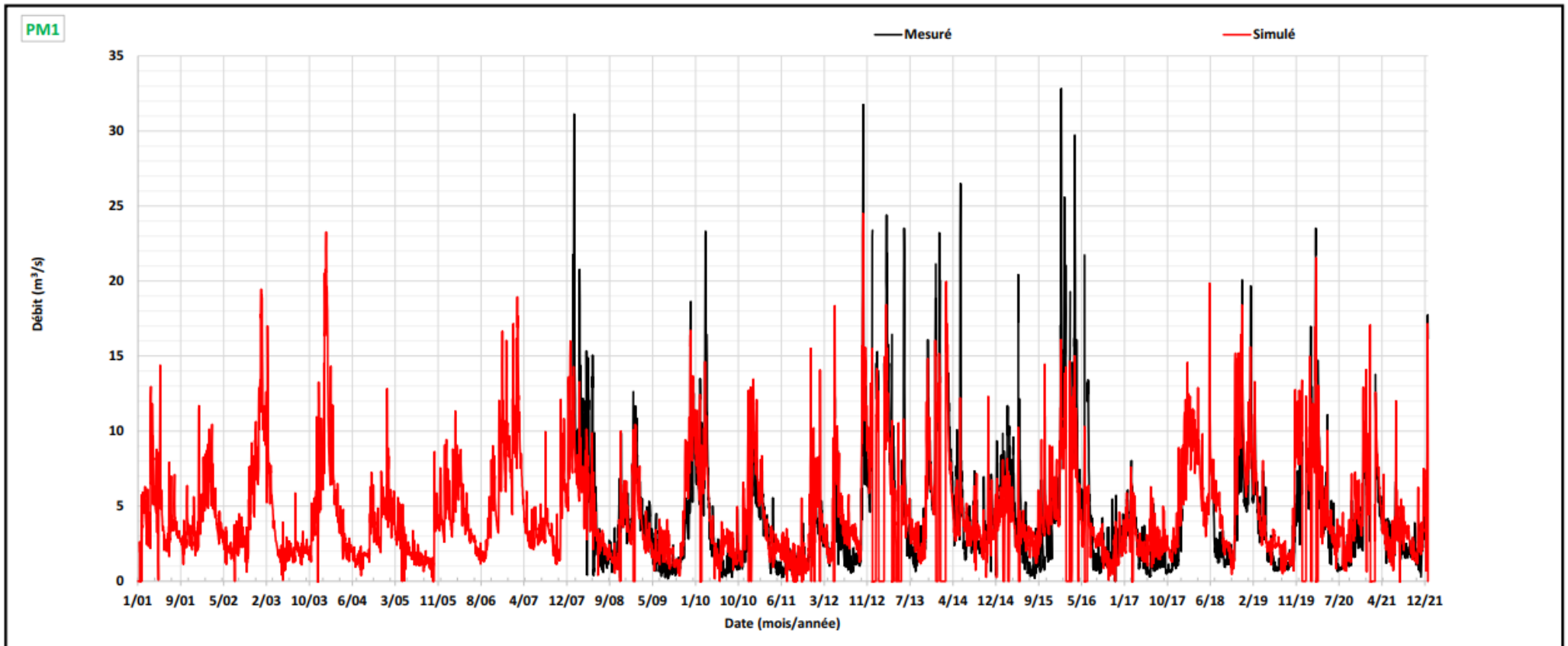
Le tableau suivant synthétise les débits caractéristiques calculés pour chaque UG, à leur exutoire :

Q (m³/s)	UG1	UG2	UG3	UG4	UG5	UG6	UG7	UG7b	UG8	UG9	UG10	
<b>Débits moyens mensuels</b>	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
<b>Module</b>	4.75	1.71	1.18	0.20	0.67	1.06	0.82	0.08	0.31	0.31	0.41	
<b>Médian</b>	3.49	1.29	0.90	0.15	0.56	0.81	0.63	0.06	0.24	0.24	0.32	
<b>QMNA2</b>	1.37	0.64	0.24	0.010	0.10	0.39	0.34	0.003	0.07	0.022	0.087	
<b>QMNA5</b>	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

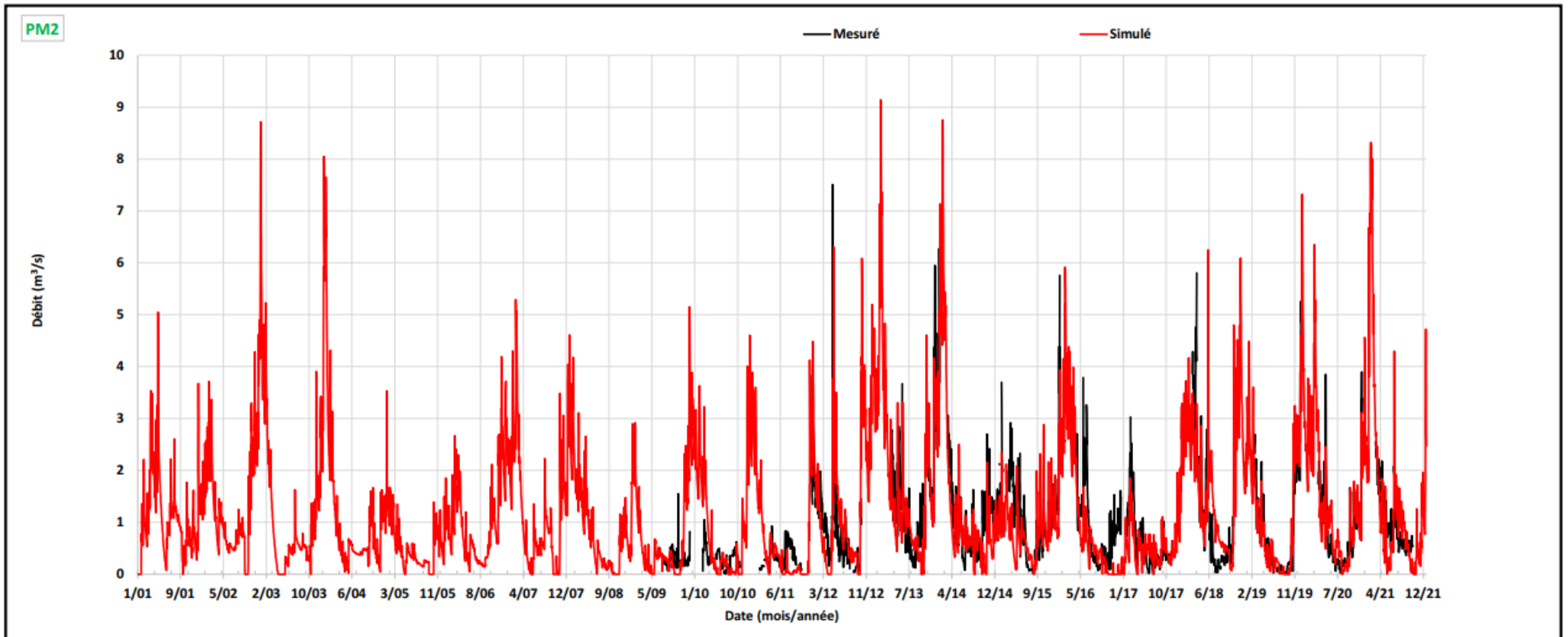


Nash(Y)	(valeurs fortes)	64.1
Nash(√Y)	(valeurs moyennes)	62.5
Nash(ln(Y))	(valeurs faibles)	46.8

**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



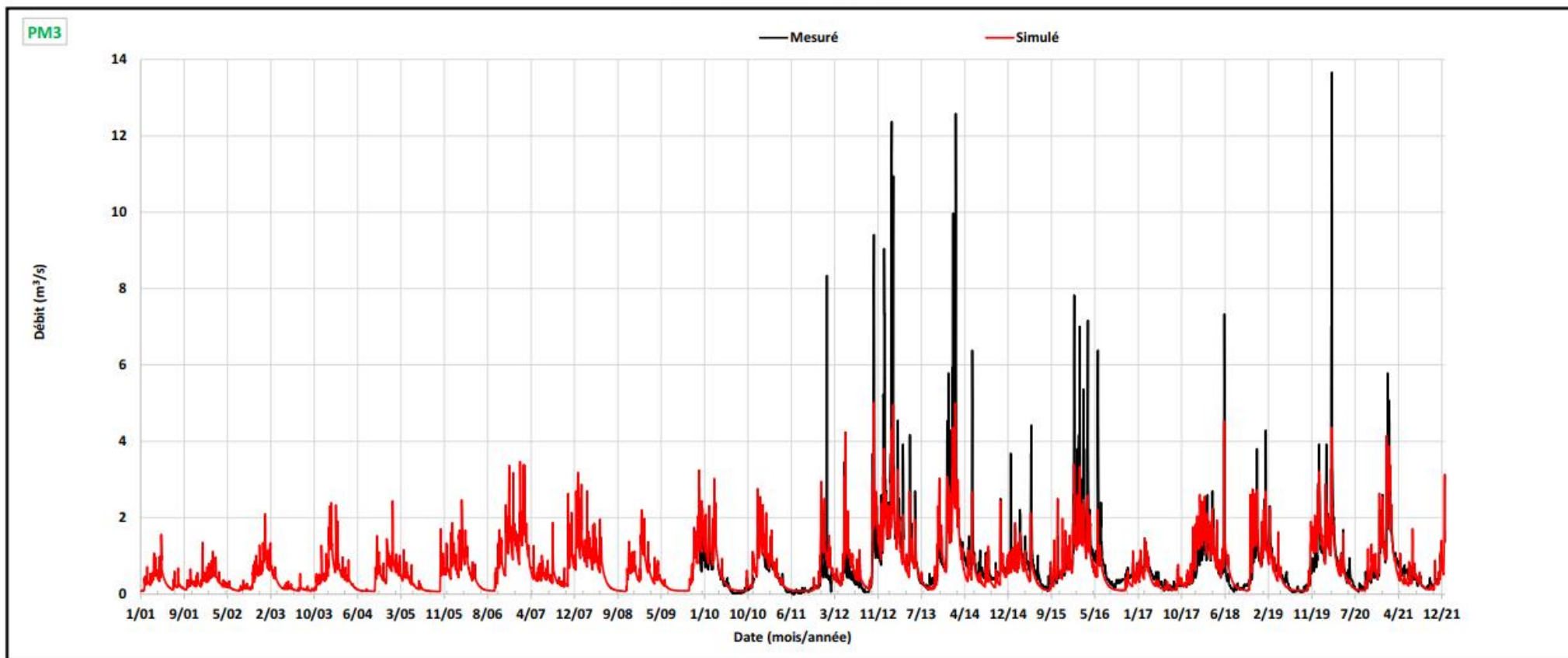
<b>Nash(Y)</b>	<i>(valeurs fortes)</i>	<b>-10.6</b>
<b>Nash(√Y)</b>	<i>(valeurs moyennes)</i>	<b>-43.9</b>
<b>Nash(ln(Y))</b>	<i>(valeurs faibles)</i>	<b>-199.1</b>

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

Situation actuelle : 2001-2021

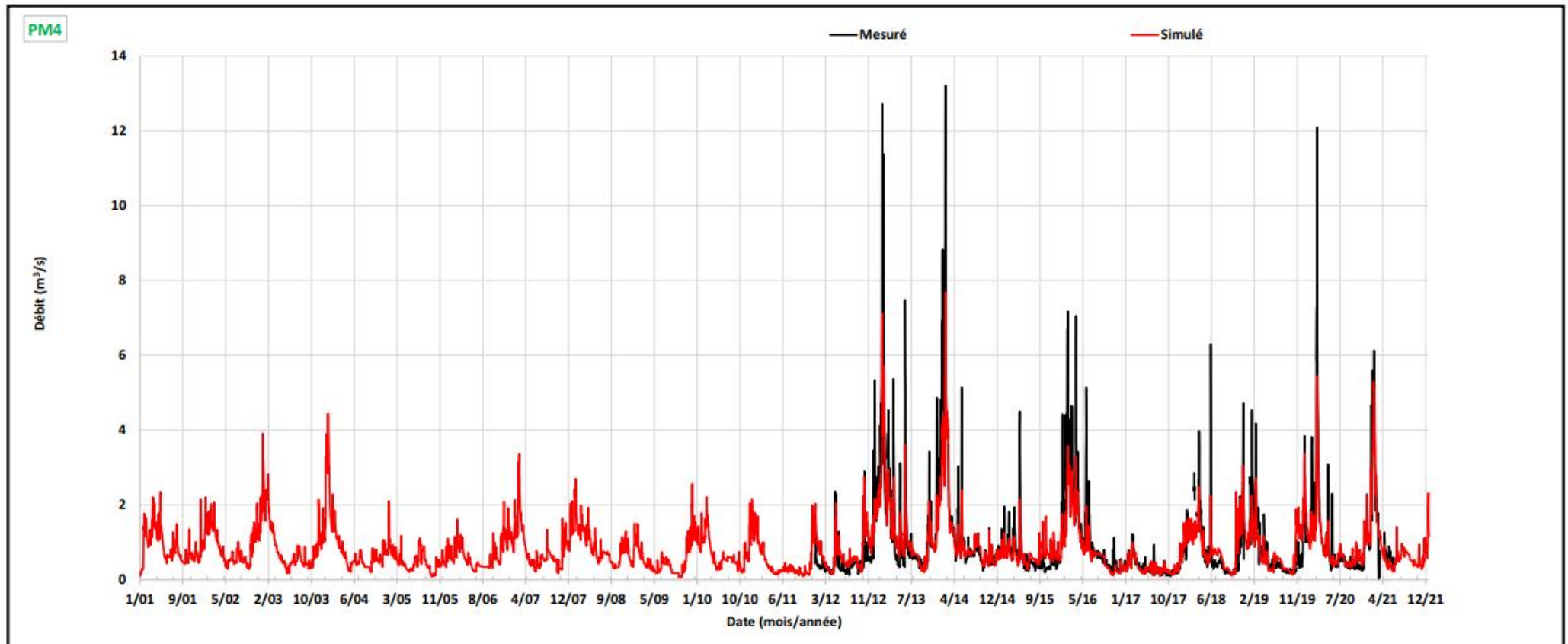


Nash(Y)	(valeurs fortes)	63.1
Nash(√Y)	(valeurs moyennes)	76.3
Nash(ln(Y))	(valeurs faibles)	78.4

