

Rapport de stage

Pour le diplôme d'ingénieur de l'Ecole des Ingénieurs de la Ville de Paris

Année 2025-2026

Modélisation et analyse hydraulique d'un réseau d'eau potable

Cléo DENAMBRIDE

Promotion 65

Stage du 01/26 au 07/26

Sous la direction de :

DANEL Yoann, Maître de stage

DUPIN Romain, Tuteur EIVP

Notice bibliographique

AUTEUR du mémoire			
NOM		DENAMBRIDE	
Prénom		Cléo	
ORGANISME de stage			
NOM organisme		ARTELIA	
NOM, Prénom du maître de stage		DANEL Yoann	
NOM, Prénom du tuteur EIVP		DUPIN Romain	
ANALYSE			
TITRE du mémoire		Modélisation et analyse hydraulique d'un réseau d'eau potable	
TITLE		Hydraulic modeling and analysis of a drinking water network	
RÉSUMÉ (15 à 20 lignes)		Le changement climatique accentue la pression sur les ressources en eau. En France, une part importante d'eau potable est perdue en raison de fuites dans le réseau de distribution. Il est important de prévenir ces fuites. C'est dans ce contexte que sont élaborés les schémas directeurs en eau potable. Lors de leur élaboration, le réseau est modélisé puis est calé afin de refléter le plus fidèlement possible son comportement réel. Cette étape soulève de nombreux défis. Le modèle doit être fidèle au fonctionnement réel du réseau. Cependant, si les caractéristiques du réseau sont mal connues ou incomplètes, le calage peut s'avérer plus difficile que prévu. Il est alors nécessaire de formuler plusieurs hypothèses, en veillant à ce qu'elles soient réalistes et cohérentes avec la réalité du terrain. Une fois le modèle calé, les dysfonctionnements sont identifiés. Puis des solutions sont proposées pour y remédier. La pertinence de ces solutions est vérifiée sur le long terme avec une analyse de l'évolution des besoins futurs.	
ABSTRACT		Climate change is exacerbating pressure on water resources. In France, a significant proportion of drinking water is lost due to leaks in the distribution network. It's important to prevent these losses. It's in that context that Water Master Plans are developed. During their development, the network is modeled and then calibrated to represent the actual behavior of the network as closely as possible. During this step, numerous obstacles arise. The model must accurately reflect how the network operates. However, if the network's characteristics are misunderstood or incomplete, the calibration process can become more difficult than anticipated. It is then necessary to formulate several hypotheses, ensuring that they are realistic and consistent with the field observations. Once the model is calibrated, malfunctions are identified. Then, solutions are proposed to address those malfunctions. The effectiveness of these solutions is evaluated in the long term with an analysis of the evolution of future water demand.	
Mots-clés du thésaurus Archirès		Réseaux, Modélisation, Données, Eau potable, Réservoir, Pression, Débit	
Keyword (anglais, 8 maxi)		thesaurus	Network, Modeling, Data, Drinking water, Tank, Pressure, Flow
Références			
	Nb de pages du mémoire	Annexes (nombre de p.)	Bibliogr. : nb de références
	47	7	6

Remerciements

Je remercie premièrement mon maître de stage DANIEL Yoann, qui m'a permis de réaliser ce stage en m'accueillant chez d'Artelia Melun.

Je souhaite remercier particulièrement DIONE Ndeye Siga, ingénieure en hydraulique urbaine, qui m'a épaulé, encadrée et suivi au cours de ce stage. Elle m'a guidée et a répondu à mes questions dans la bienveillance. Ses conseils et sa disponibilité ont été des facteurs clés dans le bon déroulement de ce stage. Elle m'a permis de m'impliquer pleinement dans le projet qui m'a été confiés, tout en me permettant de développer mes compétences dans un cadre structuré et bienveillant

Je souhaite ensuite remercier l'ensemble de l'équipe de Melun pour leur accueil chaleureuse et leurs aides précieuses. Ils ont contribué à rendre ce stage à la fois formateur et agréable.

Enfin je remercie mon tuteur de stage DUPIN Romain pour m'avoir accompagnée pendant mon stage, et m'avoir aidé en m'aidant à structurer ce rapport et en répondant à mes questions.

Sommaire

Remerciements.....	1
Liste des abréviations.....	5
Introduction.....	6
Contexte du stage.....	7
1. Présentation d'Artelia.....	7
2. Stage chez Artelia Melun.....	8
2.1. Organisation de l'antenne de Melun.....	8
2.2. Mission et objectifs.....	8
2.3. Intérêts pour la mission.....	8
3. Présentation du projet.....	8
3.1. Les schémas directeurs.....	8
3.2. La CCPC.....	9
3.3. L'UD de Champlat et Boujacourt.....	11
3.4. La campagne de mesure.....	12
3.5. La modélisation.....	13
La construction du modèle.....	14
1. Traitement des données.....	14
2. Jour de calage.....	15
3. Construction du modèle.....	16
4. Calage du modèle.....	17
4.1. Les débits.....	18
4.2. Les pressions.....	20
4.3. Les marnages.....	23
4.4. Problématiques rencontrées.....	24
Analyse du modèle.....	26

1. Jour moyen.....	26
1.1. Les pressions maximales.....	26
1.2. Les temps de séjour.....	27
1.3. La défense incendie.....	28
2. Jour de pointe.....	31
2.1. Les pressions minimales.....	31
2.2. Les vitesses.....	32
2.3. Les marnages.....	33
3. Les besoins futurs.....	34
4. Problème.....	36
Conclusion.....	38
1. Bilan personnel.....	38
2. Les limites.....	38
Bibliographie/Webographie-Sitographie.....	40

Annexes

Annexe 1 : Les communes de la CCPC.....	41
Annexe 2 : Réseau et points de mesure de l'UD de Champlat et Boujacourt.....	42
Annexe 3 : Courbe de calage des débits, vendange (Champlat et Boujacourt).....	43
Annexe 4 : Courbe de calage des débits hors vendange (Champlat et Boujacourt).....	44
Annexe 5 : Courbes de calage des mesures de pression, vendanges (Champlat-et-Boujacourt)	45
Annexe 6 : Courbes de calage des mesures de pression, hors vendange (Champlat-et-Boujacourt).....	45
Annexe 7 : Courbes de calage des marnages, vendanges (Champlat-et-Boujacourt).....	46
Annexe 8 : Courbes de calage des marnages, hors vendange (Champlat-et-Boujacourt).....	46
Annexe 9 : Résultat des test incendie, UD Champlat et Boujacourt.....	47

Liste des illustrations

Figure 1 : Organigramme de la division Eau et Aménagement des Territoires.....	7
Figure 2 : Localisation de la CCPC par rapport à Reims et Paris.....	10
Figure 3 : Les unités de distributions de la CCPC.....	11
Figure 4 : Territoire d'étude (en jaune).....	11
Figure 5 : Synoptique de l'UD Champlat-et-Boujacourt.....	12
Figure 6 : Exemple de démarcation entre vendange et hors vendange sur l'UD de Champlat	15
Figure 7 : Exemple d'événement exceptionnel sur la pression sur l'UD de Champlat et Boujacourt.....	15
Figure 8 : Modèle de l'UD de Champlat et Boujacourt sur EPANET.....	18
Figure 9 : Courbe de calage du débit hors vendange du compteur C2_CBR.....	19
Figure 12 : Courbes de calage des pressions hors vendange pour les poteaux PI2_LNL et PI4_CBR.....	20
Figure 13: Pression PI2 pour un radier à 262,62 m de hauteur.....	21
Figure 14 : Pression PI2 pour un radier à 261,62 m de hauteur.....	21
Figure 15 : Pression PI2_BSC avant modification des caractéristiques de pompe.....	22
Figure 16 : Pression PI2_BSC après modification des caractéristiques de pompe.....	22
Figure 17 : Courbes de calage des niveaux d'eau hors vendange (Champlat-et-Boujacourt).....	23
Figure 18 : Marnage du réservoir RSE_BSC pour un diamètre de 5,42 m.....	24
Figure 19 : Marnage du réservoir RSE_BSC pour un diamètre de 6,33 m.....	24
Figure 20 : Marnage du réservoir non calé de l'UD Saint-Martin d'Ablais.....	25
Figure 21: Pression maximale sur l'UD de Champlat et Boujacourt.....	27
Figure 22: Temps de séjour sur l'UD de Champlat et Boujacourt.....	28
Figure 23 : Résultat de la défense incendie sur le secteur CB01.....	29
Figure 24 : Résultat de la défense incendie sur le secteur PI2_LNL.....	30
Figure 25 : Résultat de la défense incendie sur le secteur PI2_BSC.....	30

Figure 26 : Pression minimale sur l'UD de Champlat et Boujacourt.....	32
Figure 27 : Vitesse maximale sur l'UD de Champlat et Boujacourt.....	33
Figure 28 : Marnages des réservoirs de l'UD de Champlat et Boujacourt.....	33
Figure 29 : Marnage du réservoir de Port-à-Binson sur l'UD de Mareuil-le-Port.....	37

Liste des tableaux

Tableau 1 : Volume mis en distribution lors de la campagne de mesure (période des vendanges), UD Champlat-et-Boujacourt.....	16
Tableau 2 : Coefficients jour moyen et jour de pointe (Champlat et Boujacourt).....	26
Tableau 3: Défense incendie : débits disponibles sous 1 bar (Champlat-et-Boujacourt).....	29
Tableau 3: Evolution de la démographie sur l'UD de Champlat-et-Boujacourt.....	35
Tableau 4 : Hypothèses de rendement.....	35
Tableau 5 : Rendements estimés des communes de l'UD de Champlat-et-Boujacourt.....	35
Tableau 6 : Evolution des volumes distribués de la commune de Champlat-et-Boujacourt.....	36

Liste des abréviations

CCTP : Cahier des Clauses Techniques Particulières

MOA : Maitrise d’ouvrage

ODD : Objectifs de Développement Durable

PGSSE : Plan de Gestion de la Sécurité Sanitaire de l’Eau

PLU : Plan Local d’Urbanisme

RSE : Réservoir Semi-Enterré

RST : Réservoir Sur Tour

SCOTER : Schéma de Cohérence Territorial d’Epernay et Région

SIG : Système d’Information Géographique

UD : Unité de Distribution

Introduction

L'accès à une eau propre et potable constitue un besoin humain fondamental. Pourtant, sous l'effet du changement climatique, l'accès aux ressources en eau potable devient de plus en plus complexe. En France, entre 1990 et 2022, ces ressources ont diminué de 14 %, soulignant ainsi la nécessité d'actions. (Subra, 2024). Face à cette situation, des mesures d'économie d'eau sont mises en place lors des épisodes de sécheresse. Ce fut notamment le cas lors de la sécheresse de 2026, où des restrictions sur l'usage de l'eau ont été instaurées dans certains départements (VigiEau, 2026). Cela démontre que garantir l'accès à une eau potable propre est de plus en plus compliqué. En 2015, les Nations Unies ont adopté 17 objectifs de développement durable (ODD), qui définissent des objectifs et des réponses pour répondre aux défis auxquels le monde est confronté. L'ODD numéro 6 vise précisément à assurer l'accès à l'eau propre et à l'assainissement (ONU, 2024).

En France, les infrastructures d'eau potable sont vieillissantes, le taux de fuite sur les réseaux est de 20 %, voire 50 % dans certaines zones. À cela s'ajoute l'augmentation des polluants dans l'eau et la nécessité de les traiter. Les infrastructures vieillissantes favorisent les pertes et les casses. Pour répondre à l'ODD 6, les communes doivent effectuer un suivi régulier de leurs infrastructures afin de prévenir et d'anticiper les dysfonctionnements (Jublin, 2023).

Lors de mon stage de fin d'études, j'ai pu intégrer Artelia. Cela m'a permis de découvrir en plus grand détail et de me former sur les domaines de l'eau et du génie urbain, en particulier sur les études menées en amont de la conception d'un projet. Le projet sur lequel j'ai travaillé s'inscrit parfaitement dans une démarche de prévention et de conseil pour améliorer les réseaux d'eau potable. Il portait sur la modélisation d'un réseau dans le but de comprendre son fonctionnement et anticiper son comportement dans les années futures.

Pour cela, des données sont collectées sur les communes afin d'étudier l'état de leur réseau. Néanmoins, les problématiques liées à l'eau en France étant devenues des préoccupations récentes, les communes ne se sont pas toujours intéressées à l'état et au fonctionnement de leurs réseaux. Cela se traduit par un manque d'informations et de données disponibles sur les réseaux. Il est donc important d'aider les collectivités à mieux comprendre leurs réseaux, en identifiant les dysfonctionnements et en proposant des améliorations. A partir de ce raisonnement une problématique apparaît:

Comment la construction d'un modèle hydraulique permet-elle d'identifier et de résoudre les problèmes rencontrés sur un réseau d'eau potable ?

Pour y répondre, dans ce rapport, je commencerai par présenter Artelia, ainsi que le contexte et le cadre de mon stage. Ensuite, je présenterai les étapes de construction du modèle puis les analyses qui peuvent en découler. Je conclurai sur un bilan personnel sur l'ensemble de ce stage.

Contexte du stage

1. Présentation d'Artelia

Artelia est un groupe indépendant et multidisciplinaire d'ingénierie, de management de projet et de conseil résultant de l'union de Sogreah et de Coteba en 2010. Artelia intervient principalement sur les domaines de la mobilité, de l'eau, de l'énergie, du bâtiment et de l'industrie. Artelia est implantée dans plus de 40 pays, avec plus de 11 000 collaborateurs dans le monde dont 8 000 en Europe. L'entreprise dispose de 50 agences en France réparties sur l'ensemble du territoire (Artelia Group, 2026).

J'ai effectué mon stage dans le département Eau et Génie Urbain, entité de la Région Ile-de-France Nord, lui-même entité de la Division Eau & Aménagement des Territoires, incluse dans la Business Unit Infrastructures & Territoires Durables. Le siège du département est à Choisy-le-Roi et il possède plusieurs antennes, dont celle de Melun où j'ai effectué mon stage.

Le département est organisé autour de 6 domaines d'activité :

- Infrastructure d'hydraulique urbaine
- Aménagement urbain
- Hydraulique fluviale-restauration milieu aquatique
- BIM et maquette numérique
- Environnement et études amont

Ce domaine regroupe les études et schéma directeur d'eau et d'assainissement, les études réglementaires, les maitrises d'œuvre de travaux de réseaux et d'ouvrages.



Figure 1 : Organigramme de la division Eau et Aménagement des Territoires

2. Stage chez Artelia Melun

2.1. Organisation de l'antenne de Melun

Sur l'antenne de Melun, Une partie des collaborateurs s'occupe des études amont, et une partie s'occupe de la maîtrise d'œuvre. J'étais dans les bureaux avec l'équipe étude amont.

Lors de mon stage, j'ai principalement travaillé sur un unique projet avec une ingénieure, Ndeye Siga DIONE, elle me supervisait et me conseillait dans la réalisation de mes tâches, elle m'indiquait la démarche à suivre. Je suis tout de même intervenue brièvement sur d'autre projet de façon ponctuelle. Encore une fois, j'étais encadré.

2.2. Mission et objectifs

Durant mon stage, j'ai principalement travaillé sur le schéma directeur d'eau potable d'une communauté de communes dans le département de la Marne (51). J'avais pour objectifs de construire le modèle puis de le caler à partir des données récoltées lors de la campagne de mesure et des données sur les ouvrages. Ensuite, j'ai utilisé ce modèle pour déterminer les faiblesses actuelles et futures du réseau. Les résultats obtenus ont permis ensuite de proposer des améliorations et établir un plan d'actions pour consolider le réseau.

2.3. Intérêts pour la mission

Ce stage m'a permis de découvrir plus profondément le milieu de l'hydraulique urbaine, et plus précisément la modélisation. Cette discipline avait été abordée au cours de mon cursus scolaire et m'avait fortement intéressé, sans pour autant que je souhaite poursuivre mes études pour me spécialiser dans ce domaine. Ce stage m'a donc offert l'occasion d'en apprendre davantage sur un des sujets qui m'a le plus intéressé au cours de ma scolarité.

3. Présentation du projet

3.1. Les schémas directeurs

Avec la raréfaction des ressources en eau une bonne gestion de l'eau est primordiale, cela implique plusieurs aspects comme des questions sur la répartition des ressources ainsi que sur la sobriété. Cependant un point fait consensus, l'amélioration des réseaux d'eau actuels. En effet, chaque année plus d'un milliard de m³ d'eau sont perdus à la suite de fuite. Le réseau d'eau potable est vieillissant. En moyenne seulement 0,6 % du réseau est renouvelé chaque année. Il faudrait donc plus de 150 ans pour renouveler l'ensemble du réseau (Sispea, 2026).

Or, la durée de vie des canalisations est comprise entre 50 et 100 ans. Les canalisations se dégradent progressivement, entraînant des fuites difficiles à remarquer. Cependant, le simple fait de changer les canalisations à la fin de leur durée de vie estimée n'est pas une solution viable (Barbier, Renaud, 2024).

Premièrement, de nombreuses communes n'ont pas connaissance du type de canalisation à tout point de leur réseau, ni de leur année de pose, il est compliqué d'estimer une durée de vie pour des canalisations où l'ensemble des données est inconnu.

Deuxièmement, ce n'est pas parce que la canalisation a atteint sa durée de vie estimée qu'elle n'est plus fonctionnelle, et vice-versa (Barbier, Renaud, 2024). Il faudrait donc réaliser un suivi régulier de l'état du réseau afin de détecter les fuites, et aussi améliorer progressivement l'ensemble du réseau pour éviter de futures pertes.

C'est dans ce contexte que les schémas directeurs sont réalisés. Le schéma directeur est un outil utilisé pour améliorer la gestion de l'eau dans un contexte de tension sur cette dernière. C'est ce cadre réglementaire qui impose ainsi aux collectivités la réalisation d'un schéma directeur tous les 10 ans.

Le schéma directeur a pour but de protéger la ressource en eau, tout en proposant des aménagements du territoire (Préfète de l'Hérault, 2015).

Il est destiné aux communes et est réalisé par un bureau d'étude.

Un schéma directeur en eau potable permet aux communes d'obtenir :

- Un état des lieux de leurs infrastructures et de leur service d'alimentation en eau potable
- Une identification des points faibles de son réseau (réglementaire, technique, qualitatif...)
- Une estimation de ses besoins futurs, ainsi qu'un bilan besoin ressource
- Un programme de travaux répondant au besoin et aux moyens de la commune
- Un modèle économique de recommandation pour la mise en place d'un budget.

À l'issue du schéma, les communes obtiennent un carnet de recommandation sur les améliorations à apporter à leur réseau, ainsi qu'un guide pour réaliser ces recommandations (Préfète de l'Hérault, 2015).

Le schéma directeur sur lequel j'ai travaillé se découpe en 5 phases :

- La phase 1 correspond à l'acquisition et à l'analyse de données, à l'état des lieux des équipements et ouvrages.
- La phase 2 permet la modélisation du réseau actuel. Le modèle doit représenter les transferts d'eau dans le réseau, la distribution, les incidents et points faibles identifiés par la collectivité.
- La phase 3 est une analyse poussée des infrastructures à partir du modèle.
- La phase 4 établit un programme de travaux, et clôture le schéma directeur.
- La phase 5 développe de Plan de Gestion de la Sécurité Sanitaire de l'Eau (PGSSE), elle est menée en parallèle des autres phases .

Le phasage des schémas directeurs peut changer d'une collectivité à une autre

3.2. La Communauté de commune Paysage de Champagne

La communauté de communes sur laquelle porte le schéma directeur est la communauté de communes des Paysages de Champagne (CCPC). La CCPC est une collectivité de 51 communes située dans la Marne, au cœur de la Champagne. Elle a été créée en 2017 à la suite

de la fusion de trois territoires : la communauté de communes de Paysage de la Champagne, la communauté de communes de la Brie des Étangs et la commune de Belval-sous-Châtillon qui appartenait à la Communauté de Commune Ardre et Chatillonnais. La CCPC s'étend sur 581 km² (Communauté de Communes des Paysages de la Champagne, 2026). Ses paysages sont ruraux avec des vignes, des champs et des forêts. L'altitude du territoire varie entre 60 et 260 m, avec une altitude moyenne d'environ 190 m.

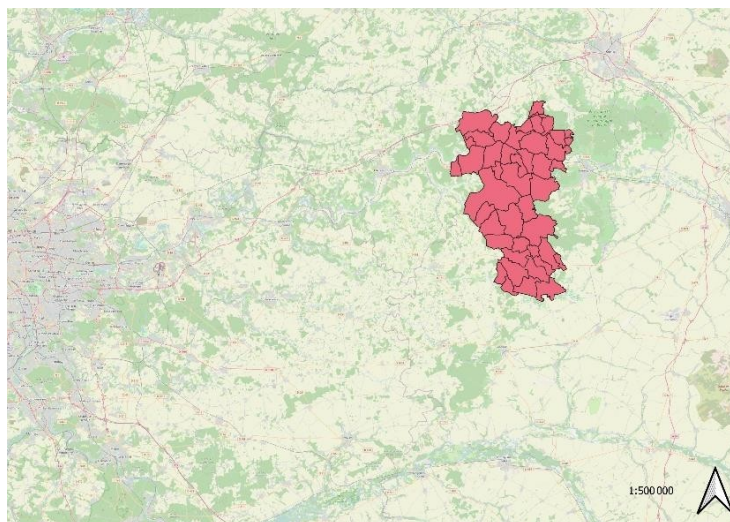


Figure 2 : Localisation de la CCPC par rapport à Reims et Paris

La CCPC comprend 20 954 habitants au 1er janvier 2023. La plupart de ses communes comportent moins de 1 000 habitants. La CCPC est traversée par la Marne, ainsi que de nombreux autres cours d'eau moins importants. SUEZ assure la gestion et l'entretien de l'ensemble du réseau d'eau de la CCPC à travers un contrat de délégation de service public. Cependant les contrats concernent encore les anciennes communautés de communes (CCPC, 2026).

Le territoire peut être divisé en 23 unités de distribution (UD). Une unité de distribution correspond à une partie du réseau sur laquelle la qualité de l'eau est uniforme. Les études du réseau se réalisent donc sur l'ensemble d'une UD.

La CCPC a mandaté un groupement composé d'Artelia (mandataire), Aquamesure et Cartolia pour la réalisation de son schéma directeur en eau potable. Aquamesure réalise la campagne des mesures ainsi que la sectorisation nocturne et Cartolia s'occupe du géoréférencement des réseaux et de la création d'un nouveau SIG.

Les parties 2 et 3 du schéma directeur concernent seulement la partie nord du territoire (anciennement Communauté de communes des Paysages de Champagne et la commune de Belval-sous-Châtillon). La Communauté de Communes de la Brie des Étangs avait déjà réalisé ces études sur son territoire.

Lors de la phase 1, un état des lieux du réseau et des ouvrages de la CCPC a été réalisé. Les caractéristiques des différents ouvrages du réseau ont été relevées afin de mieux comprendre le fonctionnement. Néanmoins, de nombreuses inconnues persistent, notamment au niveau des réservoirs, leur volume, leur diamètre, leur radier et leur trop-plein sont souvent inconnus par la collectivité.

Dans la suite de ce rapport, l'UD de Champlat-et-Boujacourt sera utilisée pour illustrer l'ensemble des exemples.

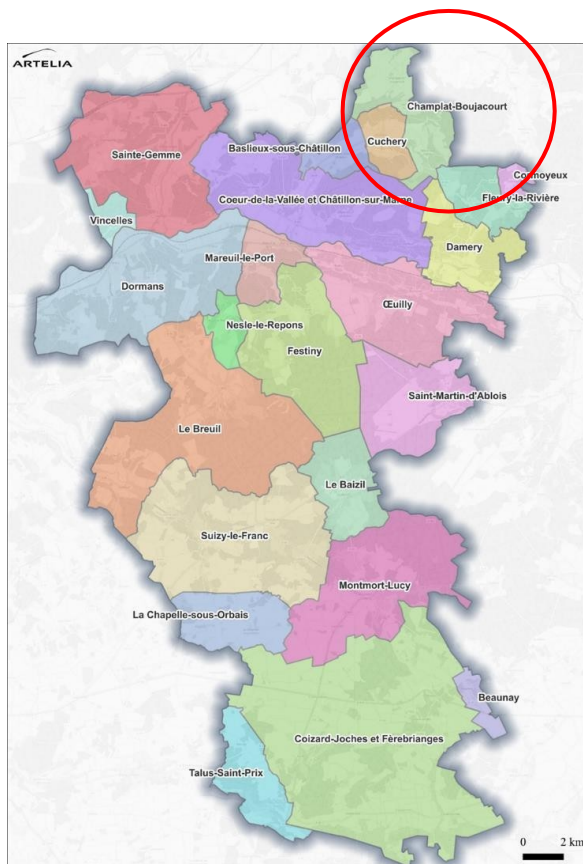


Figure 3 : Les unités de distributions de la CCPC



Figure 4 : Territoire d'étude (en jaune)

3.3.L'UD de Champlat et Boujacourt

L'UD de Champlat-et-Boujacourt est située au nord de la CCPC. Elle regroupe les communes de Champlat-et-Boujacourt, La-Neuville-aux-Larris, Belval-sous-Châtillon et ses hameaux (Paradis, La Poterne, Grand Pré, La Charmoise). D'après les données de l'INSEE en 2022, l'UD compte 510 habitants (INSEE, 2026).

L'UD a été divisée en secteurs. Un secteur correspond à une portion de l'UD dans laquelle il est possible de connaître les volumes d'eau en transit. Les secteurs sont généralement délimités par des débitmètres ou des compteurs et des vannes fermées. Le découpage en secteur permet de faciliter la recherche de fuite, ainsi que l'obtention de profils de consommation plus adaptés.

Le fonctionnement de l'UD est le suivant : la source et le forage de Champlat-et-Boujacourt alimentent la bache en sortie. La bache alimente ensuite le réservoir sur tour de La-Neuville-aux-Larris (RST_LNL). Une première branche du réseau issue du réservoir alimente

gravitairement la commune de Champlat-et-Boujacourt. L'autre branche alimente gravitairement la commune de La-Neuville-aux-Larris. Ensuite, la commune de Belval-sous-Châtillon achète l'eau à la commune de La-Neuville-aux-Larris. Le réservoir de Belval-sous-Châtillon (RSE_BSC) est alimenté par cet achat. L'achat est contrôlé par une vanne motorisée. Le réservoir alimente gravitairement la commune de Belval-sous-Châtillon et le hameau de la Charmoise. Il alimente en réseau surpressé le hameau de la Poterne et du Grand Pré.