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

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

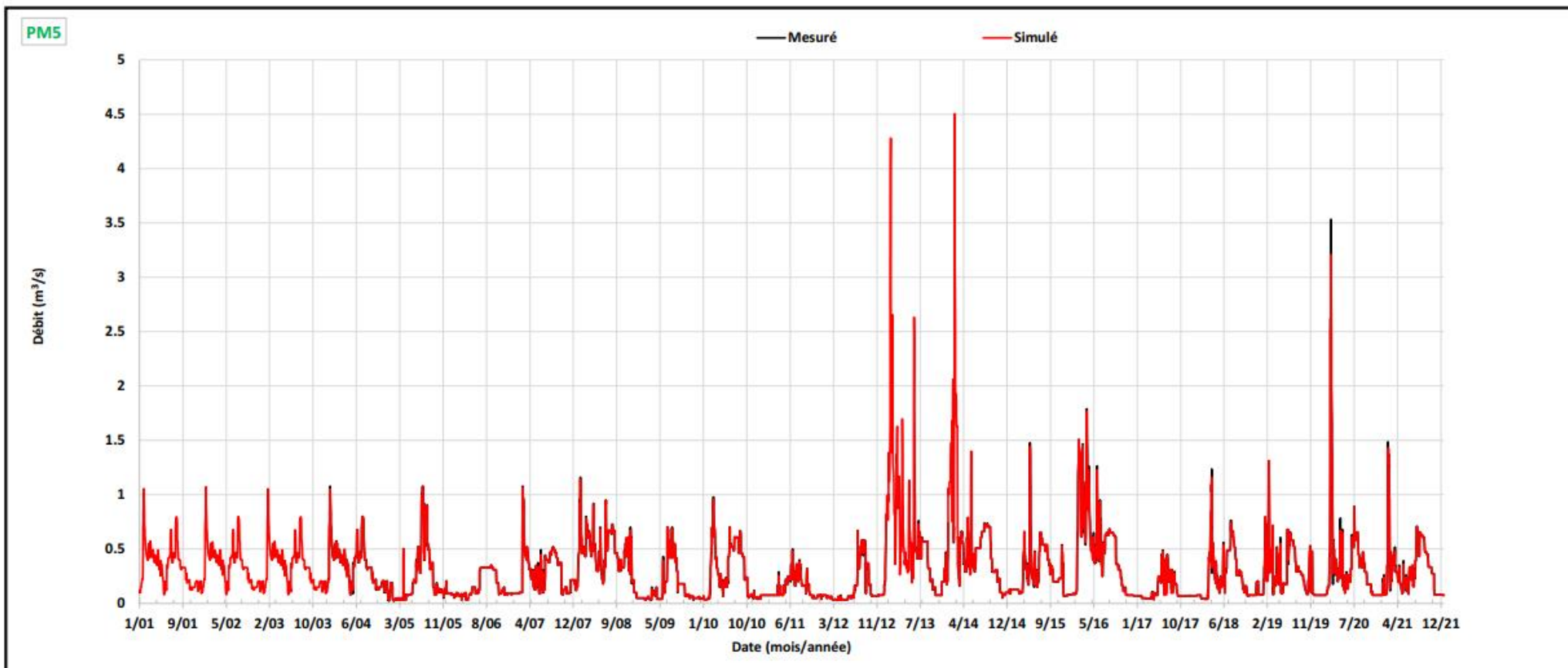
Référence : 51618  
Projet : authion\_v3  
Modèle : authion\_act  
Scénario : 01\_Act à 20\_Act  
  
Date : mai 2023



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



Situation actuelle : 2001-2021

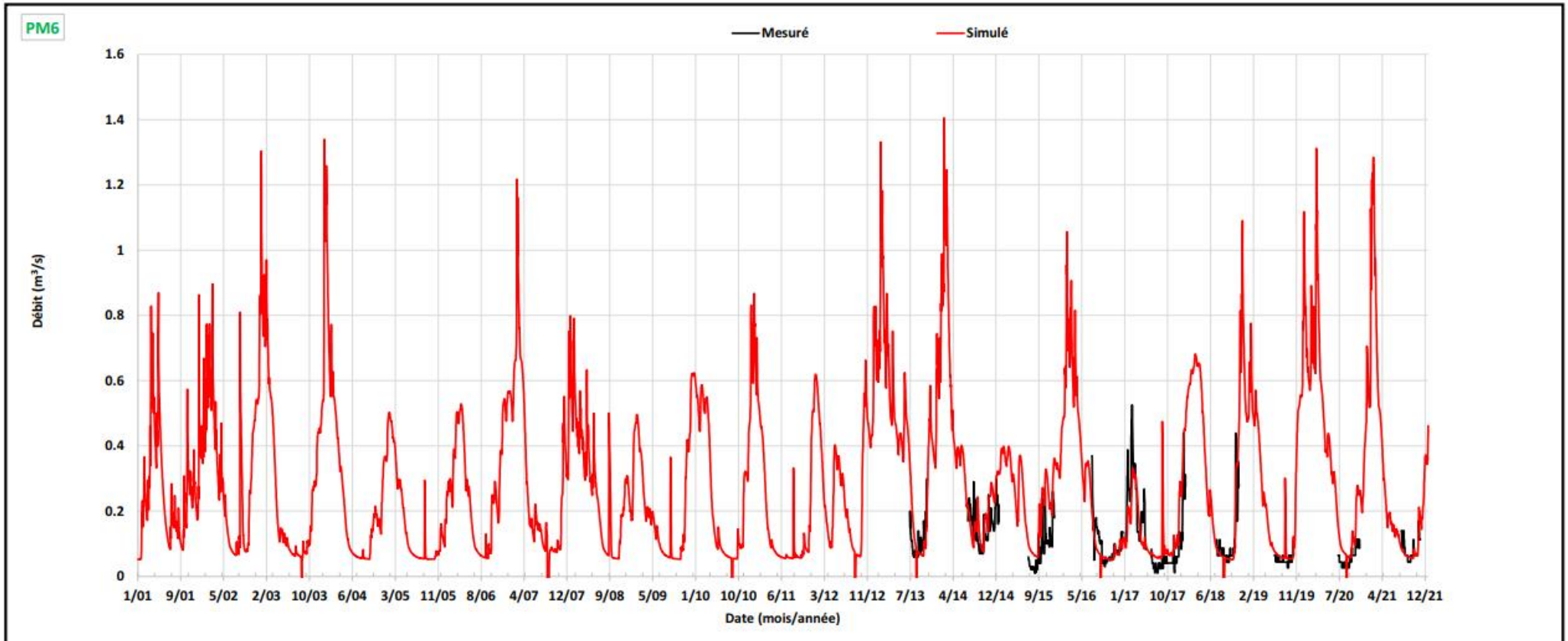


Nash(Y)	(valeurs fortes)	93.5
Nash(√Y)	(valeurs moyennes)	95.9
Nash(ln(Y))	(valeurs faibles)	96.6

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

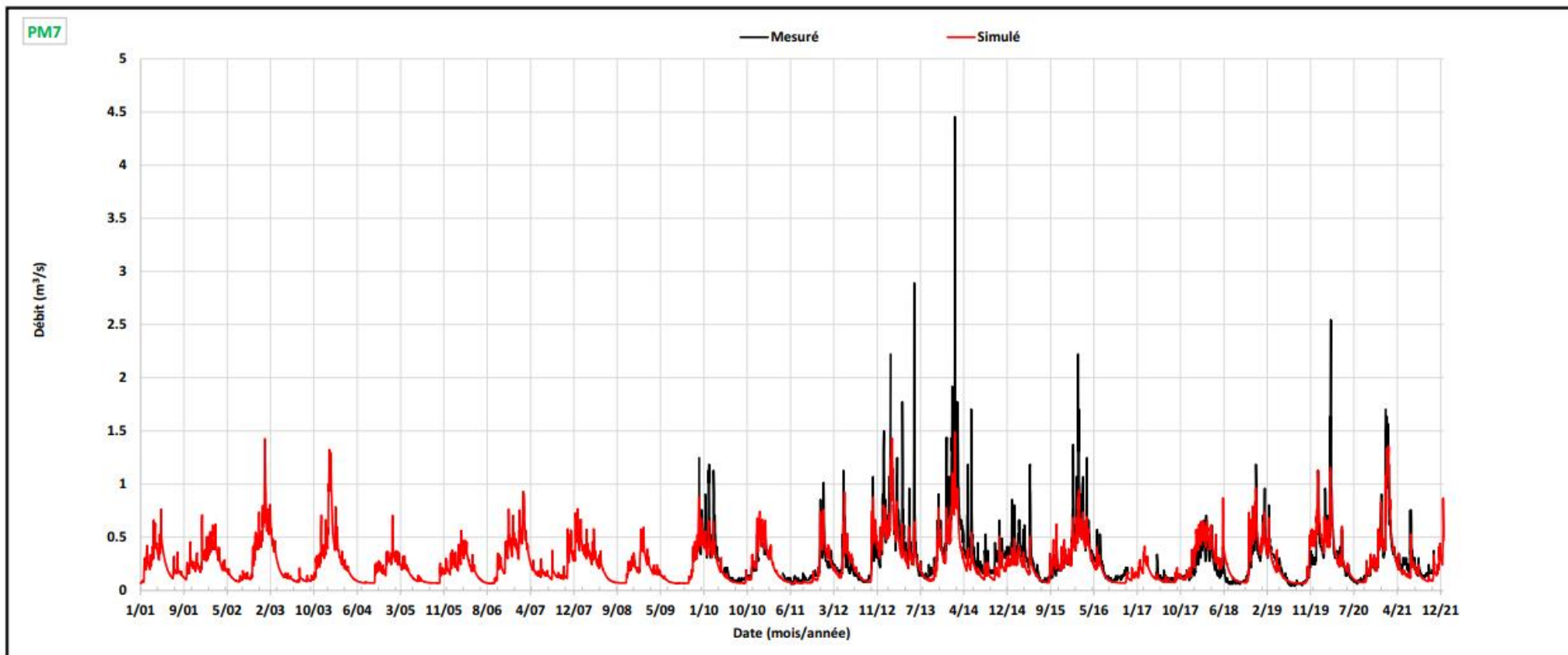


Nash(Y)	(valeurs fortes)	11.7
Nash(√Y)	(valeurs moyennes)	24.1
Nash(ln(Y))	(valeurs faibles)	29.1

**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.

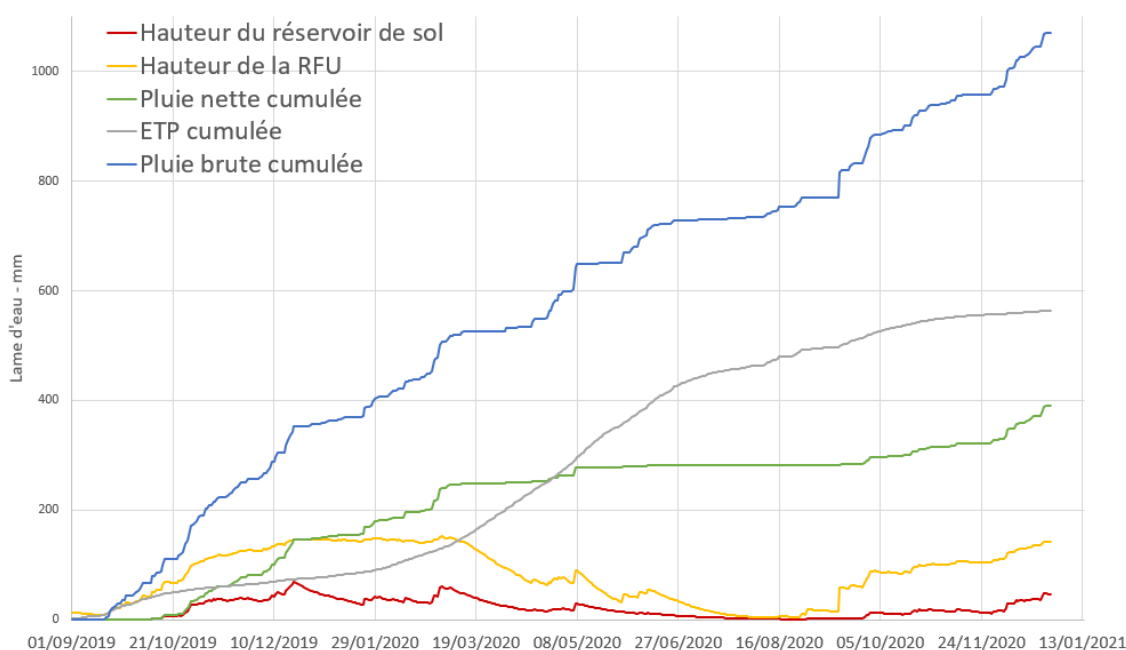


Figure 3-17 : Bilan des flux dans la zone non saturée – exemple sur le Changeon (sous-bassin versant 7)



## 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 m<sup>3</sup> 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 <sup>3</sup> /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 : Ecart des débits influencés et désinfluencés (% par rapport au débits désinfluencés-réalimentés)