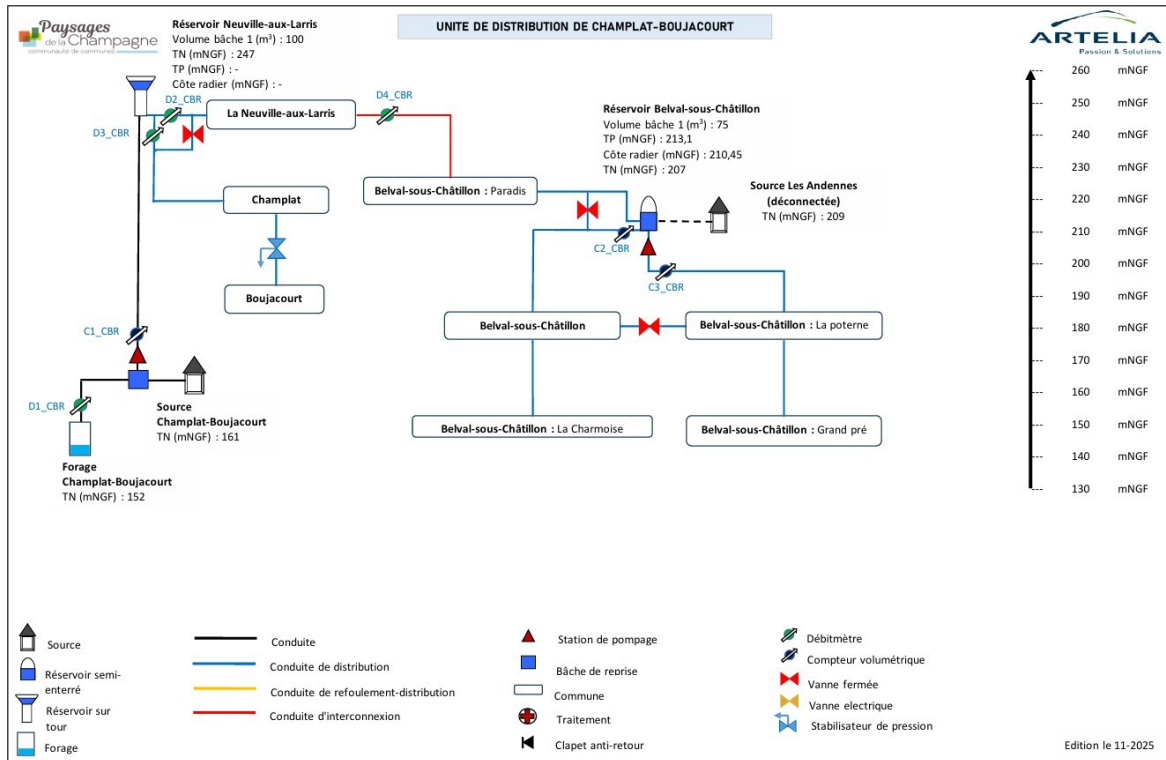


Figure 5 : Synoptique de l'UD Champlat-et-Boujacourt

3.4.La campagne de mesure

La campagne de mesure a eu lieu du 1er septembre au 2 octobre 2025.

Lors de la phase 1 les données recueillies concernent :

- Les points de prélèvement
- Les ouvrages de stockage
- Les ouvrages de reprise
- Les installations de traitement
- Le réseau de distribution
- Les consommations

- Les achats, les ventes et les interconnexions
- L'ensemble des documents graphiques

Les données recueillies lors de la campagne de mesure viennent compléter les données de la phase 1. Les mesures de **débit, de marnage et de pression** ont été recueillies sur l'ensemble des communes de la CCPC concernées par l'étude. Les débits ont été mesurés sur l'ensemble des débitmètres et compteurs de la CCPC avec un pas de temps de 15 minutes. Les mesures de débits et de niveau sont issues de la télégestion de l'exploitant (SUEZ) Les pressions ont été mesurées sur des poteaux incendie ou sur des robinets de particulier par la société Aquamesure, avec un pas de temps de 5 minutes.

3.5. La modélisation

La mission de ce stage porte sur la phase 2 du schéma directeur de la CCPC. L'outil de travail utilisé pour la modélisation est le logiciel EPANET.

EPANET est un logiciel de modélisation des réseaux d'eau développé par l'Agence de protection de l'environnement des États-Unis (U.S Environmental Protection Agency (EPA)) (US EPA, 2026).

L'objectif du stage est d'obtenir un modèle hydraulique sous EPANET capable de représenter les transferts d'eau, la distribution et ses défauts (relevé par la collectivité)

- Grâce au modèle, il sera possible de déterminer :
 - La pression, la vitesse, le débit et le sens d'écoulement en tout point du réseau
 - Les caractéristiques du service incendie
 - La capacité de stockage des ouvrages ainsi que leur évolution dans le temps
 - Les conditions de fonctionnement des ouvrages de pompage
 - Les dimensions et localisations de futurs ouvrages nécessaires pour le bon fonctionnement du réseau

La construction du modèle

1. Traitement des données

Afin de construire le modèle, il est nécessaire de traiter les données brutes afin de les rendre exploitable. Les données sont traitées sous Excel par UD. Lors du traitement, il faut vérifier si les données sont en nombre suffisant, et sont bien au pas de temps de 15 min. Ce pas de temps correspond à l'intervalle de mesure de la majorité des relevés reçus. C'est le pas de temps utilisé par SUEZ en exploitation, c'est donc celui qui est utilisé pour la modélisation. Les données manquantes sont estimées grâce aux valeurs situées avant et après. C'est une hypothèse valable car il est rare que le débit, la pression ou le niveau atteignent des valeurs extrêmes et retrouvent leur état normal en 15 min. Si le pas de temps est inférieur à 15 min, les valeurs relevées toutes les 15 minutes sont conservées. Les données de SUEZ sur les débits et les marnages des réservoirs sont généralement au bon pas de temps. Les données de pression relevées par AQUAMESURE sont au pas de temps de 5 min. Il est donc important de les convertir au pas de temps 15 min. Ensuite, les données sont classées en fonction de leur localisation, du type de mesure et d'autres informations utiles.

Les informations renseignées pour les débits sont : le nom de la mesure, l'adresse, le type d'appareil, la télégestion, le pas de temps et l'exploitant.

Pour le marnage des réservoirs, nous renseignons : le nom de la mesure, l'adresse, le type d'ouvrage (réservoir semi-enterré, sur tour, bêche), la capacité de l'ouvrage, le nombre de cuves de l'ouvrage, le pas de temps et l'exploitant.

Pour les pressions, nous renseignons : le nom de la mesure, l'adresse, le type d'équipement (poteau incendie, robinet), le pas de temps et l'exploitant.

Les données sont ensuite exploitées pour tracer des graphiques. Ces graphiques permettent de visualiser les variations au cours de la période de mesure. Les dates des valeurs anormales sont relevées. Les variations du niveau du réservoir permettent de déterminer la fin de la période de vendange. Les besoins en eau sont plus importants en période de vendange, le réservoir a tendance à marner davantage. Cette différence est visible sur la Figure 6. Le niveau du réservoir atteint des valeurs plus élevées et plus basses en période de vendanges. La période de vendanges sur l'UD de Champlat et Boujacourt se termine le 10/09/2025. Par la suite deux journées de calage distinctes seront retenues, une en période de vendanges, une en période hors vendanges.

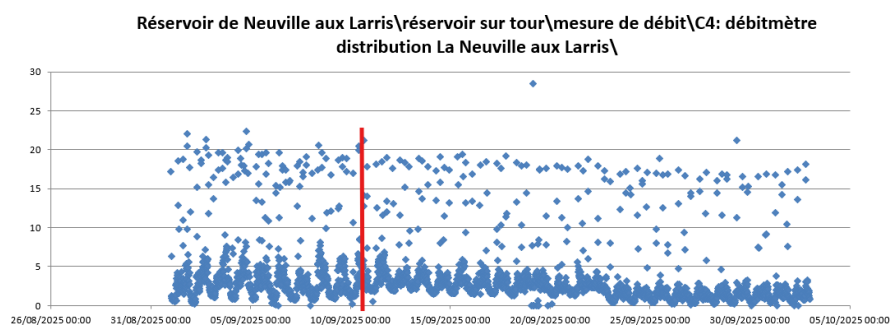


Figure 6 : Exemple de démarcation entre vendange et hors vendange sur l'UD de Champlat

2. Jour de calage

Le jour de calage correspond à une journée typique de la période étudiée. C'est à partir de cette journée que le modèle va être caler. Une journée de calage est, de préférence, un jour de semaine, hors période de vacances scolaires ou d'événement particulier. Ces jours sont retirés car les habitudes de consommation sont modifiées et donc moins représentatives du fonctionnement habituel du réseau, ce qui fausserait le calage du modèle.

Aucun événement exceptionnel ne doit se produire lors de la journée de calage. Par exemple sur la figure 7 des chutes importantes ponctuelles de pression, ainsi que des hausses ponctuelles sont observées. Ces événements peuvent avoir diverses causes, telles que des opérations de maintenance, des travaux sur le réseau, des dysfonctionnements de sonde ou encore un équipement hors service.

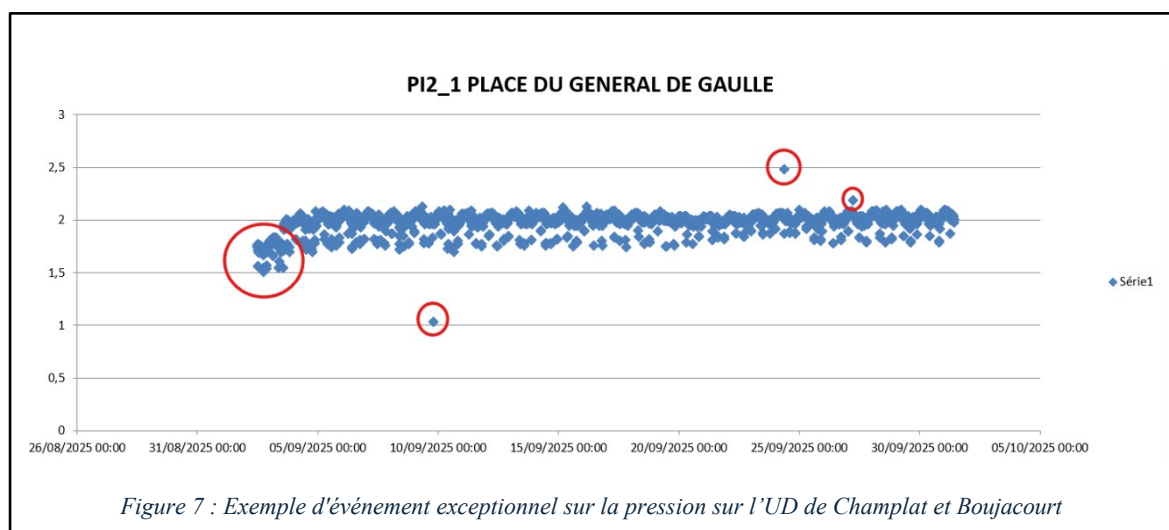


Figure 7 : Exemple d'événement exceptionnel sur la pression sur l'UD de Champlat et Boujacourt

Une fois tous les jours ne correspondant pas aux critères des journées de calage retirés, les jours restants sont départagés. Pour cela, les données de débit journalier par sous-secteur sont comparées sur l'ensemble des jours restants. La journée dont les valeurs de débit sont les plus proches possible des moyennes calculées sur la période étudiée est alors choisie comme journée de calage.

Date		Etat	Total mis en distribution sur l'UDI (m ³ /j)	Ecart VMD jour/VMD moyen journalier
Lundi	01/09/2025	Montage	141,36	0,93
Mardi	02/09/2025	Montage	156,30	1,02
Mercredi	03/09/2025	Montage	166,92	1,09
Jeudi	04/09/2025	Campagne	170,64	1,12
Vendredi	05/09/2025	Campagne	157,54	1,03
Samedi	06/09/2025	Campagne	148,42	0,97
Dimanche	07/09/2025	Campagne	139,67	0,91
Lundi	08/09/2025	Campagne	153,46	1,00
Mardi	09/09/2025	Campagne	141,14	0,92
Mercredi	10/09/2025	Campagne	155,04	1,01
Jeudi	11/09/2025	Campagne	159,72	1,05
Vendredi	12/09/2025	Campagne	149,21	0,98
Minimum			139,67	0,91
Moyenne			152,76	1,00
Maximum			170,64	1,12

Tableau 1 : Volume mis en distribution lors de la campagne de mesure (période des vendanges), UD Champlat-et-Boujacourt

Une journée de calage doit être choisie pour la période des vendanges et pour la période hors vendange. Il y a donc deux jours de calage à déterminer sur la campagne.

Une fois la journée de calage déterminée, des profils de consommation sont formulés pour chaque sous-secteur. Ils représentent le profil de consommation de la journée de calage au fil d'une journée. En période hors vendange, la consommation typique est faible durant la nuit (presque nulle), puis un pic est observé en matinée, un autre entre midi et 14h, puis un dernier en soirée. En effet, la consommation est généralement nulle pendant la nuit dans les zones plutôt rurales, puis elle suit les usages du quotidien (douche, repas, vaisselle). En période de vendange, les consommations typiques sont plus difficiles à cerner, les prélèvements d'eau sont plus fréquents et importants et masquent les tendances de consommations habituellement observées en période hors vendange.

Les journées de calage choisies pour l'UD de Champlat sont le **5 septembre** pour la période des vendanges et le **22 septembre** pour la période hors vendanges.

3. Construction du modèle

La structure du modèle est construite sur la base du SIG fourni par Cartolia. Les données relatives aux ouvrages sont traitées pour être utilisées sous QGISRED, une extension de QGIS. Le modèle est ensuite exporté sur EPANET.