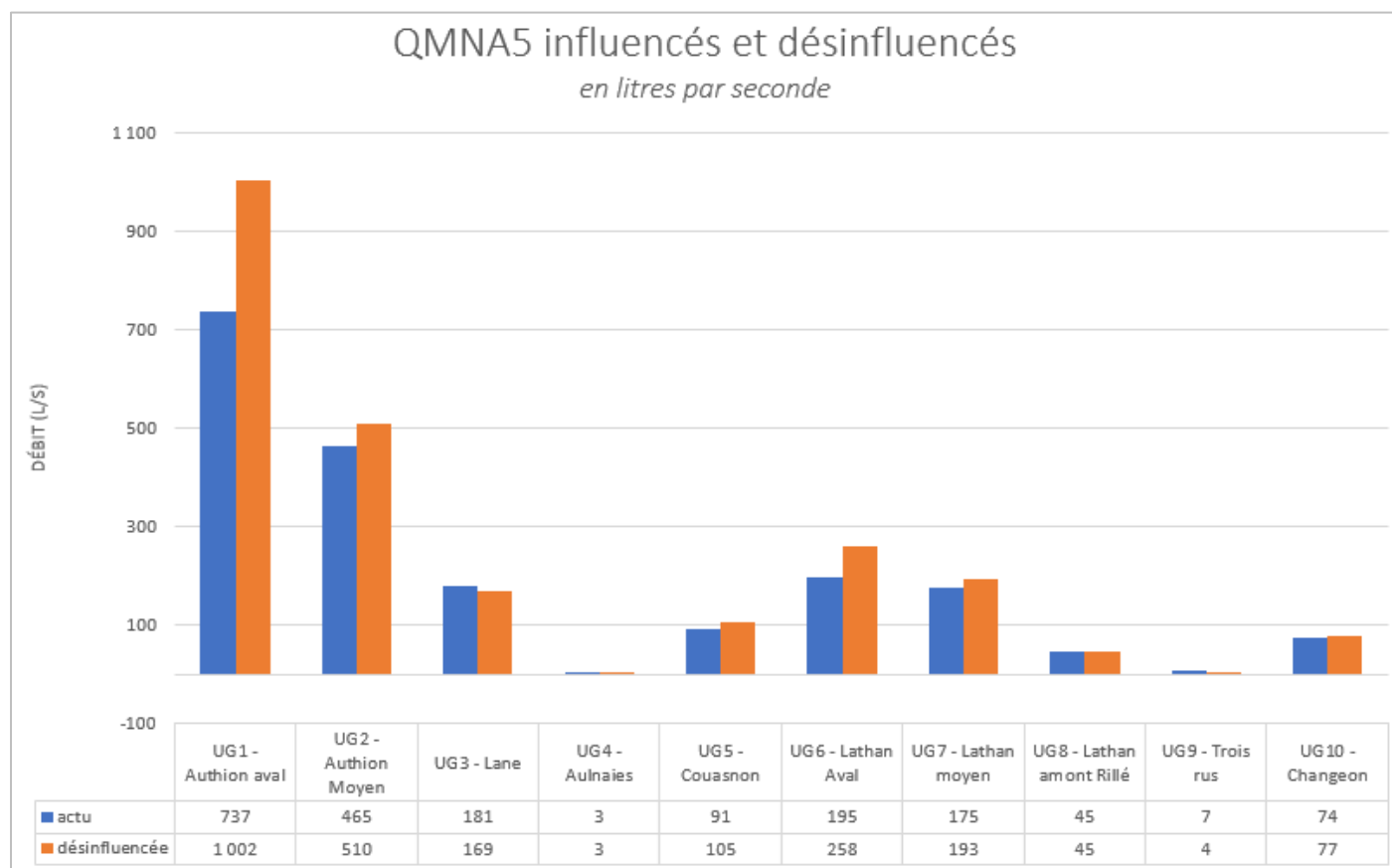
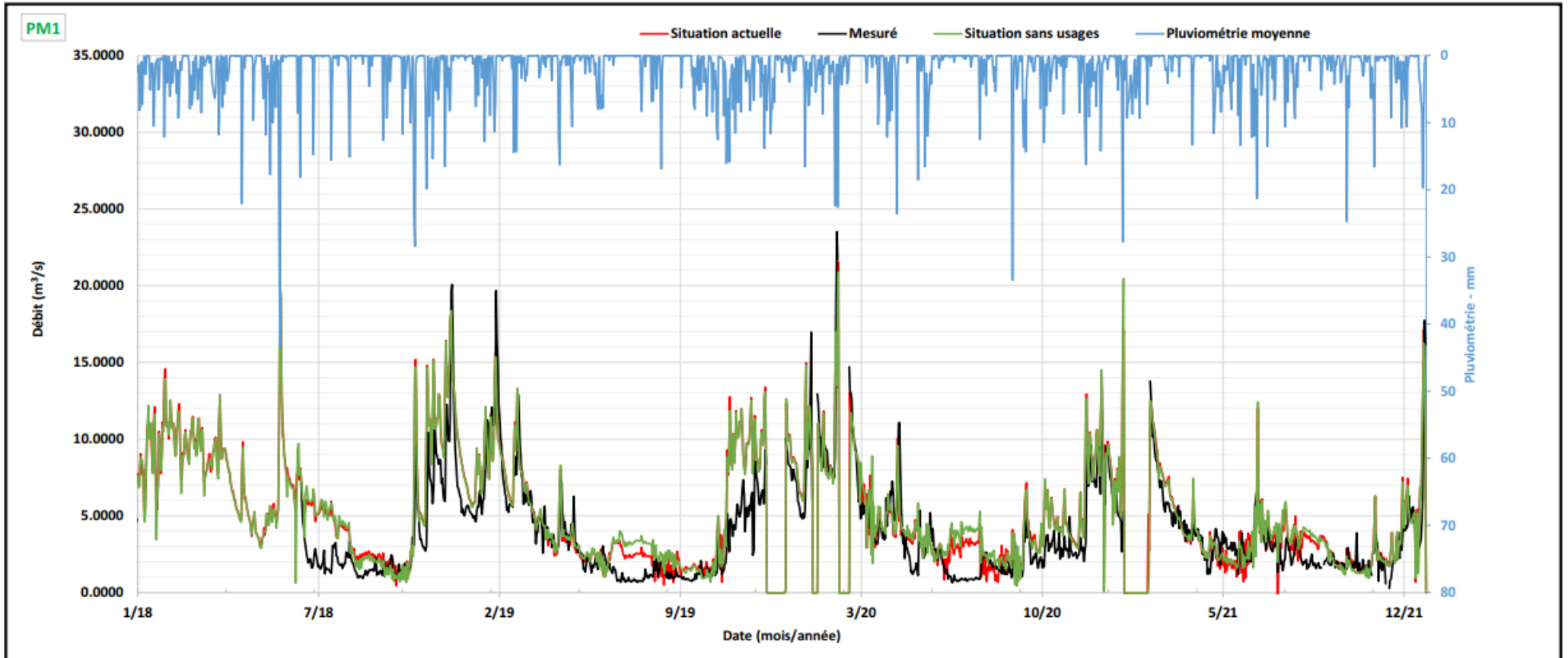
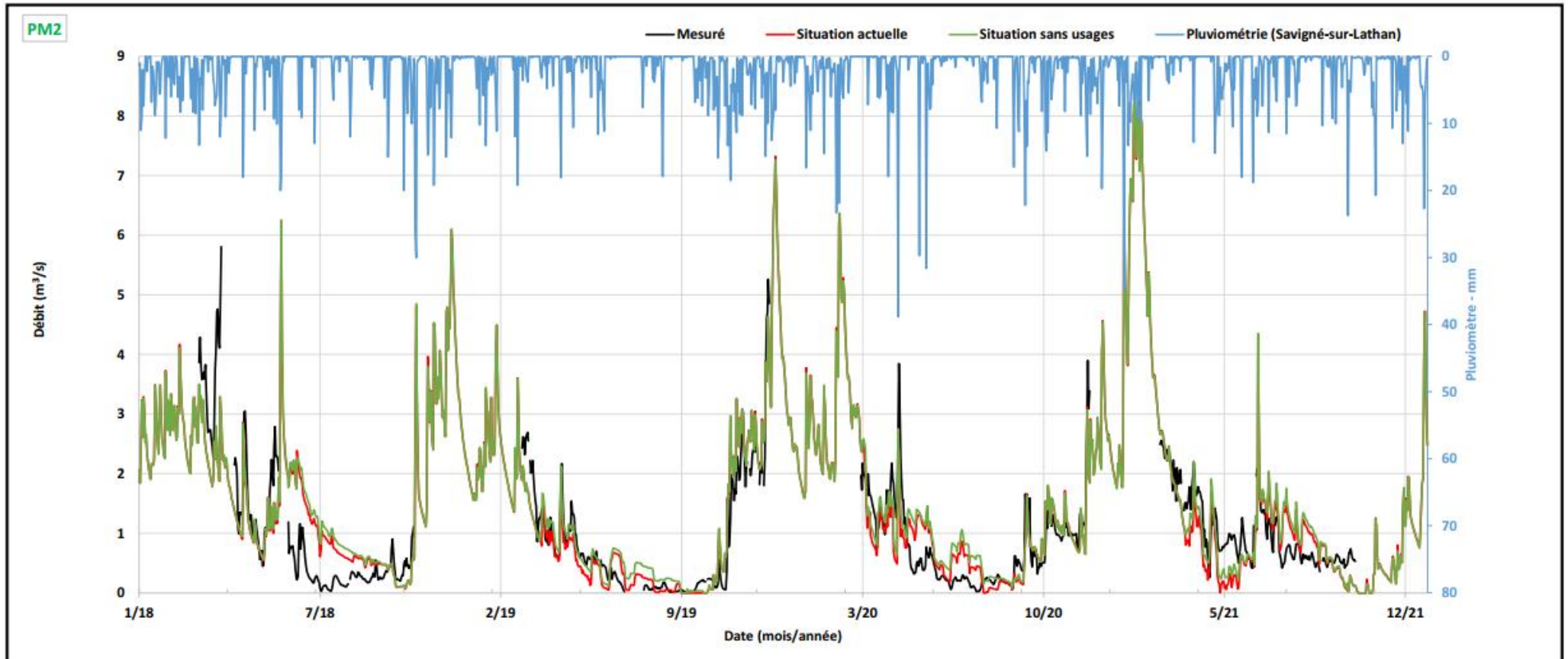


Figure 3-18 : QMNA5 influencés et désinfluencés par UG

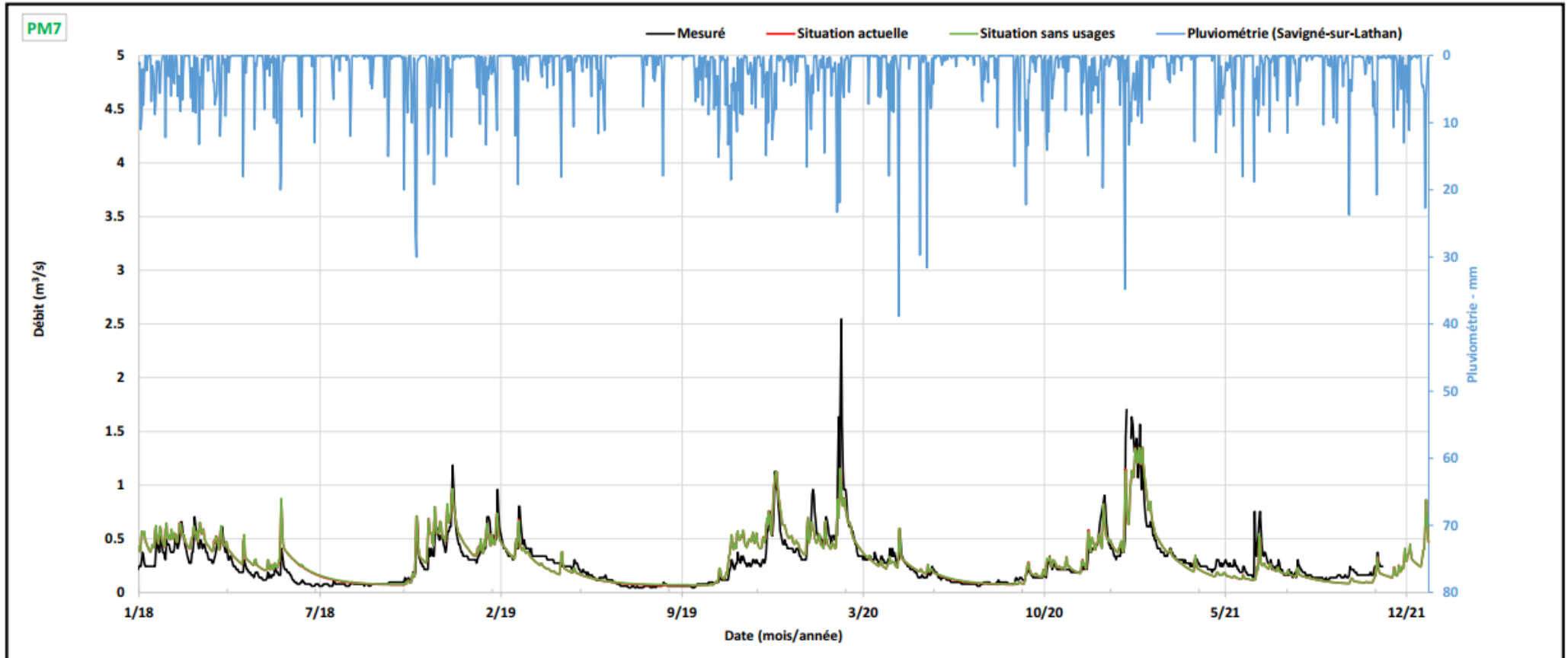
Situation sans usages : 2018-2021



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

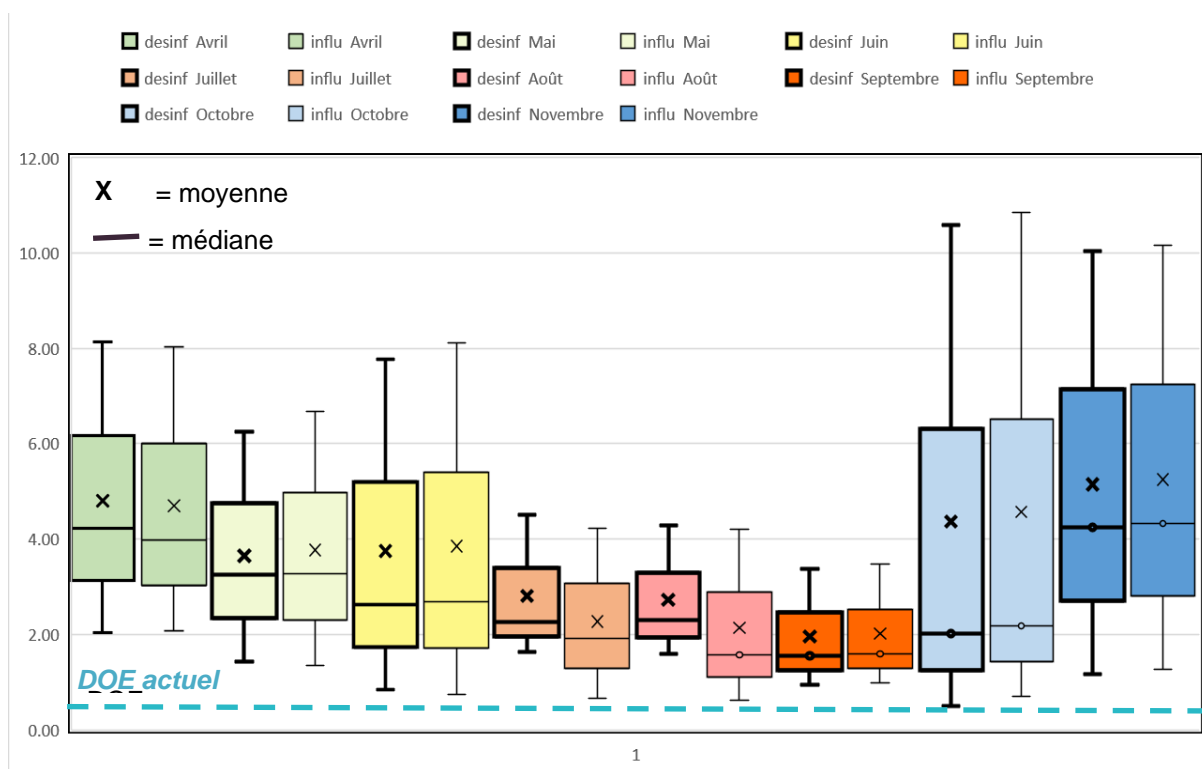
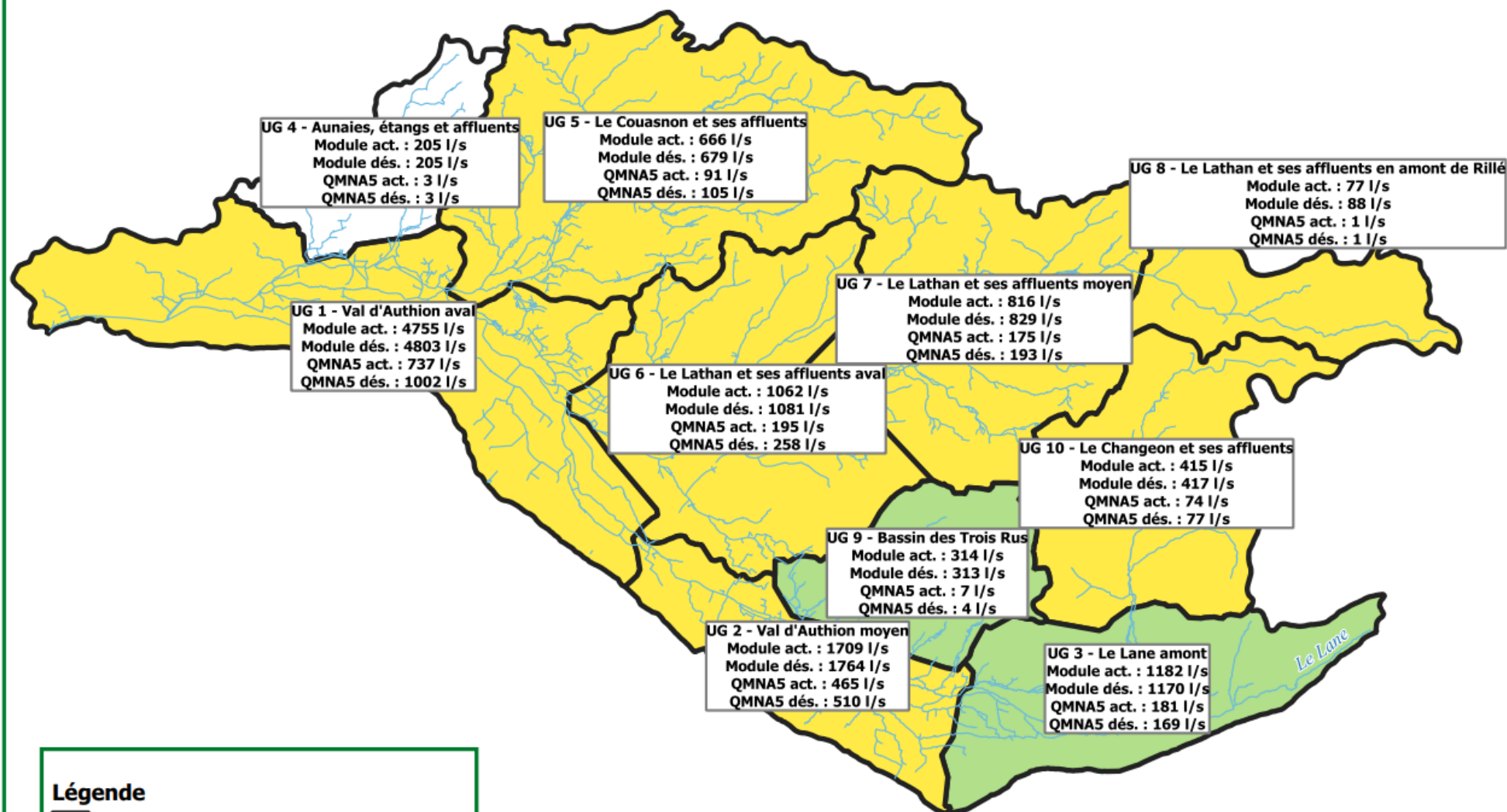


Figure 3-19 : Ecart des débits influencés et désinfluencés pour la chronique 2001-2021 à l'exutoire du bassin versant (UG1) pour la période avril à novembre

<sup>3</sup> 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 m<sup>3</sup>/s en moyenne, soit 6.3 millions de m<sup>3</sup> 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.

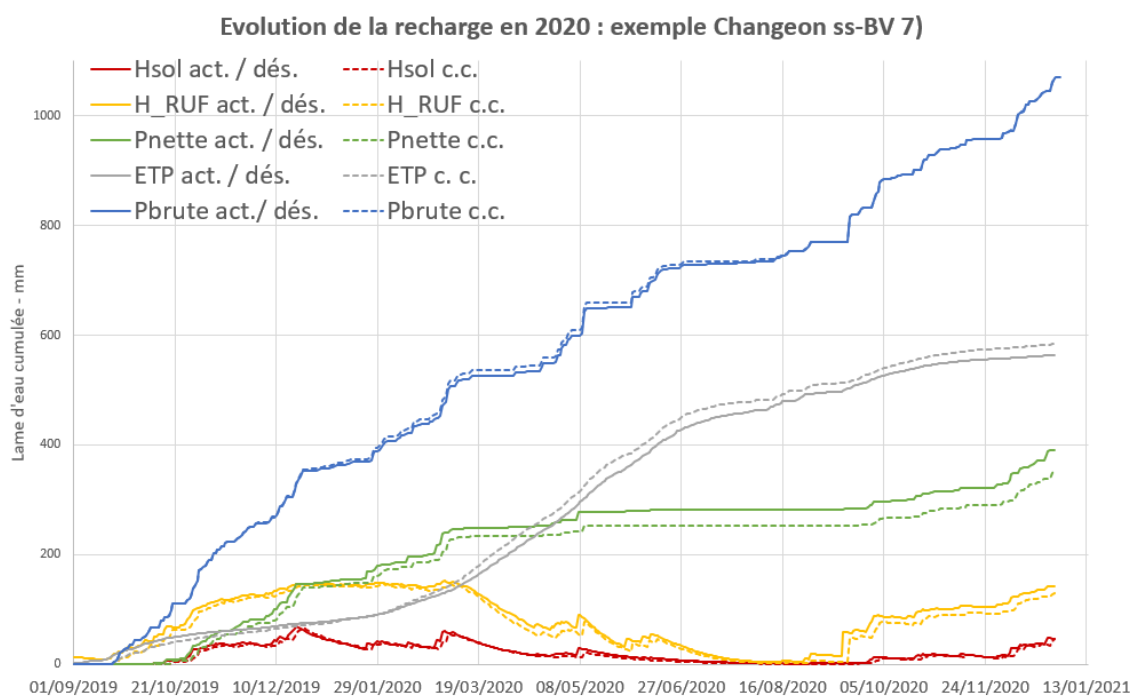


Figure 3-20 : Evolution de la recharge en 2020 en situation actuelle (act.), désinfluencée (des.) et désinfluencée + changement climatique (c. c.) – exemple sur le Changeon (sous-bassin versant 7)

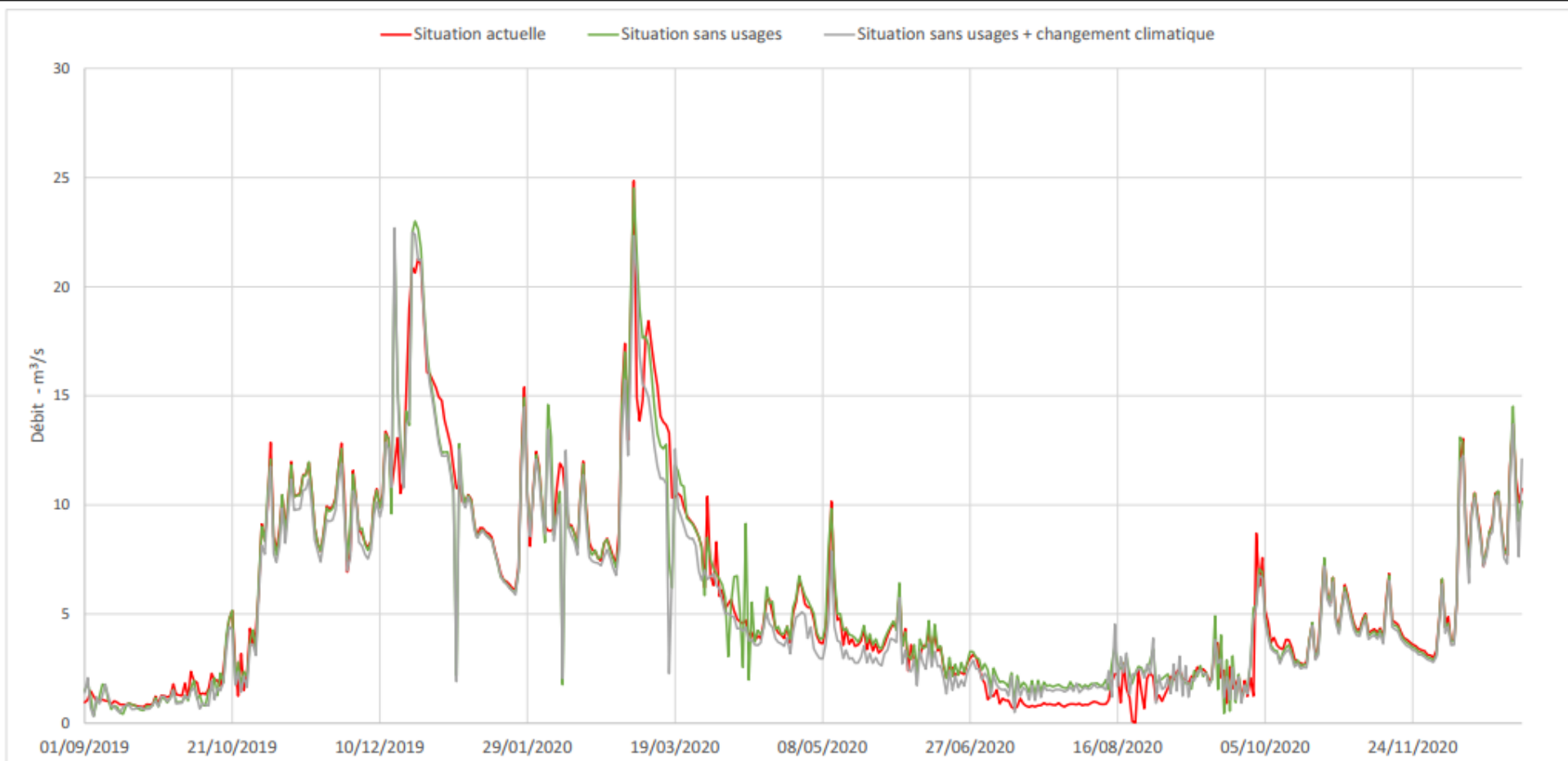
	Année 2020	Année 2020 + c.c.	Evolution
Pluie brute (mm)	1070	1070	0%
Evapotranspiration (mm)	564	584	+4%
Pluie nette (mm)	390	355	-9%
Ruissellement (mm)	20	18	-9%
Infiltration (mm)	371	337	-9%
Ressuyage du sol (mm)	100	88	-11%
Infiltration vers nappe (mm)	227	203	-11%
Recharge maximale du réservoir de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

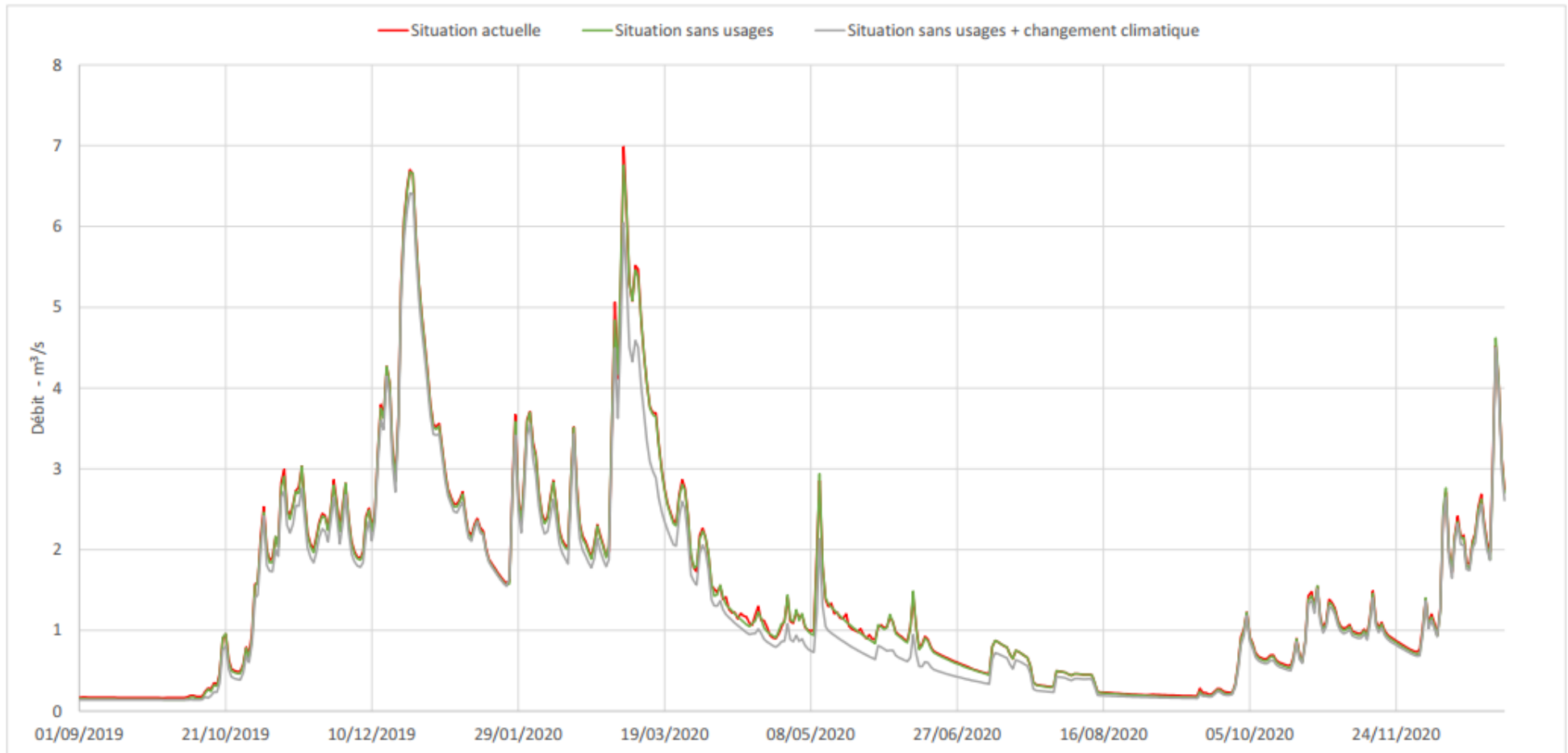
Situation sans usages avec changement climatique de sept 2019 à déc 2020



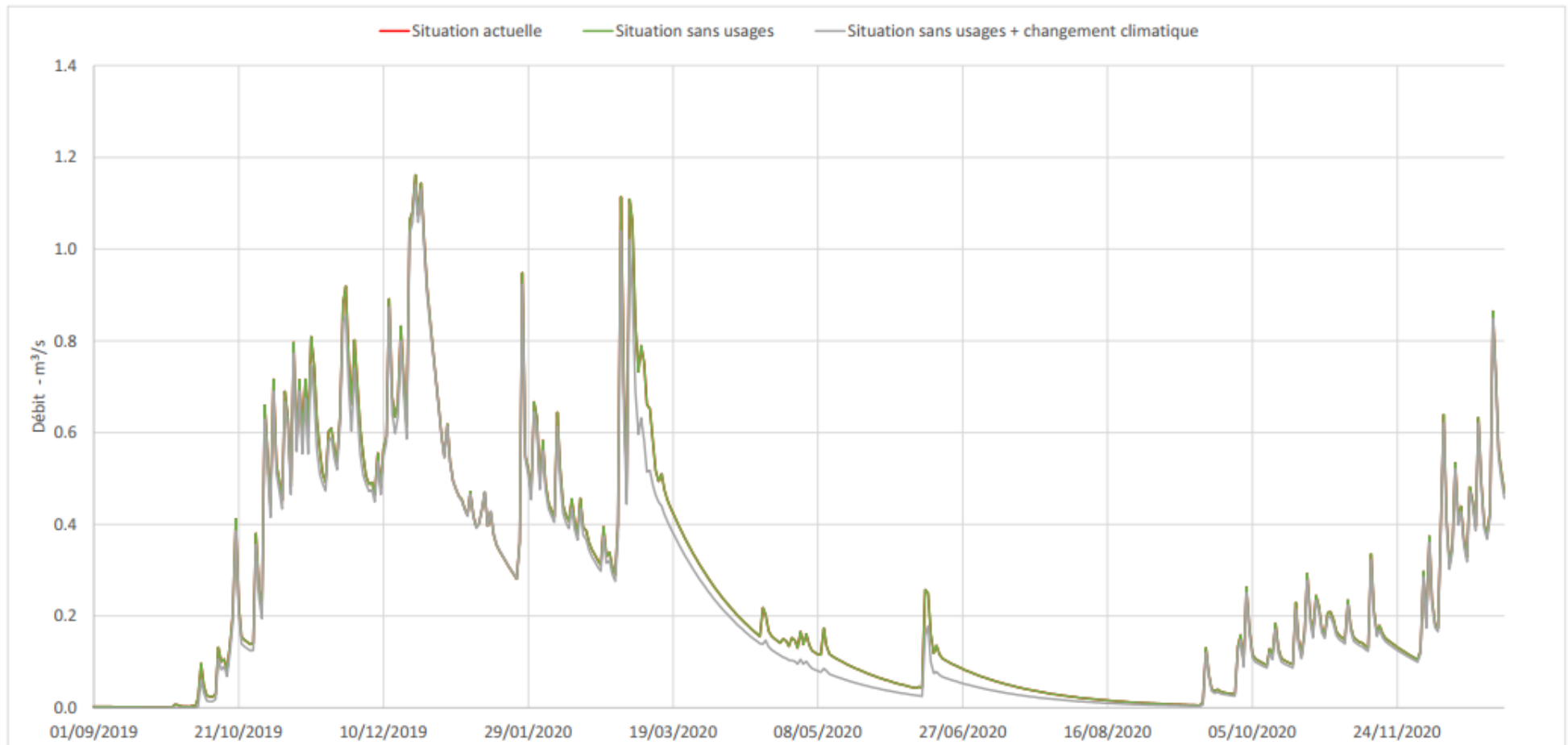
Situation sans usages avec changement climatique de sept 2019 à déc 2020