Le modèle EPANET est composé de nœuds (regroupant l'ensemble des jonctions entre les canalisations, des réservoirs, et des sources et forages), et de tronçons (regroupant l'ensemble des canalisations, des pompes et vannes).

Les étapes de modélisation sont les suivantes :

- QGIS :
 - Organisation des données pour être lues sous QGISRED
 - Import sur QGISRED

- QGISRED
 - Ajout des données de rugosité, d'élévation et de consommation
 - Attribution des consommations et des profils de consommation aux nœuds
 - Export sur EPANET
- EPANET
 - Ajout des profils de consommation
 - Ajout des valeurs de la campagne de mesure
 - Ajout des courbes de pompe
 - Ajout des règles de marnage du réservoir

Les profils de consommation sont créés pour chaque sous-secteur. Ils représentent l'évolution des consommations journalières moyennées sur 1h au pas de temps de 15 min. Cependant, la consommation attribuée à chaque nœud est la consommation annuelle issue de la base facturation, divisée par 365. Les profils de consommation sont alors ajustés avec un coefficient de calage qui représente le rapport entre le besoin du secteur issue de la campagne de mesure et le besoin moyen facturé. Cela permet d'avoir un profil de consommation plus représentatif de la réalité.

$$\text{Coefficient de calage} = \frac{\text{Besoins du jour de calage (m}^3/\text{j)}}{\text{Besoins moyens facturés (m}^3/\text{j)}}$$

Les données de diamètre de conduite manquantes sont remplacées sur EPANET. Si aucune canalisation n'a un diamètre de 50 mm, la valeur de **50 mm** est prise par défaut. Cette valeur est choisie car elle est facilement identifiable, et permet d'éviter l'utilisation d'hypothèses de réseau surdimensionné qui pourraient masquer certains problèmes lors de l'analyse. La majorité des données de réservoir sont aussi manquantes. Les cotes radiers sont ajoutés à partir des élévations et les diamètres sont estimés grâce aux volumes (V) et aux valeurs maximales d'eau mesurées (N). La formule utilisée est la suivante, elle est adaptée aux réservoirs cylindriques, ce qui est le cas pour la majorité des réservoirs de la CCPC :

$$\text{Diamètre} = \sqrt{\frac{4V}{\pi(N + 1)}}$$

Pour certains réservoirs, les données de volume n'étant pas non plus disponibles, le diamètre est donc fixé à une valeur de **7 m**. Cette valeur est choisie car elle est dans la moyenne des diamètres de la CCPC. Ces estimations sont les valeurs initiales qui pourront ensuite être modifiées lors du calage du modèle.

4. Calage du modèle :

Le calage du modèle est l'étape la plus longue en raison du nombre important de données et de l'ajustement constant des hypothèses en découlant. C'est donc sur cette étape que le manque de données sur le patrimoine se fait le plus ressentir.

L'objectif est de faire correspondre les données simulées par le modèle aux données du jour de calage mesurées lors de la campagne de mesure afin que le modèle rende compte du fonctionnement usuel du réseau.

Le modèle est calé sur deux jours de calage, en période de vendanges et en période hors vendanges. Seuls certains paramètres peuvent être modifiés entre les deux modèles : les profils de consommation, les hauteurs d'eau initiales dans les réservoirs, l'état initial des pompes et des vannes, et éventuellement les consignes de marnage.

L'UD de Champlat-et-Boujacourt est calée pour les journées du 5 septembre en période de vendange et du 22 septembre en période hors vendange.

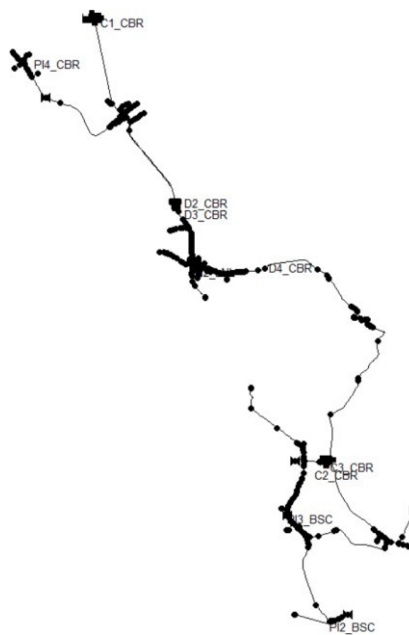


Figure 8 : Modèle de l'UD de Champlat et Boujacourt sur EPANET

4.1. Les débits

Les débits sont calés en priorité, avec le débit le plus éloigné du forage qui est calé en premier (pour l'UD de Champlat, il s'agit des compteurs C2 et C3 (Annexe 2). Ils sont calés en priorités car ils peuvent impacter les pressions. Les débits dépendent les uns des autres, si le débit en bout de réseau n'est pas calé, il n'est pas possible de caler le débit en sortie de réservoir.

La plupart des tendances des courbes de débit sont calées par défaut car les profils de consommation ont été établis à partir des débits mesurés. Ce n'est cependant pas le cas des débits en sortie de pompe. Les caractéristiques réelles des pompes sont souvent inconnues. Elles sont ajustées à partir des courbes de pompe lorsque le modèle de pompe est connu.

Sur l'UD de Champlat, les modèles des pompes du forage et de la reprise de Belval sont connus. Leurs caractéristiques ne le sont cependant pas. Par souci de simplification, l'ensemble source forage et bache sera **simplifié par une source infinie suivi d'une pompe**. Le calage de l'alimentation de la bache est complexe, les valeurs de débit en provenance du forage sont mesurées et non celles de la source. Le volume dans la bache est lui aussi difficile à caler. Cette simplification n'est pas gênante, la modélisation sert surtout à observer le comportement du réseau de distribution.

Le débit ne sera jamais parfaitement calé. En effet, les profils de consommation étant calculés en moyennant les débits mesurés sur une heure, cela empêche les variations ponctuelles d'être représentées. Afin de s'assurer du bon calage, seulement les courbes du débit mesuré et la courbe simulée par EPANET sont comparées. Si les courbes ont les mêmes tendances, le débit est considéré comme calé. **Seulement une inspection visuelle permet alors de s'assurer du calage du débit.**

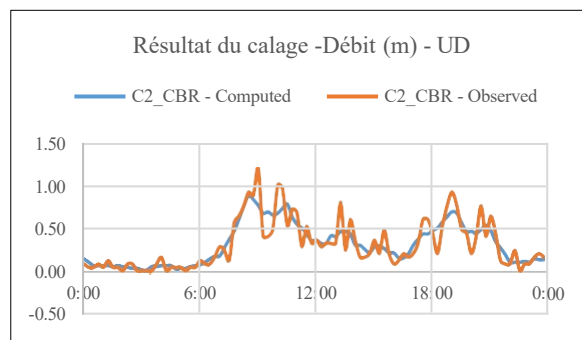


Figure 9 : Courbe de calage du débit hors vendange du compteur C2_CBR

Il arrive parfois qu'un débitmètre soit mal calé car le débit simulé est plus important que le débit observé. C'était le cas pour le débit du débitmètre D4 sur la branche menant au hameau de Paradis. Il est possible que cette différence s'explique par l'encrassement des canalisations. Leur rugosité est donc plus élevée que l'hypothèse initiale. En effet, les rugosités initiales du modèle ne prennent pas en compte les effets du temps sur les canalisations notamment l'encrassement.

Pour caler le débit, les rugosités des canalisations à proximité du débitmètre sont donc augmentées. Il est cependant impossible avec les mesures actuelles de savoir exactement quelles canalisations sont concernées par quelle augmentation de rugosité. Le savoir nécessiterait une campagne de mesure entière dédiée au sujet, ce qui peut engendrer des contraintes budgétaires supplémentaires. Les figures 10 et 11 illustrent ce point, en vert les valeurs mesurées, en rouge la courbe simulée par EPANET.

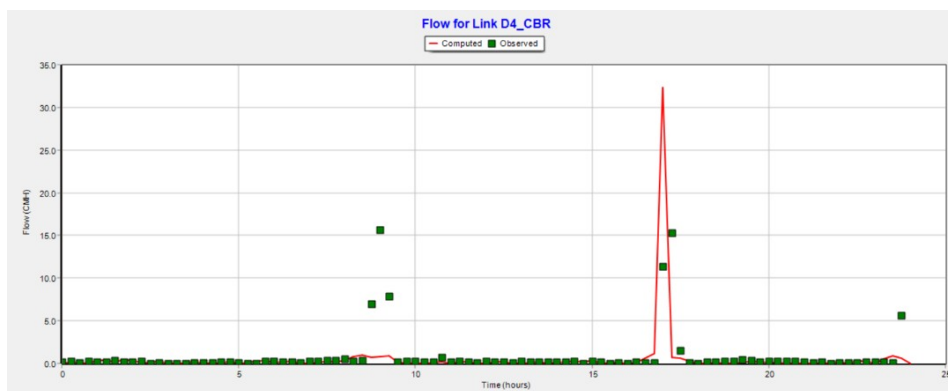


Figure 10 : Débit mesuré sur le débitmètre D4, rugosité = 0,1

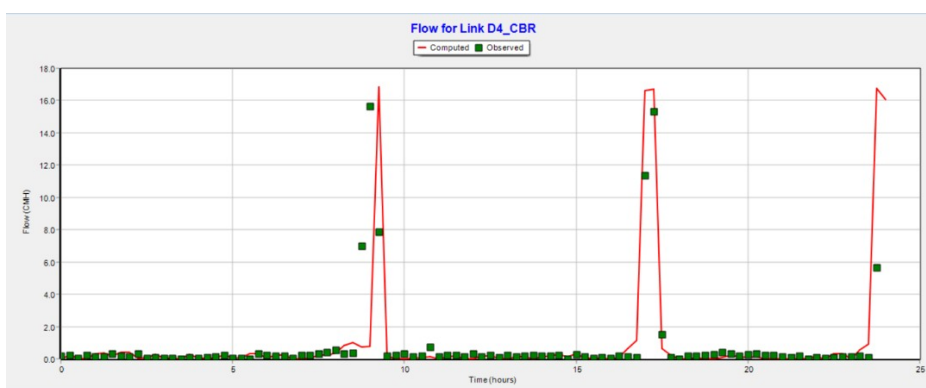


Figure 11 : Débit mesuré sur le débitmètre D4, rugosité=15

4.2. Les pressions

Les pressions sont normalement calées en deuxième, avec la pression la plus proche du réservoir calée en priorité, car c'est celle qui est le plus influencée par le réservoir. Les pressions n'ont pas d'influence entre elles. Ici il s'agit de la pression du poteau PI 004 à Boujacourt (PI4_CBR) (Voir annexe 1).

La pression est calée si les variations entre les valeurs simulées et les valeurs mesurées ne dépassent pas 2 m. En cas de pression variant rapidement ou ponctuellement ce critère ne peut pas toujours être respecté à cause des limitations d'EPANET. Dans ce cas, si visuellement l'écart moyen reste faible, avec une courbe de tendance cohérente, la pression sera considérée comme calée.

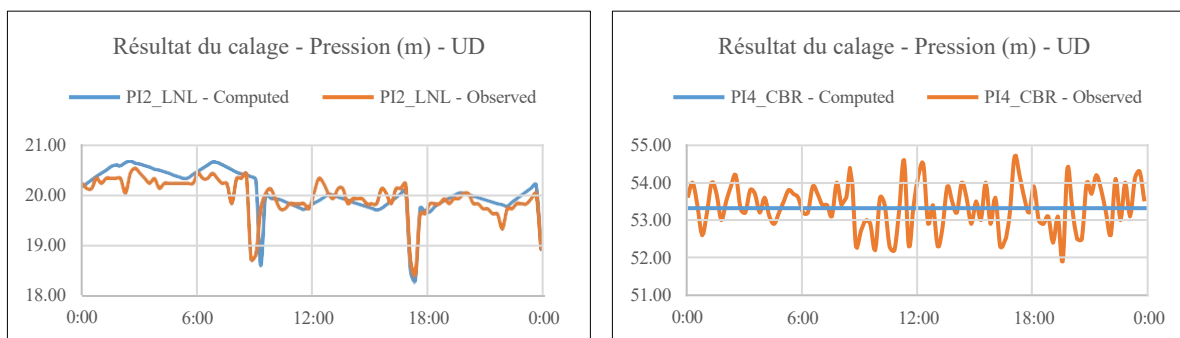


Figure 12 : Courbes de calage des pressions hors vendange pour les poteaux PI2_LNL et PI4_CBR

Il y a plusieurs manières de caler la pression, il est possible encore une fois de faire varier les rugosités, cependant cette méthode ne sera pas utilisée sur la CCPC. Les variations de rugosités permettent un changement très faible, rarement de plus de 5 cm, or ce qui est rarement nécessaire, le critère de calage étant de 2 m. De plus cette modification nécessiterait un nouveau calage du débit. Si la pression a la bonne tendance, mais est trop élevée ou trop faible, il est alors possible de **modifier le radier du réservoir**. Normalement le radier du réservoir peut être seulement légèrement modifié, cependant les valeurs de radier sont inconnues pour les réservoirs de l'UD. Les valeurs de radier seront donc modifiées tout en gardant une cohérence par rapport à la côte TN.

Cette méthode a été utilisée pour caler le point de pression PI 002 à la Neuville au Larris (PI2_LNL). La côte TN du réservoir de la Neuville aux Larris est située à 247,62 m. Le radier est inconnu, le réservoir est sur tour. Il est possible, comme première approche et à partir des photos supposer son élévation 15 m, avec un radier à 262,62 m. La pression simulée est environ 1 m trop haute, **le radier peut donc être rabaissé à 261 m**.