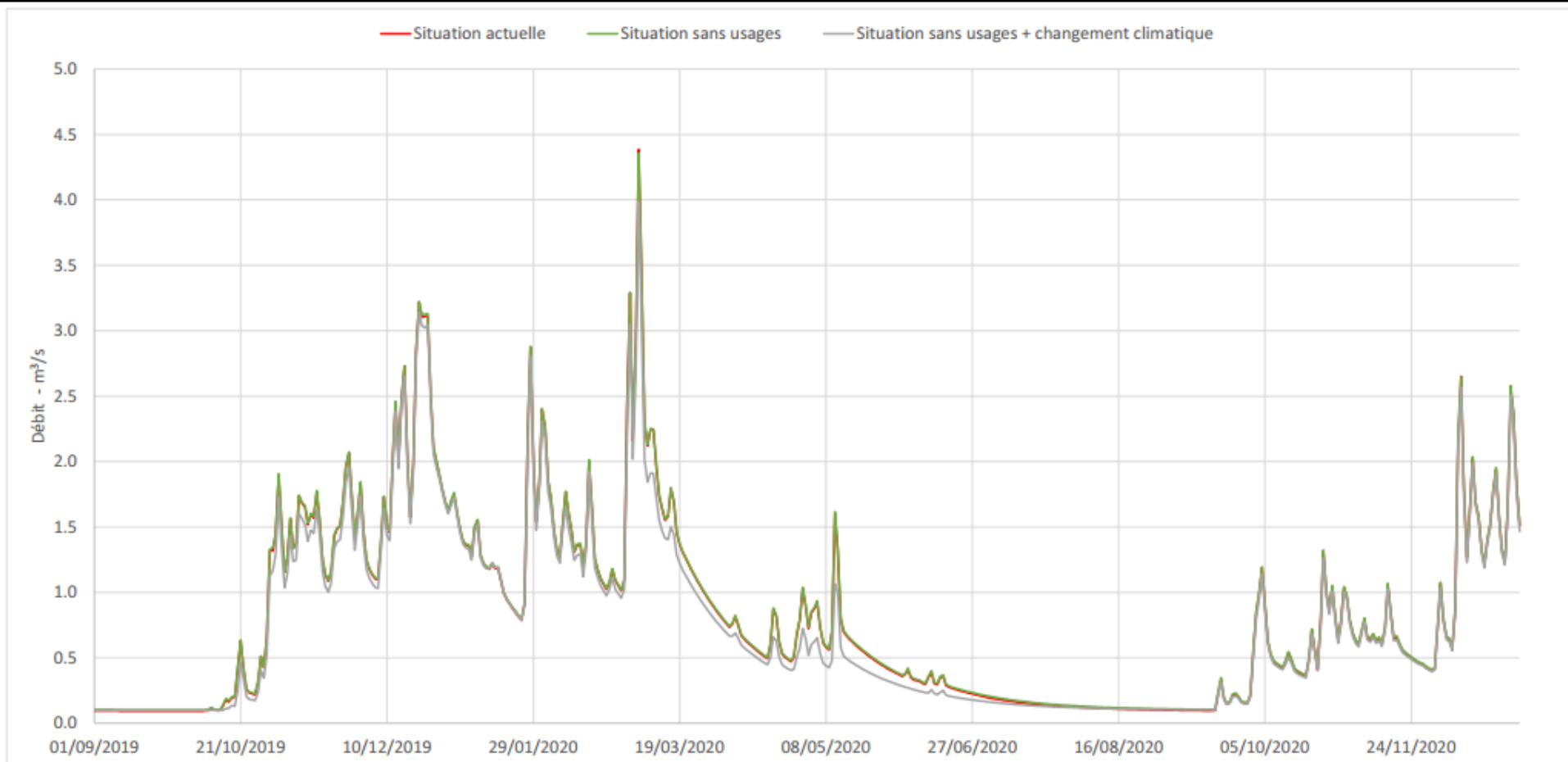
Situation sans usages avec changement climatique de sept 2019 à déc 2020



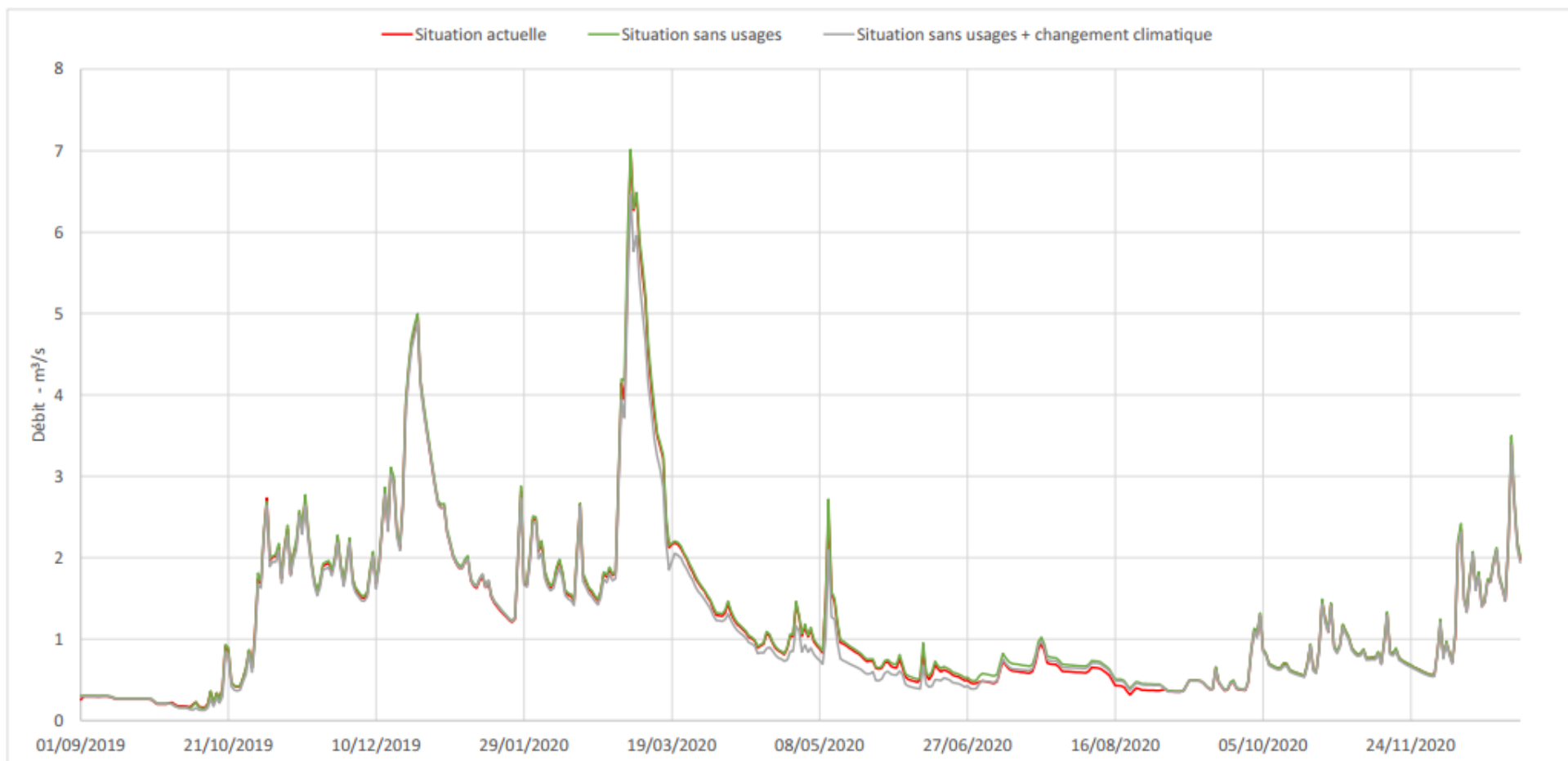
Situation sans usages avec changement climatique de sept 2019 à déc 2020



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

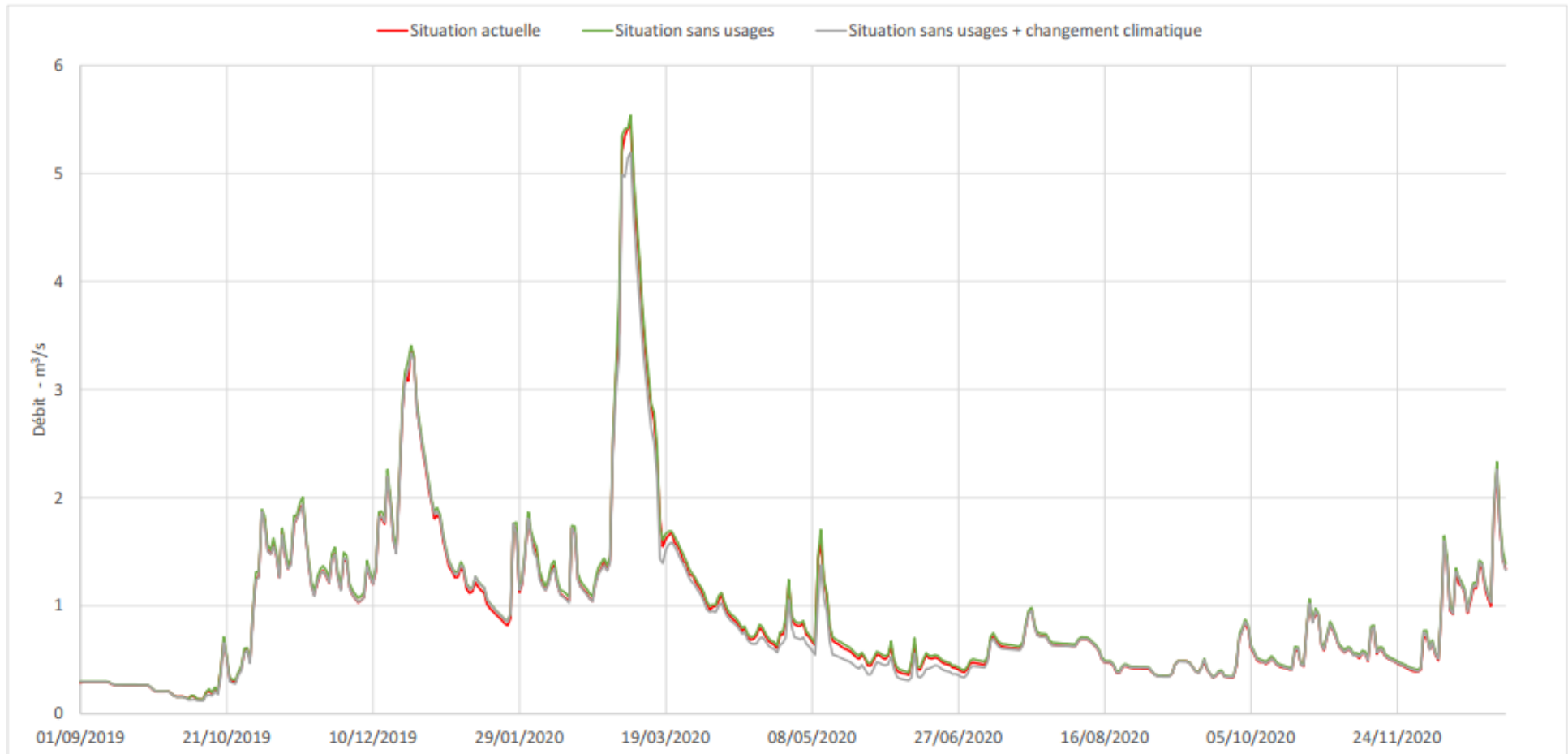


Situation sans usages avec changement climatique de sept 2019 à déc 2020

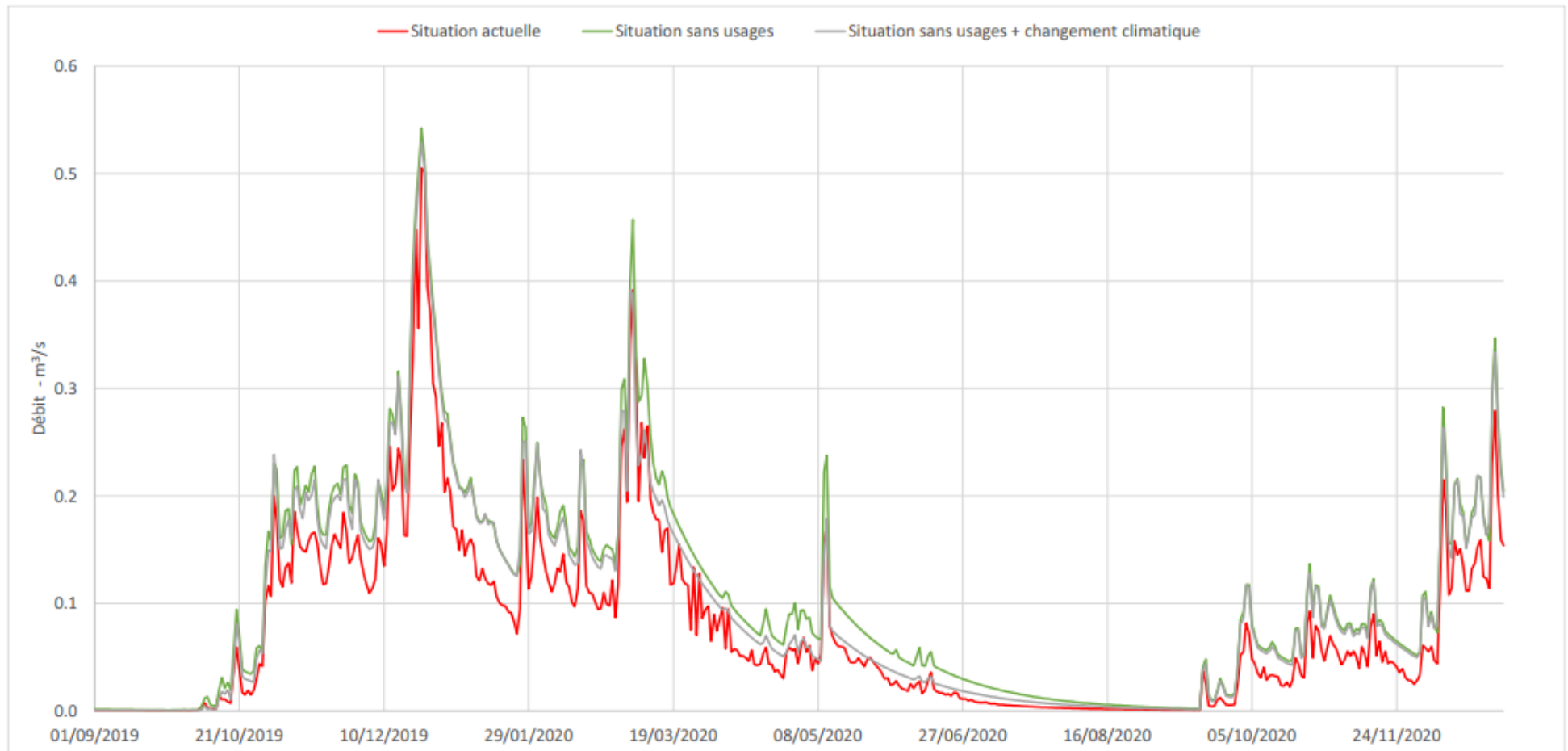




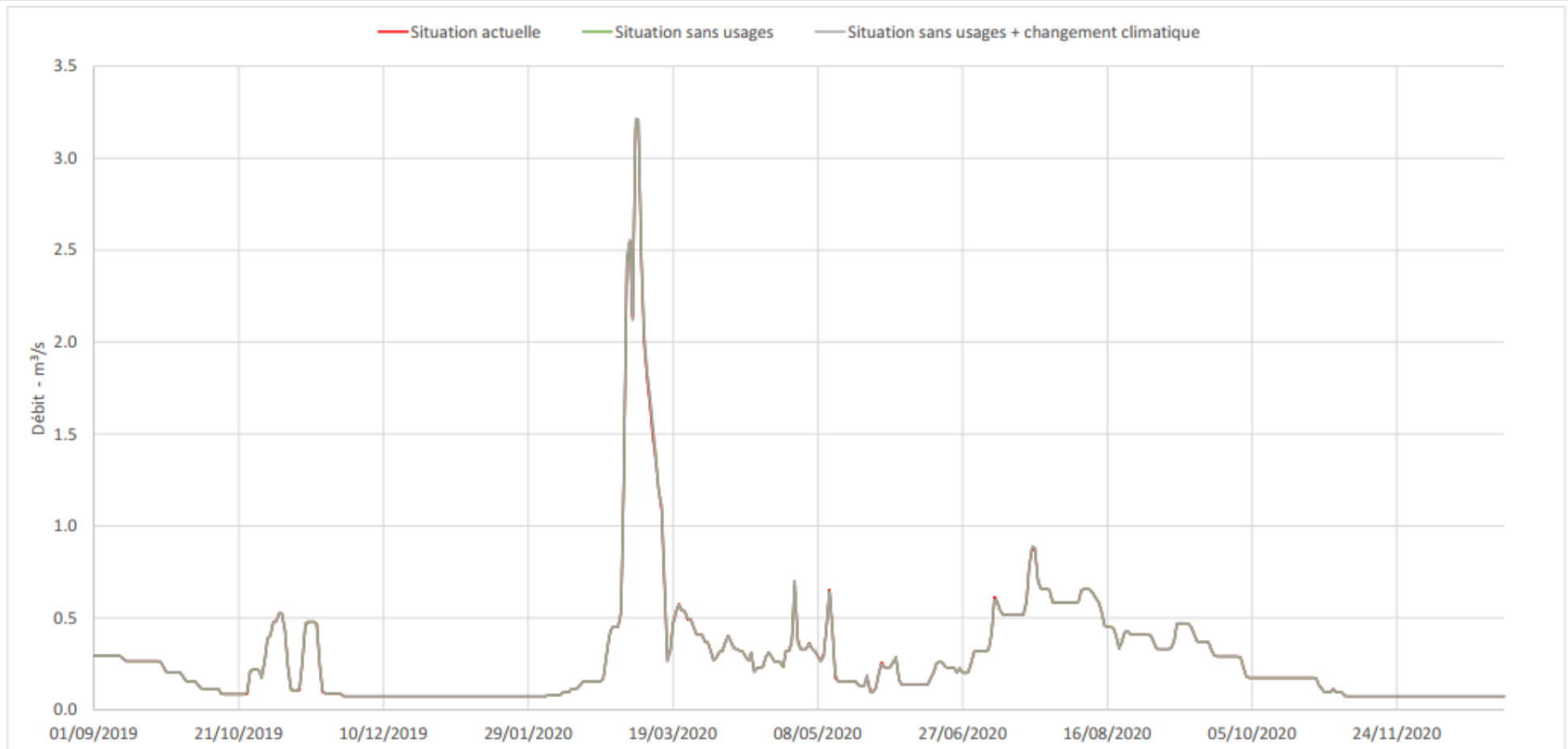
Situation sans usages avec changement climatique de sept 2019 à déc 2020



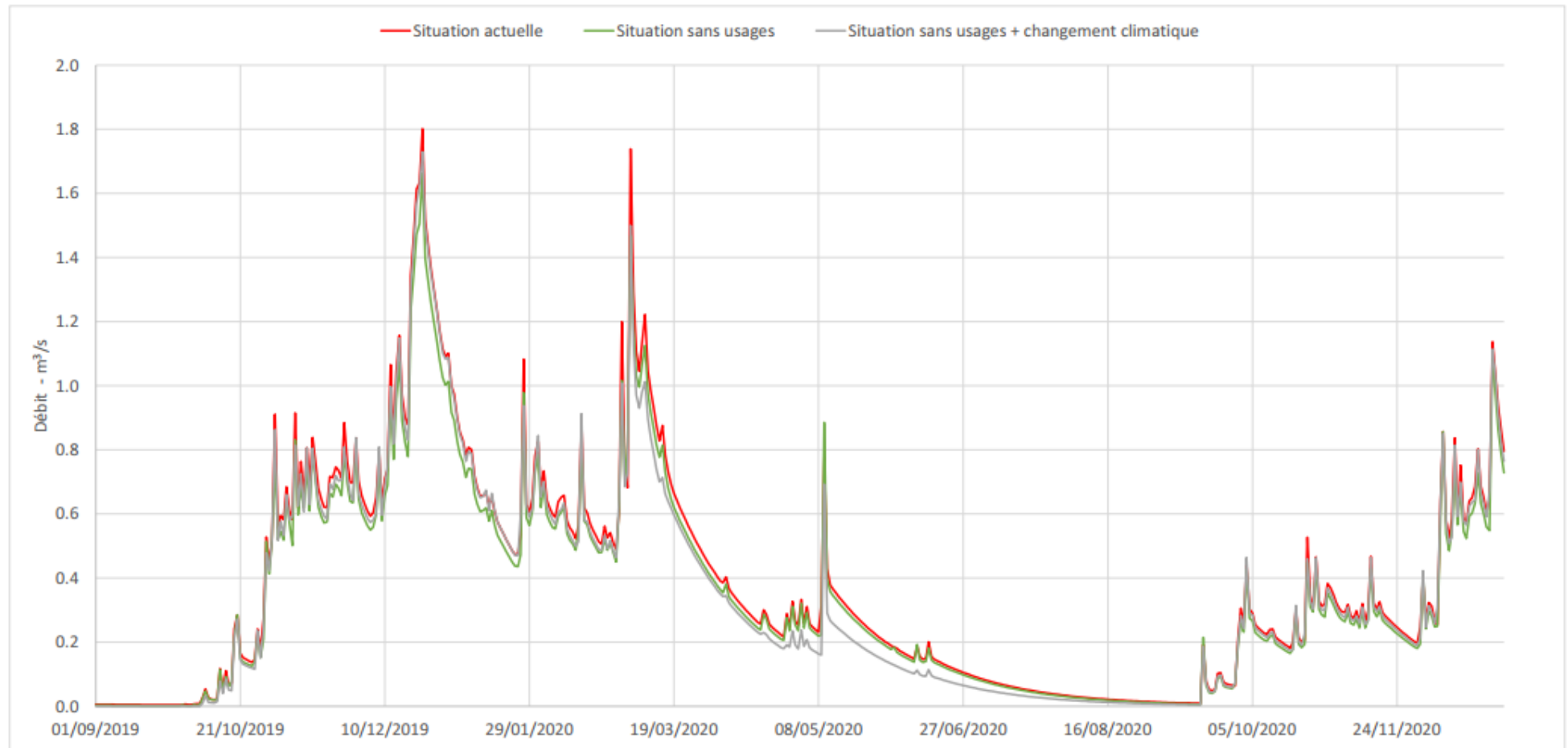
Situation sans usages avec changement climatique de sept 2019 à déc 2020



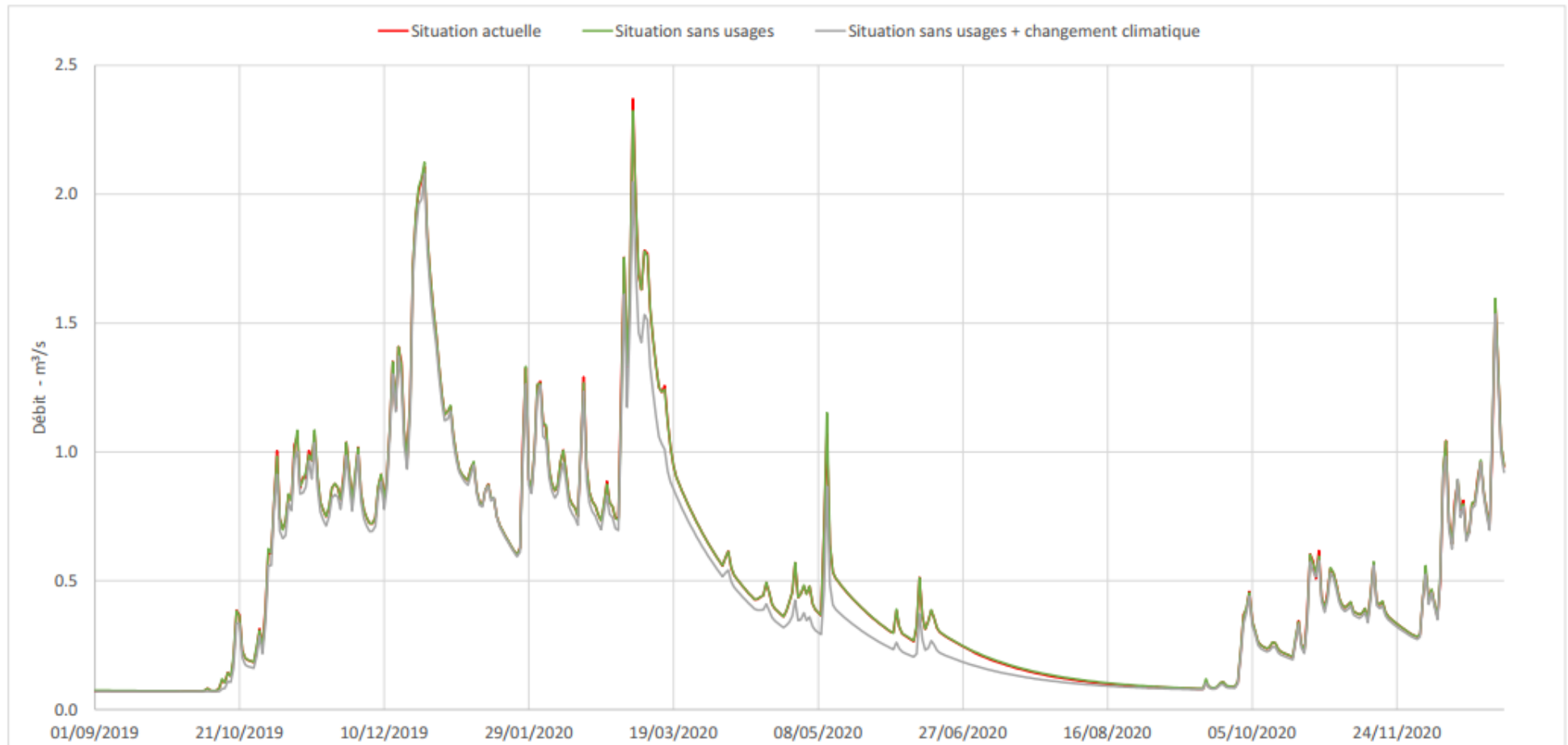
Situation sans usages avec changement climatique de sept 2019 à déc 2020



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 m<sup>3</sup>/s tandis que ce débit est de 2.70 m<sup>3</sup>/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

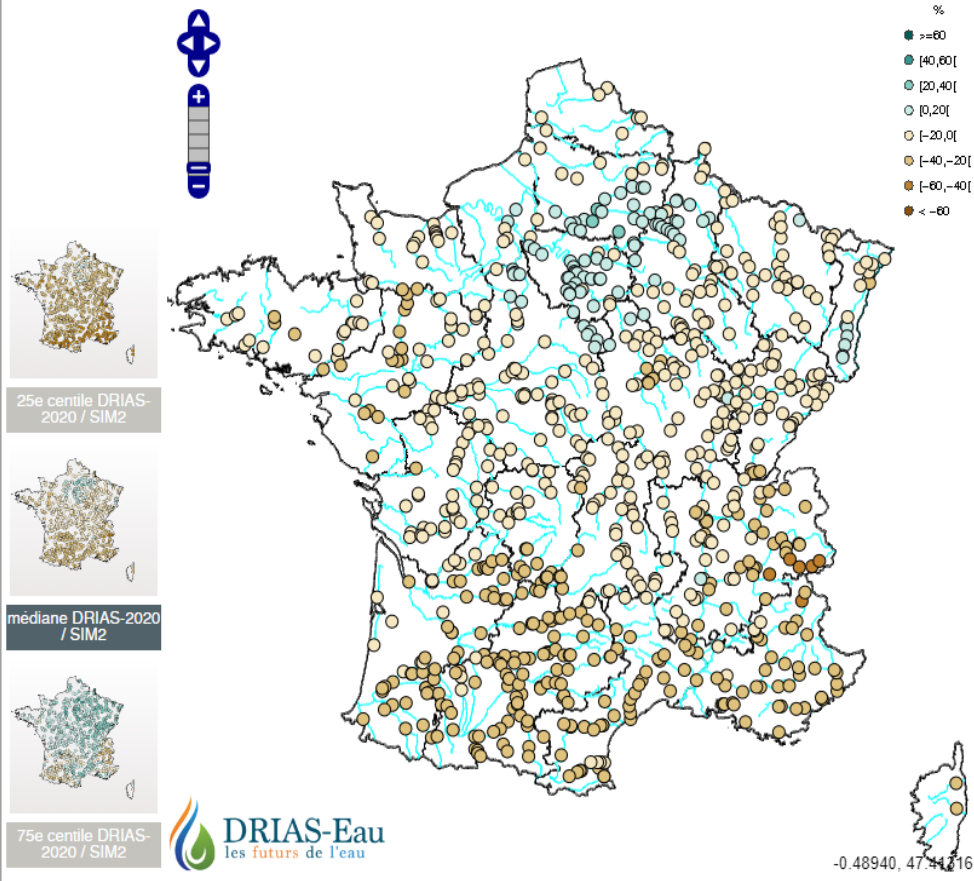


Figure 3-21 : Localisation des résultats de simulation de l'effet du changement climatique sur les débits dans le projet Explore 2

## 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)<sup>4</sup> 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 m<sup>3</sup> évaporés pour un mois d'été (juillet) par les plans d'eau connectés au milieu naturel
- Soit environ 15 000 à 30 000 m<sup>3</sup> 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.

---

<sup>4</sup> 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 m<sup>3</sup> dont :
  - 250 000 m<sup>3</sup> en superficiel (y compris plans d'eau)
  - 750 000 m<sup>3</sup> 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 m<sup>3</sup>/6 UG → 42 000 m<sup>3</sup> par UG sur 10 jours → soit 4 200 m<sup>3</sup>/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

## Annexes au Rapport de Phase 2, volet superficiel

Compléments apportés suite à la tenue du COPIL du 30 septembre 2024 :

- **Note complémentaire au rapport de Phase 2** à la suite des remarques formulées par les membres du COTECH au cours de l'année 2023-2024
- Documents annexes :
  - o Des tableaux croisés dynamiques, synthétisant les prélèvements (irrigation, industriel et eau potable) entre 2015 et 2021 sont présentés dans le fichier suivant : **Bilan\_usages\_VF\_par\_UG.pdf**
  - o Les Valeurs de débits à l'exutoire des Unités de Gestion, issues du modèle sont présentées dans le fichier suivant : **RESULTATS\_EXUTOIRE\_DESINFLUENCE\_realim.pdf**

# Note complémentaire au rapport de Phase 2 à la suite des remarques formulées par les membres du COTECH au cours de l'année 2023-2024 :

## Table des matières

Note complémentaire au rapport de Phase 2 à la suite des remarques formulées par les membres du COTECH au cours de l'année 2023-2024 : .....	1
I. Informations complémentaires relatives à la construction et au calage du modèle.....	2
a) DONNÉES DE PRÉLÈVEMENTS .....	2
b) PRÉLÈVEMENTS UG 3.....	2
c) INTERFACES MODELE SUPERFICIEL ET SOUTERRAIN.....	2
d) DONNEES ETP .....	2
e) CALAGE DU MODELE SUPERFICIEL .....	3
II. Informations complémentaires relatives aux résultats issus du modèle .....	4
a) VALEURS DE DEBIT A L'EXUTOIRE DES UG .....	4
b) VALEUR A L'EXUTOIRE DE L'UG 10 .....	4
c) VALEUR A L'EXUTOIRE DE L'UG8 .....	4
d) VALEUR A L'EXUTOIRE de l'UG7 bis .....	4
e) DEBIT EXUTOIRE DE L'UG 3 - REALIMENTATION PAR LA STATION DE ST PATRICE.....	4
f) CHANGEMENT CLIMATIQUE : .....	4