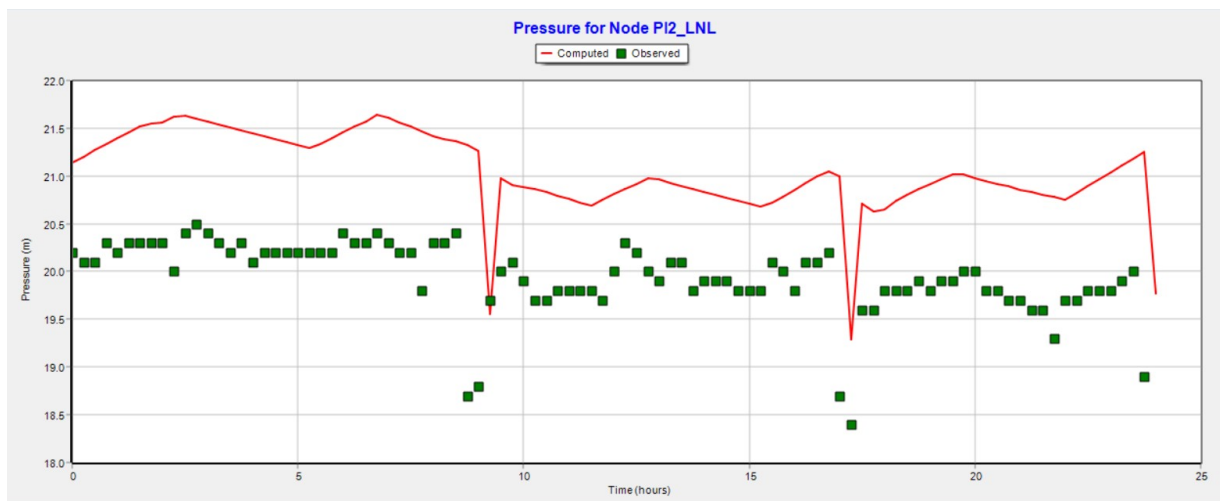


Figure 13: Pression PI2 pour un radier à 262,62 m de hauteur

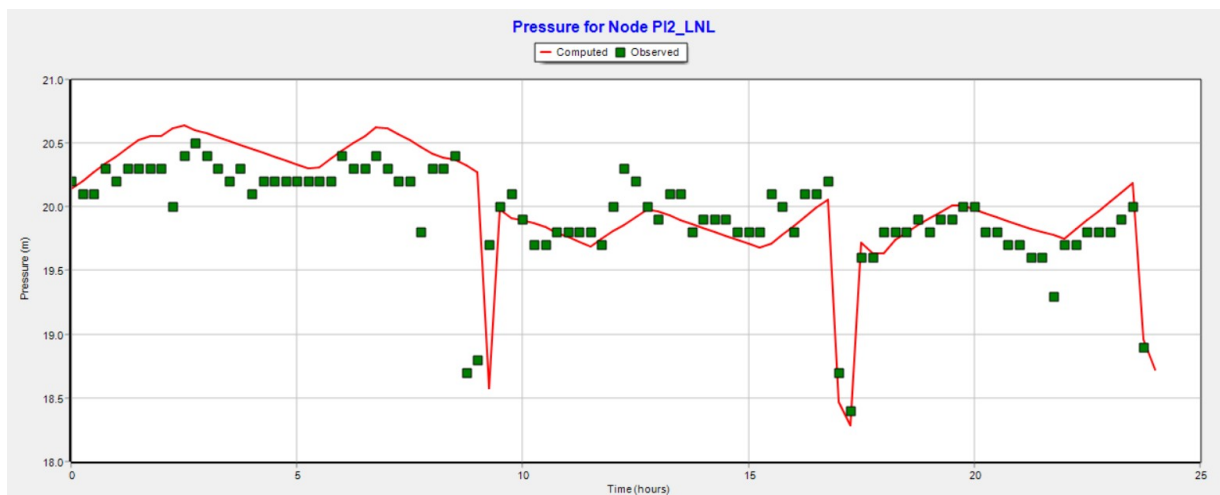


Figure 14 : Pression PI2 pour un radier à 261,62 m de hauteur

Une autre façon de caler la pression consiste à utiliser **les consignes de stabilisateur**. Les consignes de stabilisateur étaient aussi souvent inconnues, c'est le cas pour le stabilisateur de

Boujacourt. Les consignes étant inconnues, celles-ci sont donc choisies pour permettre le calage des pressions. Le stabilisateur de Boujacourt a donc **une consigne de 6,2 bars** déterminée lors du calage. Cette consigne n'a pas été relevée sur le terrain, **il est possible qu'elle ne reflète pas le réglage réel du stabilisateur.**

Enfin, le dernier ajustement réalisable est le **changement des caractéristiques de pompe** (notamment des HMT). La modification de la HMT permet d'abaisser ou d'augmenter la pression sans modifier le radier du réservoir. C'est particulièrement intéressant à Belval, où la modification du radier ne permet pas de caler simultanément les poteaux PI002 et PI003 de Belval-sous-Châtillon (PI2_BSC ; PI3_BSC). Le poteau PI2_BSC est sur le réseau surpressé, il est possible de faire **varier la HMT** pour le caler sans modifier le calage du PI3_BSC qui a été réalisé grâce à l'ajustement du radier. De plus le poteau PI3_BSC n'a pu être équipé que lors de la période hors vendange, il est donc délicat de le caler autrement qu'avec le réservoir.

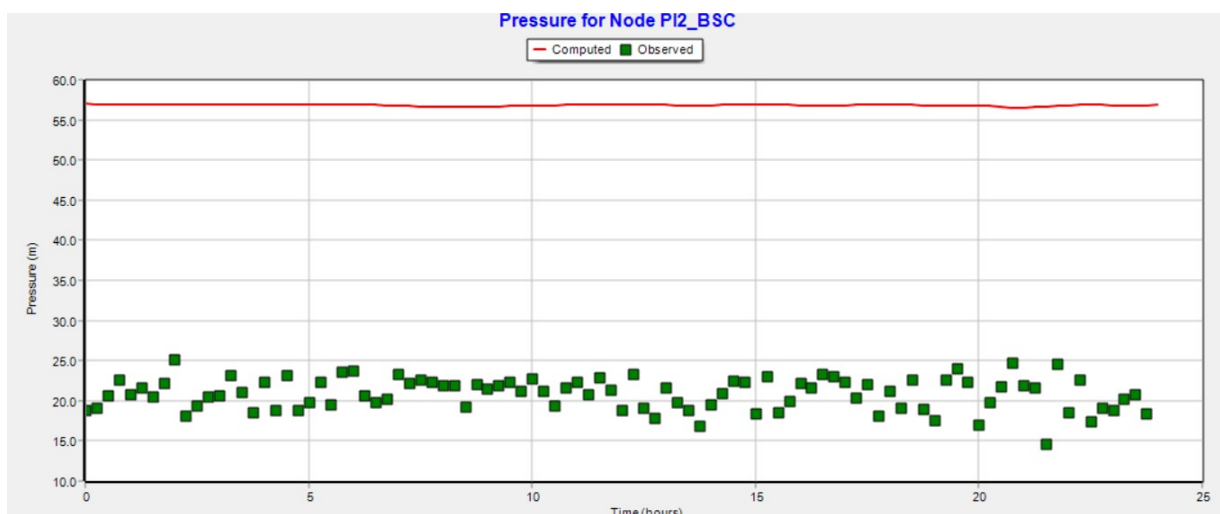


Figure 15 : Pression PI2_BSC avant modification des caractéristiques de pompe

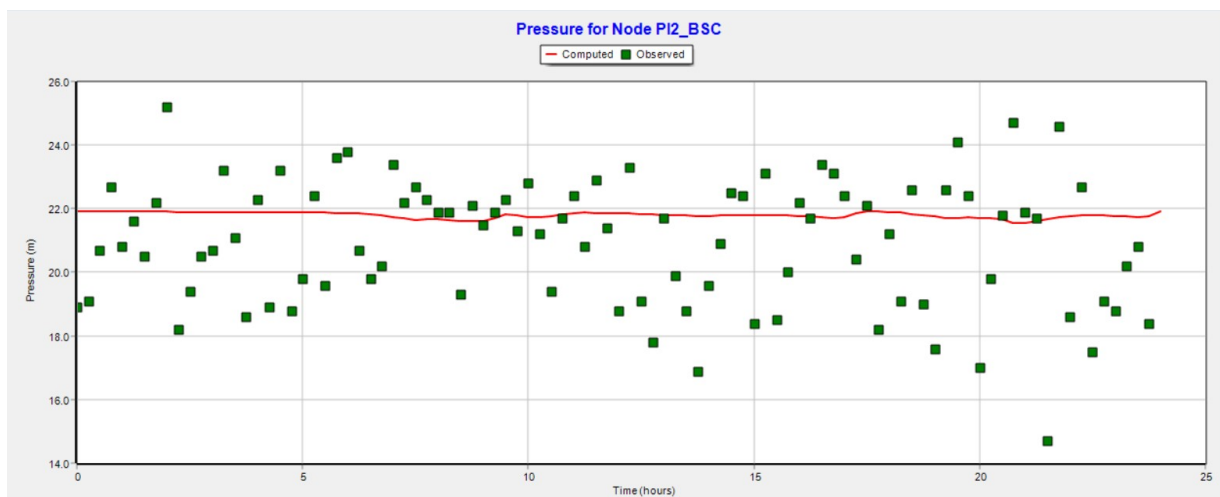


Figure 16 : Pression PI2_BSC après modification des caractéristiques de pompe

Ces méthodes soulèvent tout de même des interrogations sur la véracité du modèle final. En effet, elles se basent toutes sur des hypothèses. Ces dernières devraient être vérifiées afin de s'assurer que le modèle reste dans les normes.

Il est possible de vérifier en partie leur cohérence sur EPANET. Par exemple, si plusieurs mesures dépendent d'un même réservoir, sont-elles simultanément calées pour une valeur de radier ? Les modifications des caractéristiques de pompe sont-elles en accord avec le débit mesuré ? Les valeurs d'un même poteau sont-elles bien calées pour les deux modèles vendanges et hors vendanges ? Enfin, les pressions obtenues lors de la campagne de mesure sont-elles bien en accord avec les valeurs relevées lors des tests poteaux ?

Si tous ces points sont bien vérifiés, il est alors possible de considérer les **hypothèses effectuées comme validées**. C'est le cas pour l'UD de Champlat-et-Boujacourt

4.3. Les marnages

Les marnages des réservoirs sont calés en dernier. Il faut en priorité caler les réservoirs qui ne dépendent pas d'autres réservoirs, les marnages étant liés. Ici le premier réservoir calé est celui de Belval-sous-Châtillon (RSE_BSC).

Le marnage du réservoir est calé si les variations entre les valeurs simulées et les valeurs mesurées ne dépassent pas 5 cm en moyenne. Il faut aussi que les courbes suivent la même tendance. Sur l'UD l'écart moyen entre les mesures réelles et les résultats du modèle est au maximum de 0,72 %, soit une différence de 2 cm.

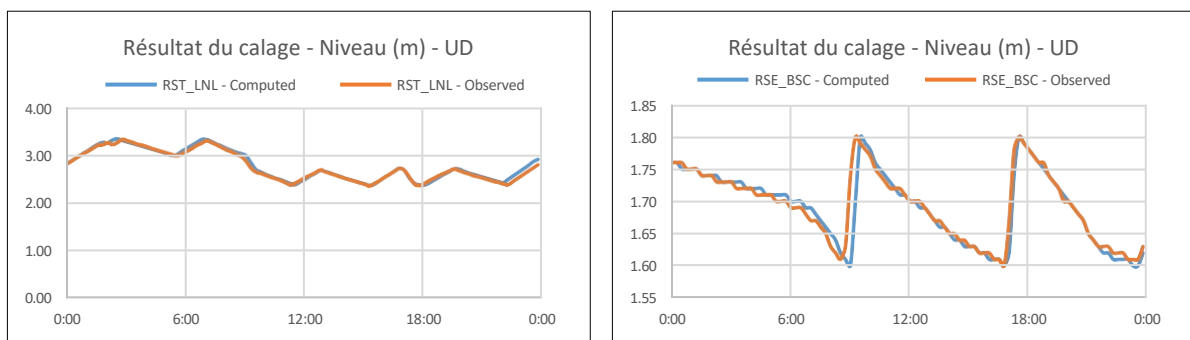


Figure 17 : Courbes de calage des niveaux d'eau hors vendange (Champlat-et-Boujacourt)

Pour affiner le calage, les caractéristiques des réservoirs peuvent être modifiées à nouveau. Si le radier permettait de caler les pressions, le **diamètre peut être modifié** pour caler le marnage car le diamètre détermine la capacité de stockage du réservoir et ainsi sa durée de vidange plus ou moins longue. Le diamètre des réservoirs est inconnu, ils ont été estimés à partir des données de capacité et de niveau maximal mesuré durant la campagne. La modification du diamètre pour le calage des réservoirs est donc réaliste.

Le diamètre calculé pour le réservoir de Belval-sous-Châtillon est de 5,42 m. Celui-ci se remplit et se vide trop vite, le diamètre réel est donc plus grand. Le diamètre est donc augmenté jusqu'à atteindre une vitesse de remplissage et de vidange convenable. Ici le **diamètre est fixé à 6,33 m**. Cette valeur n'a pas été mesurée sur place, **il est possible qu'elle ne corresponde pas au diamètre réel du réservoir**.