## I. Informations complémentaires relatives à la construction et au calage du modèle

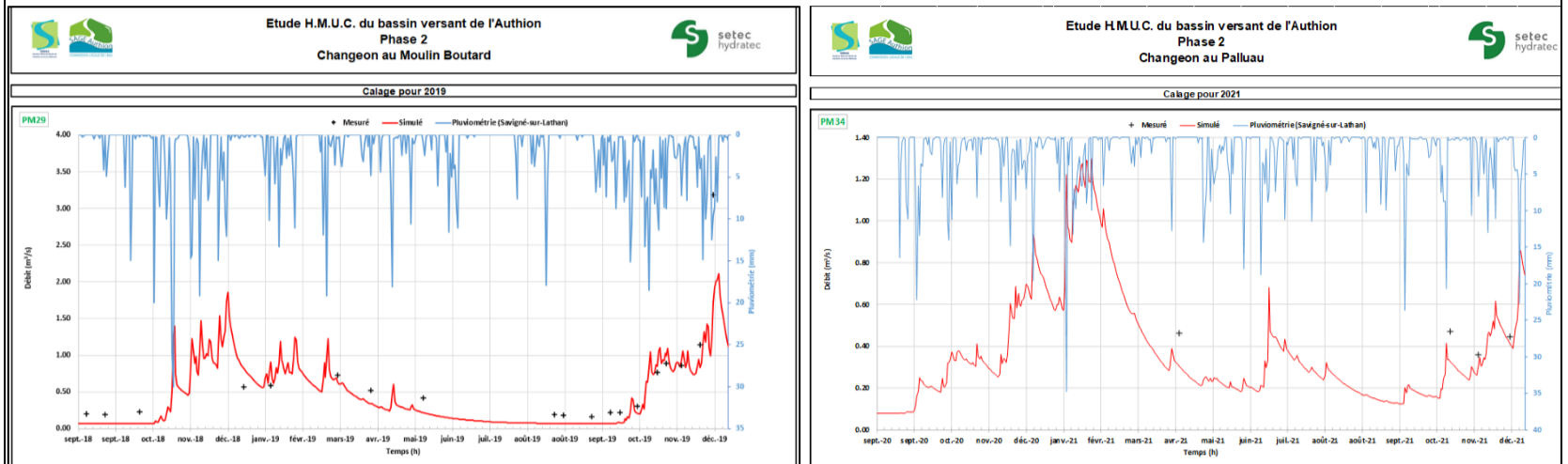
<p>a) DONNÉES DE PRÉLÈVEMENTS</p>	<p>Le rapport présente un tableau de synthèse des prélèvements moyens. Néanmoins ce sont bien des prélèvements annuels, sur la base des données fournies par l'OUGC jusqu'en 2021 qui sont intégrées dans le modèle.</p> <p>Des tableaux croisés dynamiques, synthétisant les prélèvements (irrigation, industriel et eau potable) entre 2015 et 2021 sont présentés dans le fichier PDF : <b>Bilan_usages_VF_par_UG.pdf</b></p> <p>La valeurs d'abreuvement, d'anti-gel et domestiques sont en revanche établis sur la base d'une estimation moyenne et ventilés par UG. Ce sont les mêmes chaque année :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 15 000 à 30 000 m<sup>3</sup> par UG évaporation des plans d'eau connectés (selon densité PE)</li> <li>• Aspersion anti-gel déclaré : 10 000 m<sup>3</sup> (UG 3)</li> <li>• Abreuvement du bétail : 800 000 m<sup>3</sup> (toutes UG)</li> </ul> <p>Notons que les valeurs journalières en tout point ont été transmises au SMBAA :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Débits journaliers des prélèvements superficiels : <b>Prelevements_superficiels_modele.xlsx</b> ;</li> <li>• Localisation et identification des prélèvements superficiels : <b>Prelevements_superficiels_modele.shp</b></li> </ul>																						
<p>b) PRÉLÈVEMENTS UG 3</p>	<p>Les prélèvements intégrés au modèle sont les <b>prélèvements réels</b> – transmis par l'OUGC. Ils sont le plus souvent inférieurs aux prélèvements alloués en début de saison. <b>Les prélèvements de nappe (alluviale + cénonanien) sont inclus dans le modèle souterrain.</b></p> <p>Pour l'UG 3 nous avons en 2022 nous avons :</p> <table border="1" data-bbox="743 1003 1308 1397"> <thead> <tr> <th>Unité de Gestion 3</th> <th>Somme de Volume prélevé période</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Canal 16</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Canal Authion</td> <td>22 482</td> </tr> <tr> <td>la Loire</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>l'Authion</td> <td>10 095</td> </tr> <tr> <td>le Changeon</td> <td>9 673</td> </tr> <tr> <td>le Changeon réalimenté</td> <td>8 720</td> </tr> <tr> <td>le Lane</td> <td>113 289</td> </tr> <tr> <td>nappe alluviale</td> <td>557 237</td> </tr> <tr> <td>nappe cénonanien</td> <td>14 057</td> </tr> <tr> <td><b>Total général</b></td> <td><b>735 553</b></td> </tr> </tbody> </table>	Unité de Gestion 3	Somme de Volume prélevé période	Canal 16	0	Canal Authion	22 482	la Loire	0	l'Authion	10 095	le Changeon	9 673	le Changeon réalimenté	8 720	le Lane	113 289	nappe alluviale	557 237	nappe cénonanien	14 057	<b>Total général</b>	<b>735 553</b>
Unité de Gestion 3	Somme de Volume prélevé période																						
Canal 16	0																						
Canal Authion	22 482																						
la Loire	0																						
l'Authion	10 095																						
le Changeon	9 673																						
le Changeon réalimenté	8 720																						
le Lane	113 289																						
nappe alluviale	557 237																						
nappe cénonanien	14 057																						
<b>Total général</b>	<b>735 553</b>																						
<p>c) INTERFACES MODELE SUPERFICIEL ET SOUTERRAIN</p>	<p><b>Il n'y a pas de mise en relation « en direct » des modèles souterrains et superficiels.</b></p> <p>Le modèle souterrain est alimenté par une recharge calculée par le modèle superficiel (paramètre <i>Pnappe</i>).</p> <p>Toutefois le modèle souterrain n'alimente pas le modèle superficiel.</p> <p>Le modèle superficiel contient un paramètre « débit de base » représentant un apport théorique des nappes mais celui-ci ne provient pas des résultats du modèle souterrain.</p> <p>La diminution des niveaux de nappes sous l'effet du changement climatique ou d'une forte augmentation des prélèvements n'apparaît pas dans le modèle superficiel. <b>Il s'agit d'une limite de nos modélisations.</b> Il n'existe pas de solution opérationnelle permettant de modéliser ces échanges complexes dans un système multicouches et sur un bassin versant de cette ampleur et avec des données limitées.</p> <div data-bbox="1104 1552 1990 2101"> <p>Paramètres du modèle</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Niveau surface : RFU</li> <li>▪ Niveau sol : (f0,J) ou alp</li> <li>▪ Niveau aquifère : Pnappe ou bet</li> <li>▪ Temps de réponse : Tc, Tres</li> </ul> <p>Qriviere = Qruis + Qres</p> </div>																						
<p>d) DONNEES ETP</p>	<p>Les données d'ETP sont issues de la station Météo France de Beaucouzé</p>																						

Points de calage du modèle

Le modèle est calé et les coefficient de Nash sont calculés au niveau des stations de mesures **en continu**.

- 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.

Néanmoins **l'intégralité des jaugeages et des mesures ponctuelles ont été analysés** pour les deux périodes de calage (2019 et 2021). Ces analyses ont été transmises au SMBAA dans le fichier Excel de calage. Les graphiques suivants ont par exemple été réalisés pour l'UG 10 aux PM Moulin broutard et Palluau :



Notons qu'un modèle numérique n'est jamais calé en tout point du bassin versant et sur la totalité de la chronique. Deux années de référence ont été utilisées [2019 (année sèche) et 2021 (année humide)] permettant un calage vérifié par des coefficients de Nash satisfaisants là où des mesures continues étaient disponibles.

Evaluation critère de Nash

Le critère de Nash-Sutcliffe est fondé sur la somme des carrés des écarts entre les valeurs observées et les valeurs simulées :

- une valeur nulle signifie que le modèle ne donne pas de meilleur résultat qu'un modèle basique donnant à chaque pas de temps un débit constant égal à la moyenne des débits observés ;
- une valeur positive signifie que le modèle donne de meilleurs résultats et qu'il est d'autant meilleur que le critère se rapproche de 1 ;
- une valeur négative est le signe d'une inadaptation du modèle.

**Il n'existe pas d'autre grille d'évaluation du critère de Nash.** Pour un modèle hydraulique, dans un usage courant un Nash à 70 est considéré comme satisfaisant et 80 très satisfaisant. Nous n'avons pas calculé de Nash sur les valeurs de la saison de basses eaux néanmoins, **le modèle étant calé préférentiellement sur les valeurs de basses eaux, sans chercher à caler les pics de crue, le critère de Nash serait logiquement meilleur sur les périodes de basses eaux.**

P35 Remarque sur le paramètre *Bet*

*Bet* est le paramètre représentant le partage du débit restitué par le réservoir de sol entre le débit de ressuyage du sol et la nappe aquifère

Le tableau p.35 présente les ratios pour l'année 2019. Le volume total écoulé variant chaque année, le coefficient *Bet* – issu du calcul tel que présenté dans le tableau - évolue également chaque année.

Ce calcul du bilan pour une année permet une première approche du paramètre *Bet* **avant calage dudit paramètre mais ne correspond pas au paramètre sélectionné in fine, après ajustement de tous les autres paramètres de calage.**

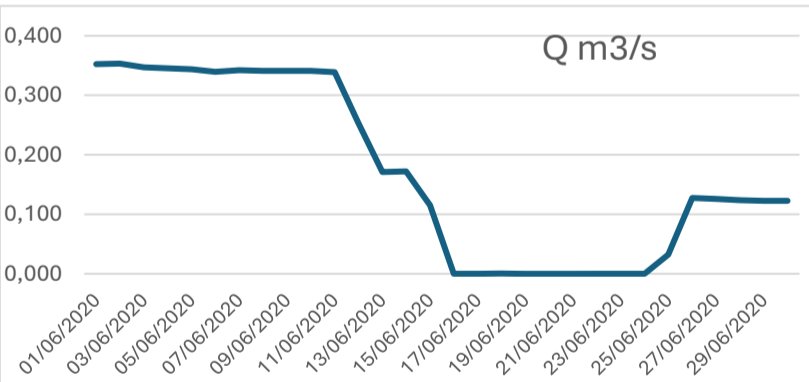
Modification du tableau page 56 :

Correction de l'attribution UG / point de mesure :

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 – lane	Pas de PM continu
UG 4 les aulnaies	Pas de PM continu
UG 5 – Le Couasnon et ses affluents	PM3 - Le Couasnon à Gée
UG 6 – les Aulnaies	Pas de PM continu
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 9	Pas de PM continu
UG 10 – Le Changeon et ses affluents	PM7 – Le Changeon au Moulin Foulon

e) CALAGE DU MODELE SUPERFICIEL

## II. Informations complémentaires relatives aux résultats issus du modèle

<p>a) VALEURS DE DEBIT A L'EXUTOIRE DES UG</p>	<p>P 65 : Valeurs de débits à l'exutoire des UG (Tableau 5) :</p> <p>L'intérêt de la modélisation est de passer de valeurs jaugées ponctuellement ou mesurées au niveau des stations de suivi, à des valeurs de débits continues dans l'espace et le temps. <b>Ce modèle ne peut pas représenter l'intégralité des sources, des affluents et des échanges nappes-rivière qui ne sont pas bien connus. Le modèle résulte d'une simplification de la réalité (valeur du réservoir de sol, échanges nappes rivières, influence des prélèvement et rejets lissés dans le temps, occupation des sols ...) dont les choix techniques sont présentés dans le rapport.</b> Une fois ce modèle établi il est possible d'obtenir des débits en tout point, avec une dose d'incertitude.</p> <p>Le rapport est complété par le fichier PDF : <b>RESULTATS_EXUTOIRE_DESINFLUENCE_realim.pdf</b> Ce document présente les traitement statistiques réalisés à partir des débits moyens mensuels de la chronique des débits modélisés en situation désinfluencée - réalimentée sur la période 2001-2021).</p> <p><b>Ce tableau constitue une référence pour la suite du travail dans la mesure où ce sont les QMN5 – c'est-à-dire les débits d'étiage quinquennaux secs – qui sont utilisés dans la phase 3 pour le calcul des volumes prélevables.</b></p>
<p>b) VALEUR A L'EXUTOIRE DE L'UG 10</p>	<p><u>UG 10 Les valeurs de la station historique de Benais en service entre 1965 et 1983 sont plus élevées que les résultats du modèle.</u></p> <p>Seules les valeurs de 2001 à 2021 ont été retenues pour la modélisation. Les températures moyennes depuis les années 1970 ont augmenté, ainsi que l'ETP. De plus, les années récentes sont marquées par des étés et printemps de déficits pluviométriques. Il n'est pas anormal d'obtenir un QMNA5 plus bas sur les 20 dernières années. Néanmoins, l'aval de l'UG peut également être d'avantage alimentée par des sources.</p> <p><b>Pour la suite de l'étude (Phase 3) nous tiendrons compte de l'hydrologie en partie aval de l'UG qui semble plus favorable qu'en partie amont et médiane.</b></p>
<p>c) VALEUR A L'EXUTOIRE DE L'UG8</p>	<p><u>UG 8 Les valeurs de la station historique du Lathan à Rillé en service entre 1967 et 1978 sont plus élevées que les résultats du modèle</u></p> <p>Les valeurs du module sont cohérentes entre cette station historique et les résultats du modèle. Néanmoins la valeur de QMNA5 issue de cette station ancienne est très élevée par rapport au module mesuré (66% du module). De plus ces valeurs ne sont pas cohérentes avec les jaugeages réalisés ces dernières années qui montrent des débits d'étiage compris entre 3 et 30 l/s.</p> <p><b>La station n'est pas retenue pour l'analyse.</b></p>
<p>d) VALEUR A L'EXUTOIRE de L'UG7 bis</p>	<p><u>UG 7b valeurs jaugées en 2022 plus élevées que les résultats du modèle</u></p> <p>L'écart constaté entre valeurs modélisées (qmn5 de septembre à 1l/s et les débits influencés mesurés (jaugeage minimum réalisé en en 2022 établi à 9l/s) est de quelques litres par secondes. Plusieurs hypothèses peuvent justifier cet écart :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Une sous-estimation des apports souterrain, mais en l'absence de station de mesure en continu et de piézomètre situé à proximité, il n'est pas possible d'avoir une approche plus fine des échanges nappes/ cours d'eau.</li> <li>- Une incertitude du modèle et/ou de la mesure</li> <li>- Le soutien du débit par le rejet de la station d'épuration</li> </ul> <p><b>Cet écart de quelques litres par seconde est non significatif, en particulier au regard de la plage de débits biologiques de 22 à 60 l/s, bien au-dessus de ces très faibles débits.</b></p>
<p>e) DEBIT EXUTOIRE DE L'UG 3 - REALIMENTATION PAR LA STATION DE ST PATRICE</p>	<p>P65 : Débit exutoire de l'UG 3</p> <p><b>Le débit à l'exutoire de l'UG 3 ne doit pas être comparé aux autorisations administratives de prélèvement de la station de Saint Patrice mais au débit réellement prélevé à cette station.</b></p> <p>Nous avons intégré dans le modèle <b>les valeurs réelles de réalimentation, et non les autorisations administratives. Les valeurs ont été obtenues auprès du SYDEVA.</b></p> <p>La capacité de pompage de St patrice est de 1m3/s mais la valeur moyenne pour la période de réalimentation est de 0.32 m3/s (max de la chronique le 29/04/2021 : 0.921 m3/s).</p> <p>Exemple de la chronique du mois de juin 2020 (ci-contre) :</p> 
<p>f) CHANGEMENT CLIMATIQUE :</p>	<p><u>Changement climatique transposé sur une année de référence :</u></p> <p>La modélisation hydraulique de toute la période avec intégration du changement climatique est une démarche longue et non prévue dans le marché.</p> <p>Par ailleurs le guide technique HMUC précise que les Volumes prélevables sont calculés en climat actuel, avec un chapitre changement climatique donnant à voir les tendances climatiques et leurs effets sur les débits.</p> <p>Par ailleurs, l'analyse de la base DRIAS eau les futurs de l'eau (étude Explore 2) fournit des résultats comparables aux valeurs présentées pour l'année de référence.</p> <p>Par ailleurs les débits de Loire devraient en effet largement diminuer sous l'effet du changement climatique. La réalimentation pourrait en être affectée, mais ce n'est pas l'objet de la commande. Par ailleurs, il existe une étude de dépendance à la Loire en cours sur le Département 49.</p> <p>Rappel des scenarios et horizon temporels : Moyenne des scenario 4.5 et 8.5 à l'horizon moyen (2050-2070).</p>



N\_UG (Plusieurs éléments)

Étiquettes de lignes	Somme de 2021	Somme de 2020	Somme de 2019	Somme de 2018	Somme de 2017	Somme de 2016	Somme de 2015
Cours d'eau	7 020 006	10 722 974	11 258 692	5 630 141	8 818 601	11 547 044	11 221 079
Cours d'eau							1 303
Nappe alluviale	1 971 368	3 077 032	3 107 837	2 208 210	2 459 402	3 289 988	3 431 199
Nappe souterraine	2 279 725	2 405 607	2 415 266	2 326 897	2 225 448	2 221 283	1 980 575
Nappe souterraine							4 981
Retenue - ESOU	19 366	35 793	36 131	28 712	22 339	24 995	50 091
Retenue - ESU	78 642	89 232	185 355	77 143	111 497	99 224	233 620
<b>Total général</b>	<b>11 369 107</b>	<b>16 330 638</b>	<b>17 003 281</b>	<b>10 271 103</b>	<b>13 637 287</b>	<b>17 182 534</b>	<b>16 922 848</b>

N\_UG UG2

Étiquettes de lignes	Somme de 2021	Somme de 2020	Somme de 2019	Somme de 2018	Somme de 2017	Somme de 2016	Somme de 2015
Cours d'eau	1 195 731	1 669 811	1 750 643	1 329 772	1 782 999	1 892 489	1 961 219
Cours d'eau							54 970
Nappe alluviale	654 309	810 661	880 450	752 446	885 050	897 495	897 500
Nappe souterraine	59 480	76 678	71 640	52 222	69 577	65 313	74 047
Retenue - ESOU	137 943	103 469	111 919	93 702	116 118	123 617	66 715
Retenue - ESU	67 768	110 285	103 693	71 396	65 738	64 521	93 962
<b>Total général</b>	<b>2 115 231</b>	<b>2 770 904</b>	<b>2 918 345</b>	<b>2 299 538</b>	<b>2 919 482</b>	<b>3 043 435</b>	<b>3 148 413</b>

N\_UG UG3

Étiquettes de lignes	Somme de 2021	Somme de 2020	Somme de 2019	Somme de 2018	Somme de 2017	Somme de 2016	Somme de 2015
Cours d'eau	67 601	139 965	126 799	157 195	100 942	187 246	159 929
Cours d'eau							
Nappe alluviale	182 212	186 396	199 739	179 308	164 849	155 052	188 873
Nappe souterraine	866 434	813 720	758 340	753 324	743 381	716 477	689 717
Nappe souterraine							
Retenue - ESOU		15 868	16 409	10 961	4 937	10 487	
<b>Total général</b>	<b>1 116 247</b>	<b>1 155 949</b>	<b>1 101 287</b>	<b>1 100 788</b>	<b>1 014 109</b>	<b>1 069 262</b>	<b>1 038 519</b>

N\_UG UG4

Étiquettes de lignes	Somme de 2021	Somme de 2020	Somme de 2019	Somme de 2018	Somme de 2017	Somme de 2016	Somme de 2015
Cours d'eau							76 100
Nappe alluviale	16 401	7 868	7 878	10 544	8 866	10 209	13 856
Nappe souterraine	512 030	692 067	838 086	671 712	710 316	1 133 367	782 725
Retenue - ESOU	91 097	124 812	155 401	49 443	105 294	87 068	180 867
Retenue - ESU							
<b>Total général</b>	<b>619 528</b>	<b>824 747</b>	<b>1 001 365</b>	<b>731 699</b>	<b>824 476</b>	<b>1 230 644</b>	<b>1 053 548</b>

N\_UG UG5

Étiquettes de lignes	Somme de 2021	Somme de 2020	Somme de 2019	Somme de 2018	Somme de 2017	Somme de 2016	Somme de 2015
Cours d'eau	102 611	238 290	218 370	155 323	144 357	156 650	193 380
Cours d'eau							
Nappe alluviale	94 442	148 418	118 828	118 000	134 960	124 875	186 733
Nappe souterraine	3 658 437	4 758 934	5 109 680	4 520 251	4 305 583	4 621 093	4 671 989
Nappe souterraine							
Retenue - ESOU	340 350	680 258	598 087	531 218	519 427	586 382	712 196
Retenue - ESU	137 878	209 464	188 984	204 657	187 746	266 005	252 958
<b>Total général</b>	<b>4 333 718</b>	<b>6 035 364</b>	<b>6 233 949</b>	<b>5 529 449</b>	<b>5 292 073</b>	<b>5 755 005</b>	<b>6 017 256</b>

N\_UG UG6

Étiquettes de lignes	Somme de 2021	Somme de 2020	Somme de 2019	Somme de 2018	Somme de 2017	Somme de 2016	Somme de 2015
Cours d'eau	1 417 600	1 755 724	2 040 162	1 746 850	2 029 127	2 131 025	1 958 828
Cours d'eau							
Nappe alluviale	329 314	423 901	434 170	355 769	364 574	411 942	469 083
Nappe souterraine	1 579 560	2 171 810	2 335 536	2 137 276	2 155 208	2 315 098	2 244 644
Nappe souterraine							1 344
Retenue - ESOU	191 791	314 285	269 036	289 028	251 078	269 362	182 278
Retenue - ESU	42 997	26 841	43 420	43 075	49 758	44 935	54 729
<b>Total général</b>	<b>3 561 262</b>	<b>4 692 561</b>	<b>5 122 324</b>	<b>4 571 998</b>	<b>4 849 745</b>	<b>5 172 362</b>	<b>4 910 906</b>

N\_UG UG7

Étiquettes de lignes	Somme de 2021	Somme de 2020	Somme de 2019	Somme de 2018	Somme de 2017	Somme de 2016	Somme de 2015
Cours d'eau	64 440	192 229	208 716	271 736	243 768	236 827	219 665
Cours d'eau							
Nappe alluviale	25 320	3 283	7 951	9 871	8 118	8 539	7 306
Nappe souterraine	827 062	1 459 572	1 573 368	1 376 115	1 385 364	1 349 138	1 500 063
Nappe souterraine							53 102
Retenue - ESOU	193 102	311 353	213 213	242 258	259 423	243 548	266 605
Retenue - ESU	96 005	135 142	188 994	142 347	142 867	130 690	117 432
<b>Total général</b>	<b>1 205 929</b>	<b>2 101 579</b>	<b>2 192 242</b>	<b>2 042 327</b>	<b>2 039 540</b>	<b>1 968 742</b>	<b>2 164 173</b>

N\_UG UG8

Étiquettes de lignes	Somme de 2021	Somme de 2020	Somme de 2019	Somme de 2018	Somme de 2017	Somme de 2016	Somme de 2015
Cours d'eau							
Cours d'eau							
Nappe alluviale	15 990	42 060		38 010		50 290	44 000
Nappe souterraine	214 918	443 709	422 125	328 127	322 426	285 853	331 513
Retenue - ESOU	37 573	29 344		1 510	6 138	17 453	31 632
Retenue - ESU							
<b>Total général</b>	<b>268 481</b>	<b>515 113</b>	<b>422 125</b>	<b>367 647</b>	<b>328 564</b>	<b>353 596</b>	<b>407 145</b>

N\_UG UG9

Étiquettes de lignes	Somme de 2021	Somme de 2020	Somme de 2019	Somme de 2018	Somme de 2017	Somme de 2016	Somme de 2015
Cours d'eau	8 106	7 682	3 861	6 789	3 339	3 597	9 917
Cours d'eau							
Nappe alluviale	998 481	766 754	965 284	821 908	938 431	933 523	1 175 513
Nappe souterraine	1 314 911	1 359 640	1 536 053	1 544 694	1 292 566	1 372 290	1 543 024
Nappe souterraine							
Retenue - ESOU	315 911	328 496	419 165	369 607	329 979	252 732	304 092
Retenue - ESU	122 626	139 040	161 513	212 866	136 107	121 561	127 560
<b>Total général</b>	<b>2 760 035</b>	<b>2 601 612</b>	<b>3 085 876</b>	<b>2 955 864</b>	<b>2 700 422</b>	<b>2 683 703</b>	<b>3 160 106</b>

N\_UG UG10

Étiquettes de lignes	Somme de 2021	Somme de 2020	Somme de 2019	Somme de 2018	Somme de 2017	Somme de 2016	Somme de 2015
Cours d'eau	7 795	34 270	45 862	27 271	23 944	34 643	33 810
Cours d'eau							
Nappe alluviale	686	1 539	7 192	3 385	4 742	7 076	5 596
Nappe souterraine	212 335	288 347	206 598	205 912	168 331	404 170	264 912
Nappe souterraine							
Retenue - ESOU							
<b>Total général</b>	<b>220 816</b>	<b>324 156</b>	<b>259 652</b>	<b>236 568</b>	<b>197 017</b>	<b>445 889</b>	<b>304 318</b>

**Débits moyens mensuels (traitement statistique à partir de la chronique des débits modélisés en situation désinfluencée - réalimentée sur la période 2001-2021) - en litres par seconde**

		<b>en l/s</b>	décembre	janvier	février	mars	avril	mai	juin	juillet	août	septembre	octobre	novembre
UG1	QMM5 humide		9325	11347	10275	9982	6465	5280	3812	3322	2596	2549	3604	6526
UG1	QMM2 (= débit médian)		6571	8953	8565	7040	4220	3260	2620	2267	2303	1554	2018	4243
UG1	QMM5 sec		4292	5486	4676	4705	3097	2449	1843	1969	2062	1128	1222	2944
UG1	QMM10 sec		3884	5001	4603	3962	2599	1881	1511	1801	1912	1002	1029	2453
UG1	QMM20 sec (= minimum chronique)		1940	1624	3894	2425	2045	1438	856	1638	1595	954	501	1170
UG2	QMM5 humide		3013	4012	3411	3214	1974	1673	1517	1584	1414	1206	1447	2270
UG2	QMM2 (= débit médian)		2322	2956	2903	2288	1485	1268	1204	1189	1156	1068	869	1320
UG2	QMM5 sec		1429	1697	1687	1626	1000	907	1047	1121	958	792	620	1059
UG2	QMM10 sec		1257	1564	1578	1340	906	821	1001	1071	940	689	576	1005
UG2	QMM20 sec (= minimum chronique)		466	510	1148	869	695	533	616	888	828	615	357	261
UG3	QMM5 humide		2386	2963	2626	2468	1400	1190	844	864	679	561	838	1616
UG3	QMM2 (= débit médian)		1670	2130	2109	1663	1098	799	713	485	420	305	473	992
UG3	QMM5 sec		1065	1285	1294	1186	742	564	427	384	275	200	188	658
UG3	QMM10 sec		995	1141	1165	1017	679	431	403	266	231	191	169	485
UG3	QMM20 sec (= minimum chronique)		402	447	857	664	545	317	202	223	196	148	144	288
UG4	QMM5 humide		516	544	523	409	262	213	133	92	45	64	149	354
UG4	QMM2 (= débit médian)		365	382	406	348	182	100	45	46	21	26	75	220
UG4	QMM5 sec		209	284	274	224	118	68	34	13	6	5	25	132
UG4	QMM10 sec		190	240	229	178	102	44	26	9	5	2	18	92
UG4	QMM20 sec (= minimum chronique)		105	130	153	103	67	24	9	3	3	1	6	46
UG5	QMM5 humide		1433	1658	1652	1450	954	775	649	447	260	249	515	946
UG5	QMM2 (= débit médian)		1052	1278	1007	876	551	495	238	169	156	147	263	655
UG5	QMM5 sec		700	932	680	592	431	314	193	134	112	105	139	386
UG5	QMM10 sec		590	444	671	565	336	247	157	127	110	103	112	294
UG5	QMM20 sec (= minimum chronique)		348	184	356	389	185	188	133	110	103	101	101	202
UG6	QMM5 humide		1781	2409	2359	2395	1573	1181	882	823	807	568	843	1307
UG6	QMM2 (= débit médian)		1439	1711	1841	1755	1052	612	542	644	700	463	461	812
UG6	QMM5 sec		915	1017	1073	943	662	430	407	554	460	336	278	579
UG6	QMM10 sec		785	951	915	760	511	348	343	410	360	274	180	375
UG6	QMM20 sec (= minimum chronique)		325	406	694	473	385	218	268	312	286	189	118	244
UG7	QMM5 humide		1268	1723	1768	1882	1227	939	667	737	717	541	628	937
UG7	QMM2 (= débit médian)		1005	1167	1320	1350	844	474	439	596	623	429	408	611
UG7	QMM5 sec		648	765	774	662	477	361	372	495	451	306	193	413
UG7	QMM10 sec		585	669	667	536	362	245	284	388	352	270	164	268
UG7	QMM20 sec (= minimum chronique)		248	302	494	323	278	179	255	307	264	186	115	190
UG7b	QMM5 humide		182	248	211	190	121	89	76	52	31	26	73	135
UG7b	QMM2 (= débit médian)		152	188	177	137	72	52	27	19	12	10	32	78
UG7b	QMM5 sec		84	105	100	96	58	34	15	8	3	2	4	53
UG7b	QMM10 sec		82	90	91	79	39	24	15	6	2	1	2	38
UG7b	QMM20 sec (= minimum chronique)		27	35	72	51	36	14	5	2	1	1	1	18
UG8	QMM5 humide		636	682	622	360	319	226	92	46	33	101	290	534
UG8	QMM2 (= débit médian)		501	499	407	316	201	85	26	15	9	38	212	355
UG8	QMM5 sec		328	310	271	141	103	38	15	6	3	3	81	223
UG8	QMM10 sec		207	269	235	103	68	22	11	5	2	2	37	182
UG8	QMM20 sec (= minimum chronique)		33	136	112	57	23	8	6	3	1	0	14	31
Cumul des trois rus	UG9	QMM5 humide	653	884	771	666	412	301	252	178	110	98	253	480
	UG9	QMM2 (= débit médian)	535	663	623	483	249	175	93	65	43	37	112	282
	UG9	QMM5 sec	303	368	372	346	190	113	53	26	9	8	16	189
	UG9	QMM10 sec	290	314	327	282	143	75	46	19	7	3	9	131
	UG9	QMM20 sec (= minimum chronique)	102	129	257	186	130	48	17	7	4	2	2	66
UG10	QMM5 humide	868	989	924	887	536	457	334	231	155	162	328	600	
UG10	QMM2 (= débit médian)	634	786	767	629	446	324	202	117	118	97	182	391	
UG10	QMM5 sec	414	516	507	455	290	221	132	104	85	79	85	272	
UG10	QMM10 sec	395	444	453	402	238	167	118	94	82	74	80	193	
UG10	QMM20 sec (= minimum chronique)	168	188	339	260	191	120	88	91	78	73	72	125	