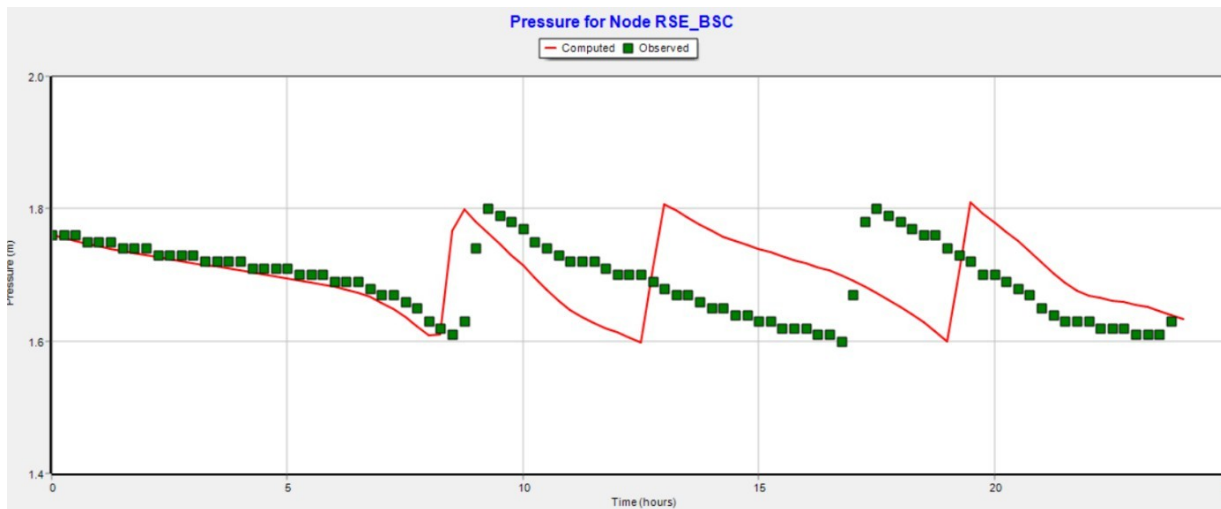


Figure 18 : Marnage du réservoir RSE_BSC pour un diamètre de 5,42 m

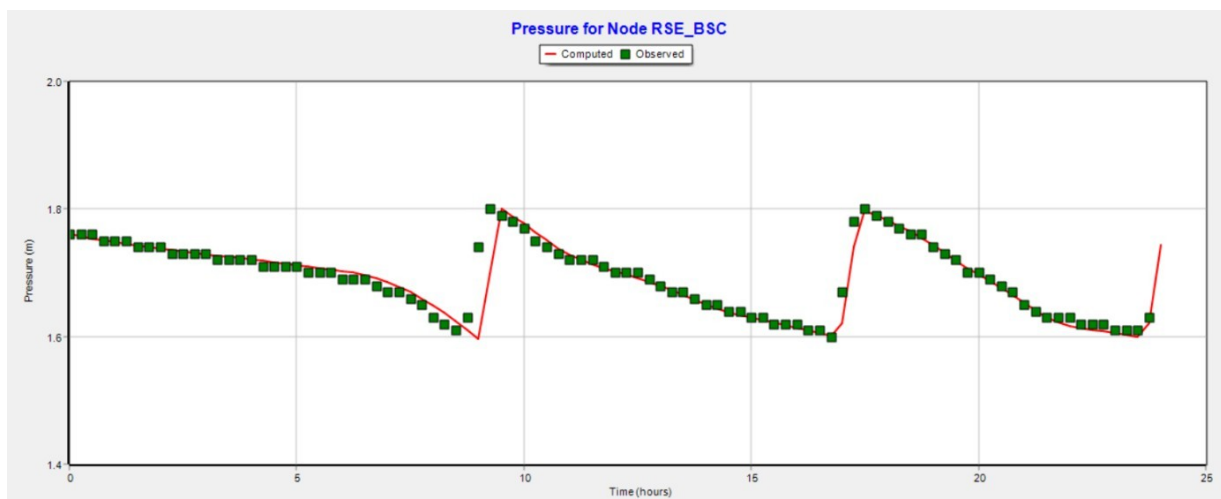


Figure 19 : Marnage du réservoir RSE_BSC pour un diamètre de 6,33 m

Encore une fois, le manque de donnée implique la nécessité d'élaborer des hypothèses qui peuvent fausser le modèle. L'obtention de données sur les diamètres et trop-plein des réservoirs permettrait de confirmer ou réfuter ces hypothèses. Cependant si le diamètre choisi permet le calage en période de vendange et en période hors vendange alors **l'hypothèse peut être perçue comme réaliste**.

4.4. Problématiques rencontrées

Le calage du modèle de cette UD mais aussi des autres UD non présentées dans ce rapport, témoigne des difficultés liées au manque de données. En effet, il y a de nombreuses incertitudes sur des ouvrages clés du modèle comme les réservoirs et les pompes. Pour l'UD de Champlat-et-Boujacourt, le modèle a pu être calé mais ce n'est pas le cas d'autres UD.

Des UD comme celle de Festigny ne peuvent pas être calées par **manque de données** sur des pompes fonctionnant sur variateur de vitesse. En effet pour caler une pompe fonctionnant sur variateur de vitesse, plusieurs caractéristiques sont requises : le type, le débit et la HMT de

fonctionnement de la pompe ainsi que les consignes de vitesse appliquées, et le profil du débit en sortie de pompe. Sur une pompe de l'UD de Festigny seule l'information liée au débit en sortie de pompe était connue. Le nombre important d'inconnues entraîne un nombre important d'hypothèses. De plus, les différents secteurs étant alimentés successivement par des surpressions, le fonctionnement des pompes peut être assimilées à un pompage en série. Ce fonctionnement nécessite une adaptation des courbes de toutes les pompes. **Des demandes d'information ont donc été adressées à l'exploitant afin de mieux comprendre le fonctionnement**, des hypothèses seront formulées par la suite.

L'UD de Saint-Martin d'Ablois n'a pas été calée à cause de **manque de données** sur les réservoirs et les consommations. Le comportement mesuré d'un réservoir de l'UD semble indiquer la présence de consommation nocturne importante. Cependant aucun consommateur n'a un profil indiquant une telle consommation nocturne. Cette incohérence entraîne une nette différence entre les valeurs mesurées et les valeurs simulées du réservoir, comme indiqué sur la Figure 20. Afin de pouvoir caler cette UD des précisions ont été demandées à l'exploitant, sur la présence d'un château dans le secteur, cependant ils ont répondu que celui-ci n'avait pas eu de consommation exceptionnelle sur la période de mesure. Le secteur n'a pas non plus été relevé comme secteur fuyard. Des échanges supplémentaires sont donc nécessaires avec l'exploitant sur les hypothèses formulées concernant cette UD. Ces données sont toujours en attente. Cet exemple souligne donc les **difficultés liées à l'organisation entre de multiples acteurs**, la planification et l'obtention d'informations peut prendre du temps et nécessiter de nombreux allers-retours. Cela peut augmenter les risques de retard si les informations ne sont pas données suffisamment tôt.

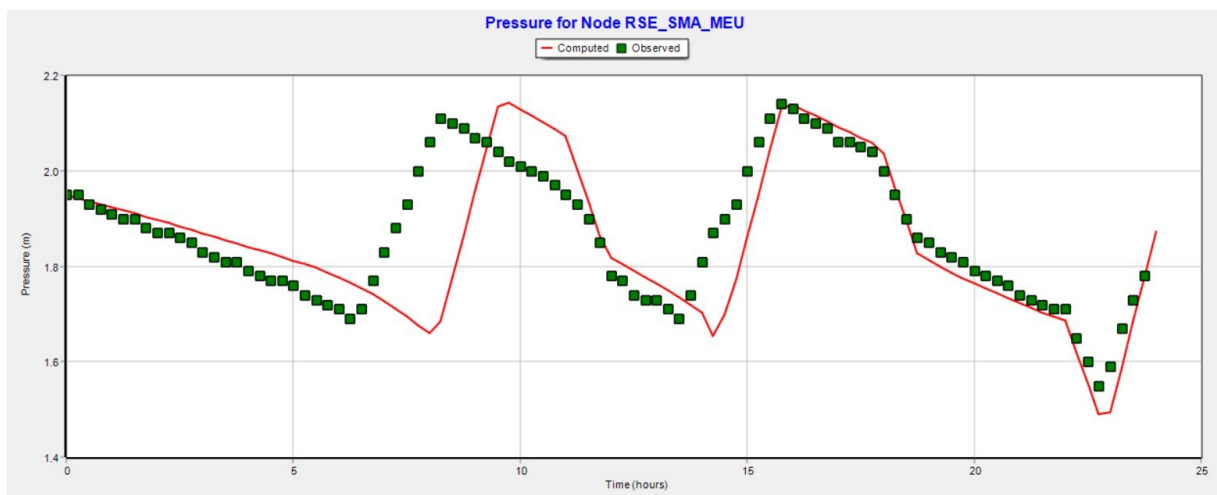


Figure 20 : Marnage du réservoir non calé de l'UD Saint-Martin d'Ablois

Les UD aux modèles non calés sont mises de côté, souvent en l'attente d'informations supplémentaires, les autres UD sont traitées en priorité et passent à l'étape d'analyse. Si les modèles ne sont pas calés à temps, des hypothèses sont émises, la MOA est informée des difficultés. Si les difficultés sont sur un ouvrage indispensable comme le réservoir de tête (qui donne l'ouverture des pompes), **tout est mis en place pour réussir à le caler**.

Analyse du modèle

1. Jour moyen

Les simulations du jour moyen se font à partir du modèle calé hors-vendange. Pour déterminer les profils de consommation les données de débit de sortie d'usine depuis 2020 sont utilisées (ces données correspondent à l'ensemble des données exploitables reçues). Elles sont moyennées sur chaque année, puis moyennées entre années. Ensuite, un coefficient est calculé en effectuant le rapport avec le besoin de l'UD pendant le jour de calage ($J_{\text{moy}}/J_{\text{calage}}$). Les périodes de vendanges sont aussi relevées et utilisées pour déterminer un coefficient de pointe, cette fois en utilisant uniquement les valeurs relevées sur la période des vendanges. Sur l'UD de Champlat-et-Boujacourt, le coefficient $J_{\text{moy}}/J_{\text{calage}}$ est proche de 1 témoignant d'une proximité entre les valeurs relevées et la journée de calage (journée type). Le coefficient de pointe est plus élevé car les journées de pointe s'éloignent de la moyenne.

Coefficient	UD globale
Coefficient $J_{\text{moy}}/J_{\text{calage}}$	0,90
Coefficient $J_{\text{pointe}}/J_{\text{moy}}$	1,65

Tableau 2 : Coefficients jour moyen et jour de pointe (Champlat et Boujacourt)

1.1. Les pressions maximales

D'après le CCTP, sur le réseau les pressions doivent être comprises **entre 1,5 et 4 bars**. Des pressions trop fortes risquent d'endommager progressivement le réseau, engendrant ainsi des fuites. Il n'y a cependant pas de réglementation à suivre.

La pression est trop élevée dans le hameau de Boujacourt, sur le réseau en direction du réservoir de Belval-sous-Châtillon ainsi que dans une partie de la commune de Belval-sous-Châtillon.

Les solutions pour diminuer la pression sont la **pose de réducteur ou stabilisateur de pression**. Un stabilisateur de pression est déjà présent sur la branche menant au hameau de Boujacourt. Comme évoqué précédemment lors du calage, il est réglé sur 6,2 bars (bien que cette information ne soit pas entièrement vérifiée). Cette consigne pourrait être ajusté afin de réduire la pression du hameau.

La pose d'un stabilisateur sur la branche de transport pourrait être utile, voire avant le hameau de Paradis, cependant certains nœuds ont des pressions excessivement hautes, malgré l'ajout de stabilisateur. La **pose d'un stabilisateur** en entrée et en sortie du hameau est donc une solution envisageable.

Enfin, la pression sur la commune de Belval est excessivement haute, notamment avec des valeurs pouvant atteindre les 9 à 10 bars. Il est possible que les habitants de Belval-sous-Châtillon possèdent des réducteurs de pression chez eux. Les fortes pressions endommagent principalement les canalisations aux diamètres les plus petits, donc les canalisations de distribution. C'est une information qui sera donc demandée à l'exploitant. La pose d'un stabilisateur dans cette zone est compliquée car elle entraîne une baisse de pression trop importante dans le hameau situé en aval de la commune. Le stabilisateur limite la pression en

son aval ou en son amont selon son type, ce qui explique la baisse de pression dans le hameau voisin.

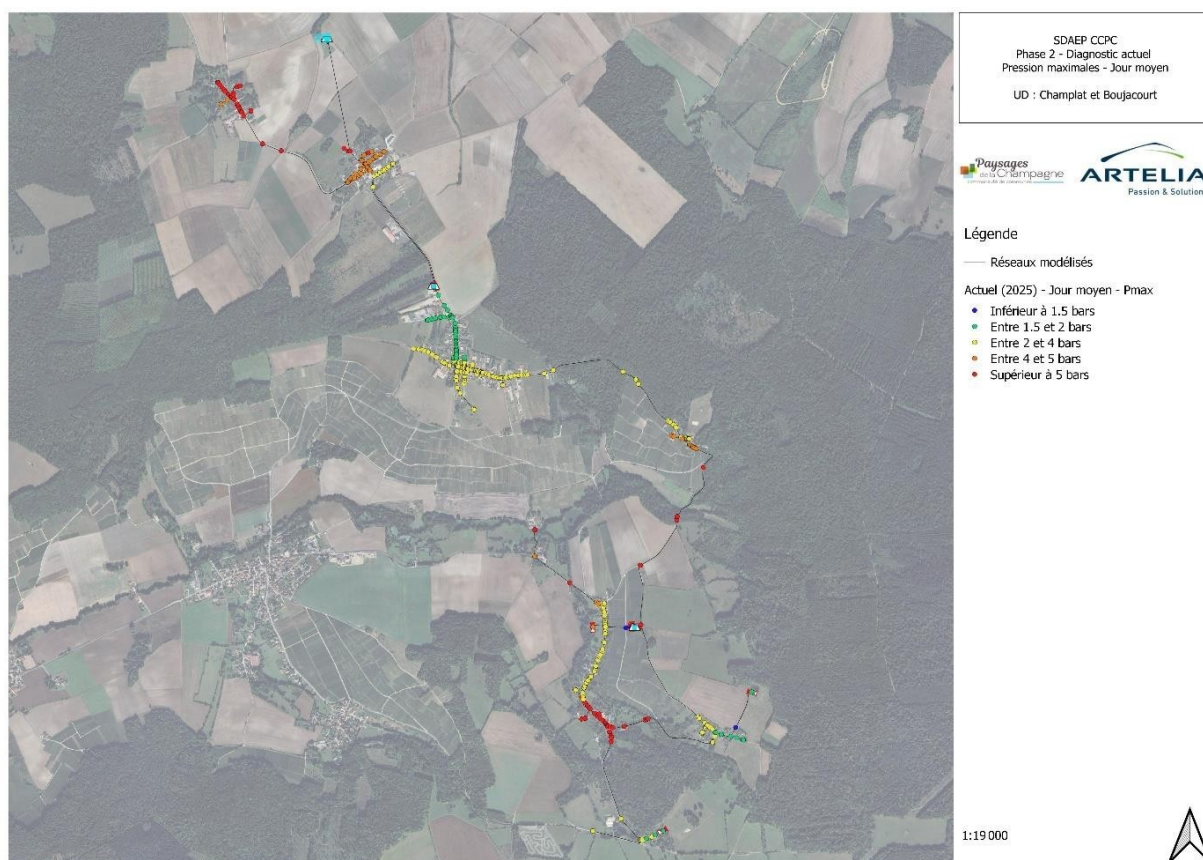


Figure 21: Pression maximale sur l'UD de Champlat et Boujacourt

1.2. Les temps de séjour

Le temps de séjour correspond à la durée entre la consommation de l'eau et sa dernière chloration. Le chlore résiduel dans l'eau diminue avec le temps, si son taux est trop faible (inférieur à 0,3 mg/L) des bactéries peuvent se développer, contaminant ainsi l'eau distribuée.

Le temps de séjour doit être dans l'idéal inférieur à 72 heures, le dépassement de cette valeur n'est pas une fatalité, mais nécessite une surveillance surtout si elle se produit sur un axe majeur du réseau. Le temps de séjour ne doit pas dépasser les 5 jours (120 h), le taux de chlore n'étant ensuite plus suffisant, l'eau peut être contaminée. Si c'est le cas une nouvelle chloration doit être réalisée. Enfin le CCTP préconise un temps de séjour inférieur à 96h, cela permet d'éviter la valeur critique de 120h.

Sur l'UD de Champlat et Boujacourt, une première chloration a lieu en sortie de forage, puis une chloration additionnelle a lieu au réservoir de Belval-sous-Châtillon.

Des temps de séjour importants peuvent être observés dans les branches sans ou à faible consommation. L'eau y stagne plus longtemps et se renouvelle peu car les consommations ne sont pas assez élevées pour permettre son évacuation.

Les temps de séjour sur cette UD varient entre 24 et 48 heures pour la commune de La-Neuville-aux-Larris, entre 24 et 96 heures pour la commune de Champlat-et-Boujacourt (avec les valeurs les plus élevées sur le hameau de Boujacourt), et entre 0 et 48 heures sur la commune de Belval-sous-Châtillon. Sur quelques branches de l'UD avec une consommation unique et faible les temps de séjour dépassent les valeurs seuil. Dans cette situation un prélèvement sera effectué pour étudier le taux de chlore dans la suite de l'étude. Cependant la situation n'est pas alarmante, les temps de séjour sont souvent élevés dans ce type de branche.

Il n'y a donc **pas de problématique liée aux temps de séjour** dans cette UD. S'il y avait une problématique sur les dépassements des seuils des temps de séjour, une chloration additionnelle aurait pu être envisagée.

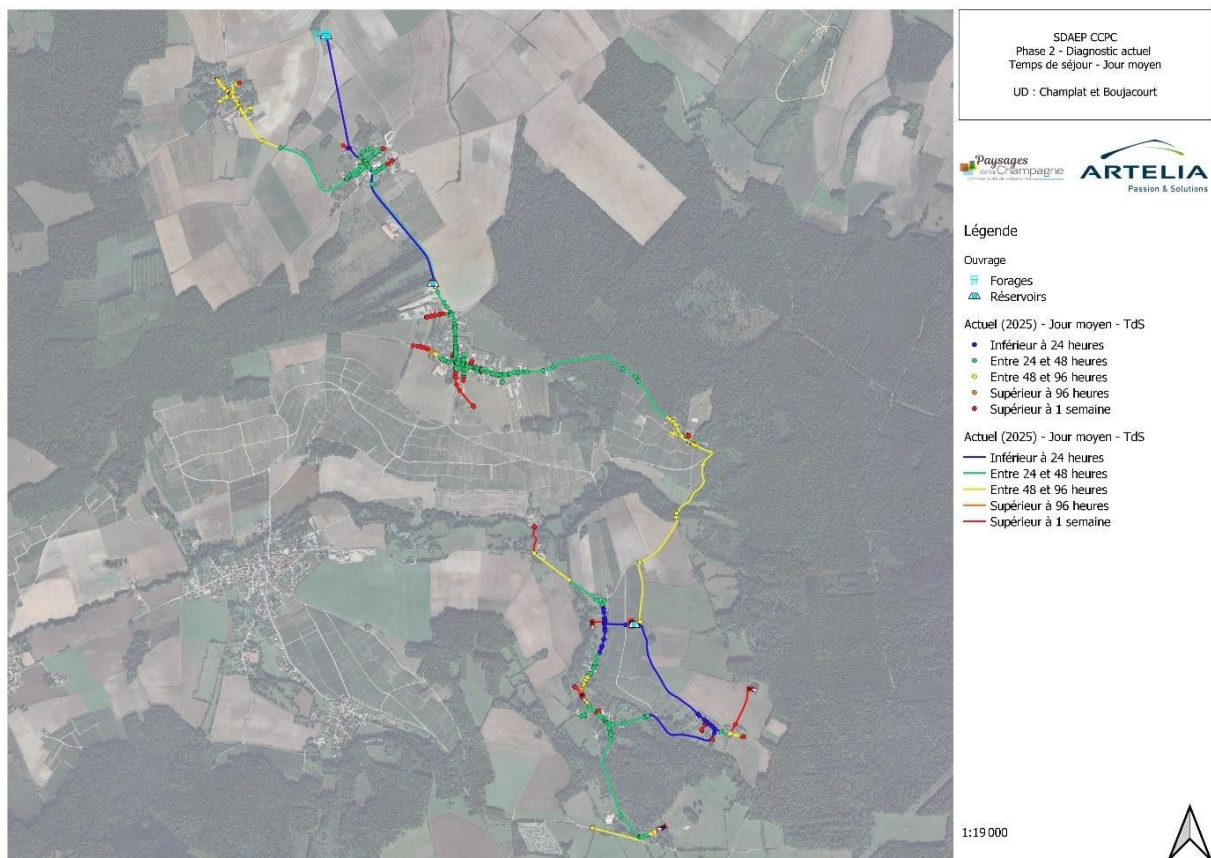


Figure 22: Temps de séjour sur l'UD de Champlat et Boujacourt

1.3. La défense incendie

La défense incendie (DECI) est vérifiée en risque courant. Le risque courant concerne les lotissements de pavillons, les immeubles de moins de 500 m² de surface de plancher. Cela signifie que la défense incendie est considérée comme assurée si le débit au poteau sous 1 bar est maintenu à 60 m³/h pendant 2 h et qu'un poteau est présent dans un rayon de 200 m. Dans

la suite de ce rapport seule la limitation sur le débit est étudiée, les poteaux étant modélisés pour fournir une pression de 1 bar.

Ci-dessous, les résultats de la simulation de défense incendie sur les points d'eau équipés par secteur

Secteur	Identifiant du PI/BI	Localisation	Débit disponible sous 1 bar
CB01	PI4_CBR	7, Rue du Lavoir	Entre 0 et 100 m ³ /h ($\approx$ 72 m ³ /h)
CB02	PI2_LNL	1 Place du Général de Gaulle	Entre 40 et 45 m ³ /h ($\approx$ 43 m ³ /h)
CB04	PI3_BSC	46 Grande Rue	Entre 60 et 62 m ³ /h ($\approx$ 61 m ³ /h)
CB05	PI2_BSC	Rue de Grand Pré	Entre 3 et 5 m ³ /h ($\approx$ 4 m ³ /h)

Tableau 3: Défense incendie : débits disponibles sous 1 bar (Champlat-et-Boujacourt)

Seul le poteau PI3_BSC est conforme aux attentes avec un débit supérieur à 60 m³/h. Les raisons des non-conformités des autres poteaux sont différentes.

Le profil du poteau PI4_CBR témoigne d'une **capacité de réservoir trop faible** pour maintenir le débit de façon constante. Le débit au poteau est important (100 m³/h) ce qui entraîne une vidange trop rapide.

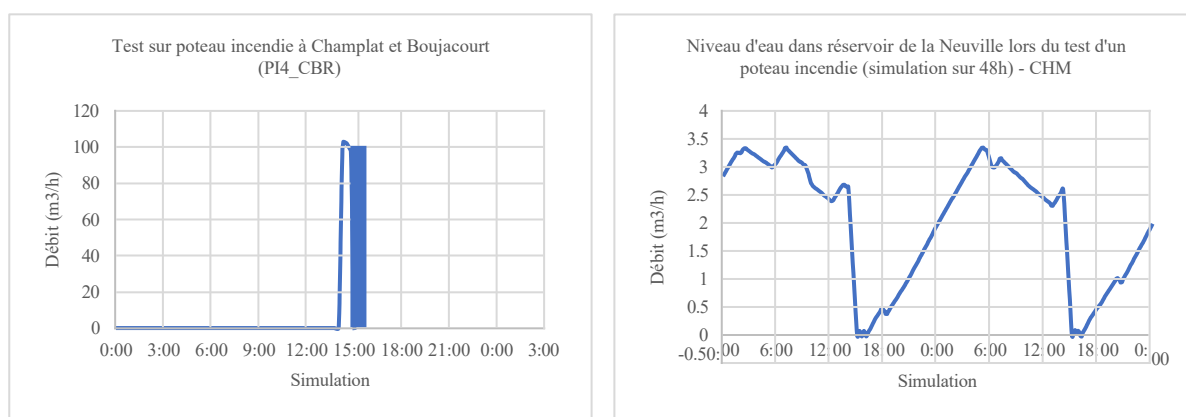


Figure 23 : Résultat de la défense incendie sur le secteur CB01

Pour pallier ce problème plusieurs solutions sont possibles :

- L'augmentation de la capacité du réservoir. Cette solution est couteuse, elle n'est probablement pas rentable si hors défense incendie le réservoir n'a pas de problème de capacité.
- Augmentation des diamètres des canalisations d'alimentation du réservoir afin d'avoir un remplissage plus rapide.
- Pose d'un limiteur de débit (FCV) pour éviter une vidange rapide (il faut alors vérifier que le débit reste suffisant pour l'ensemble des autres poteaux du secteur).

Les solutions peuvent aussi être réalisées simultanément.

Le profil du poteau PI2_LNL indique un **débit insuffisant**. Le poteau étant situé au milieu de la commune de la Neuville-aux-Larris, dans une zone d'habitat pavillonnaire dense, il est bien dans une zone en risque courant, le débit doit donc atteindre les 60 m³/h.

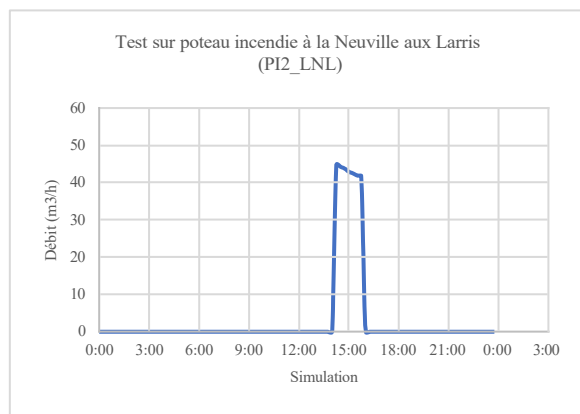


Figure 24 : Résultat de la défense incendie sur le secteur PI2_LNL

Pour pallier ce problème plusieurs solutions sont possibles :

- L'augmentation des diamètres des canalisations afin d'avoir un débit plus important, cette solution permet aux collectivités de simplement adapter leur défense incendie en même temps qu'elles renouvellent leurs canalisations. Cette solution n'est cependant pas simple à mettre en place sur des réseaux maillés.
- L'ajout d'une pompe pour augmenter le débit ; cette solution est plus coûteuse, l'ajout de pompe uniquement pour la défense incendie peut aussi soulever des questions sur l'aspect énergétique.

Le profil du poteau PI2_BSC indique lui aussi un débit fortement insuffisant. Le poteau est situé dans le hameau de Grand Pré. Le débit est inférieur à 10 m³/h, il serait donc **très compliqué d'obtenir un débit satisfaisant sans des travaux très importants.**

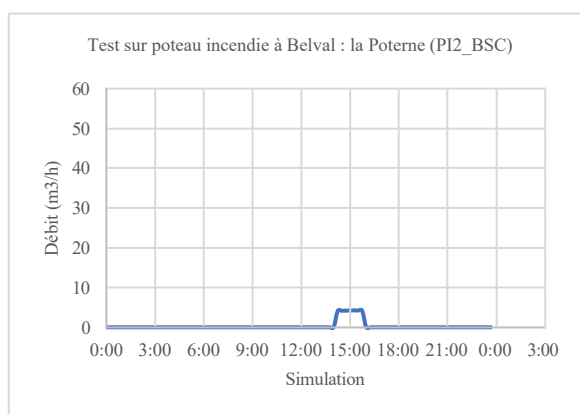


Figure 25 : Résultat de la défense incendie sur le secteur PI2_BSC

Les solutions disponibles pour ce type de problème sont :

- Ajout de pompe, couplé au redimensionnement des canalisations. Cette solution permet d'obtenir un débit plus élevé, mais largement toujours en dessous des normes. Cette solution est aussi coûteuse.
- Ajout d'autres infrastructures incendie, telle qu'une bâche par exemple, pour venir compenser l'insuffisance du débit du poteau.

Seulement un poteau sur les quatre étudiés est conforme. Une étude supplémentaire a été effectuée en simulant le comportement de l'ensemble des poteaux de l'UD. La conclusion est la même, **seul le secteur en réseau gravitaire de Belval-sous-Châtillon est conforme aux exigences**. Il est important d'implémenter des solutions permettant d'améliorer la conformité des secteurs restants. Les solutions à privilégier sont celles sur le **redimensionnement des canalisations**, elles ont un coût moindre pour la commune et sont durables sur le long terme.

Ces trois communes devront également réaliser leur schéma communal de DECI afin d'étudier les besoins réels de chaque secteur.

2. Jour de pointe

2.1. Les pressions minimales

Les pressions minimales sont étudiées en jour de pointe et en jour moyen, cependant, les résultats de la simulation montrent que les résultats sont légèrement plus défavorables en jour de pointe. La différence dépasse rarement les 0,1 bar, comme observé précédemment l'UD, n'a pas des vendanges très marquées. Les pressions sous 1,5 bar restent au même endroit sur les deux modèles. Les pressions basses en sortie immédiate du réservoir ne sont pas prises en compte, elles ne représentent pas un véritable problème de desserte.

Les pressions sont trop basses aux alentours du hameau de la Poterne, elles sont aussi plutôt basses sur l'ensemble de la commune de La-Neuve-aux-Larris, où elles dépassent à peine les 1,5 bar. Les pressions sont aux alentours de 1,6-1,7 bar.

Pour augmenter la pression, deux solutions sont possibles :

- L'ajout d'une pompe
- Le rehaussement du réservoir

Le rehaussement du réservoir nécessite la reconstruction du réservoir, ce qui rend la solution peu intéressante, sauf si d'autres problématiques liées au réservoir sont relevées. L'ajout d'une pompe est moins coûteux mais représente un coût énergétique significatif. Sur cette UD, comme cela sera expliqué par la suite, aucune contrainte supplémentaire ne requiert un changement de réservoir. La solution de rehaussement de réservoir est donc difficile à justifier. **L'ajout d'une pompe** permettrait cependant aussi d'assurer la défense incendie, le secteur de la Neuville-aux-Larris étant non conforme. Dans ce cas-là c'est la **solution à privilégier**.



Figure 26 : Pression minimale sur l'UD de Champlat et Boujacourt

2.2. Les vitesses

Les vitesses les plus importantes sont observées en période de vendange. Il est recommandé d'avoir des vitesses inférieures à 0,75 m/s dans les canalisations de distribution, et des vitesses inférieures à 1,5 m/s dans les canalisations de transport. Ces valeurs sont des recommandations, il n'y a pas de seuil réglementaire. Les vitesses trop importantes accélèrent le vieillissement des conduites.

Sur l'UD de Champlat-et-Boujacourt, les vitesses sont inférieures à 0,75 m/s sur l'ensemble du réseau de distribution. Il y a une petite portion du réseau de transport, vers le réservoir de Belval-sous-Châtillon, où la vitesse monte à 1,58 m/s (en sortie de la vanne d'achat). Ce dépassement n'est pas problématique, il a lieu sur moins de 10 m juste avant d'entrer dans le réservoir.

Les valeurs de vitesses témoignent d'un réseau dont la capacité est bien dimensionnée pour les besoins actuels.

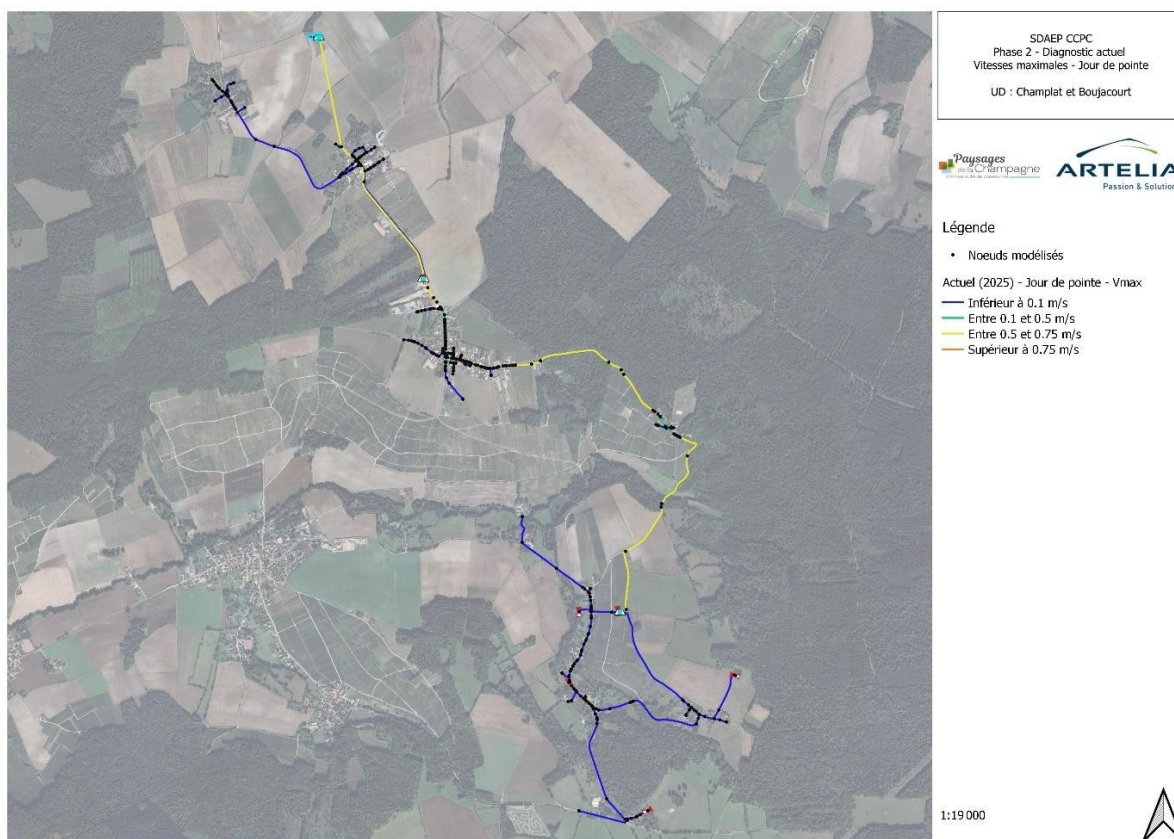


Figure 27 : Vitesse maximale sur l'UD de Champlat et Boujacourt

2.3. Les marnages

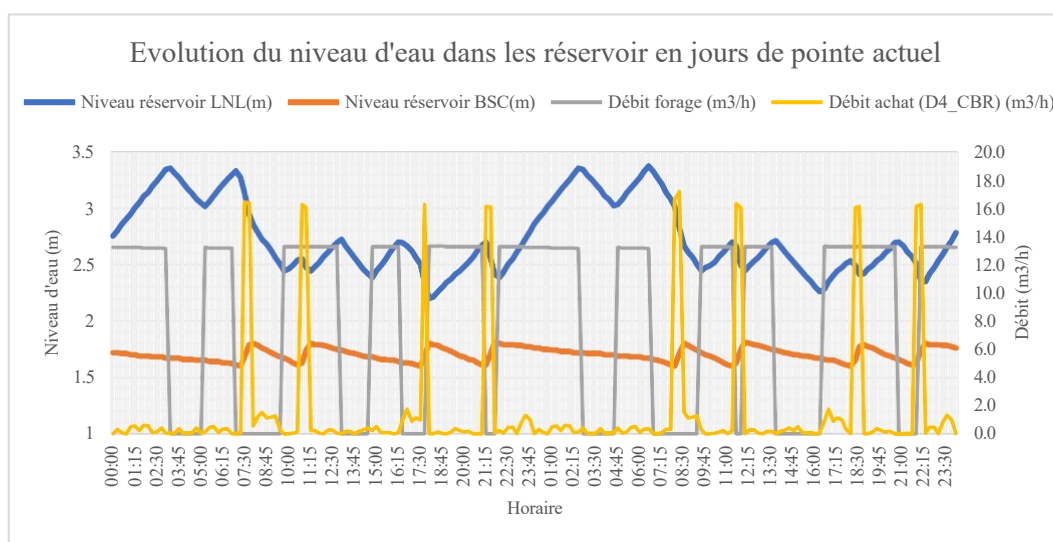


Figure 28 : Marnages des réservoirs de l'UD de Champlat et Boujacourt

Le CCTP indique que les réservoirs doivent arriver à marnier correctement pendant 48 h. Ici c'est le cas, les deux réservoirs se remplissent et se vident normalement comme ce qui est observé sur la Figure 28 où le niveau du réservoir de la Neuville-aux-Larris varie entre 2,2 et 3,2 m, et celui de Belval entre 1,6 et 2 m.

Ce sont les variations indiquées par les consignes de marnage des réservoirs. **En situation actuelle il n'y a donc pas la nécessité de changer les réservoirs ou les pompes.** Les pompes du forage s'ouvrent à un rythme régulier au cours de la journée, environ 5 fois par jour. L'achat s'effectue 4 fois par jour.

Ce bon fonctionnement des réservoirs permet d'écarter toutes les solutions reposant sur des constructions de réservoir dans les problématiques évoquées précédemment. Le changement de réservoir étant couteux, il n'est pas justifiable si le marnage des réservoirs est correct et répond à la demande.

3. Les besoins futurs

Trois scénarios seront étudiés, un à court terme (2030), un à moyen terme (2040), et un à long terme (2050), le but est d'obtenir une approximation du volume mis en distribution (VMD) pour chacune de ces années à partir de plusieurs hypothèses. Il est calculé à partir de la formule suivante :

$$VMD = \frac{V_c + V_{ex}}{\rho} - V_{ex}$$

Avec V_c le volume consommé. $V_c = \text{Besoin} \times \left(1 + \frac{\text{volume de service} + \text{Volume non comptabilisé}}{\text{Volume facturé actuel}}\right)$

V_{ex} le volume exporté

ρ le rendement.

Pour obtenir le besoin, il faut s'intéresser à l'évolution des besoins selon le type de consommation.

Cinq profils de consommation sont relevés à partir de la base de consommations de l'UD :

- Les résidents
- Les professionnels
- Les agriculteurs
- Les administrations
- Les profils inconnus

Pour les résidents, il faut s'intéresser à l'évolution démographique :

La détermination des évolutions démographiques a été établie en phase 1, pour chaque commune quatre hypothèses (taux d'accroissement, PLU, SCOTER, stagnation) ont été étudiées avant de sélectionner la plus cohérente. Pour les communes de l'UD de Champlat-et-Boujacourt, les hypothèses retenues sont présentées dans le tableau suivant :

Commune	Actuelle	Situation future (2030)		Situation future (2040)		Situation future (2050)	
	Population INSEE (2022)	Population estimée (2030)	Taux de croissance	Population estimée (2040)	Taux de croissance	Population estimée (2050)	Taux de croissance
Belval-sous-Châtillon	171	177	3,5%	184	7,6%	191	11,7%
Champlat-et-Boujacourt	147	162	10,2%	182	23,8%	205	39,5%
La-Neuville-aux-Larris	192	195	1,6%	199	3,6%	203	5,7%

UD global	510	534	4,7%	565	10,8%	599	17,5%
-----------	-----	-----	------	-----	-------	-----	-------

Tableau 3: Evolution de la démographie sur l'UD de Champlat-et-Boujacourt

Les administrations étant composées des écoles, et autres institutions liées directement aux évolutions de population, les consommations vont aussi être liées à l'évolution démographique.

Pour les professionnels, il est considéré que leurs consommations ne changent pas, de même pour les profils inconnus. Les professionnels situés sur la communauté de commune ne consomment pas de grand volume d'eau, il n'y a pas d'usine ou autre présente sur la CCPC. Ils ne représentent donc pas une part importante de l'UD.

La même hypothèse sera prise sur les agriculteurs. La consommation des agriculteurs est assimilée à une consommation professionnelle. L'eau utilisée pour l'irrigation provient généralement de puits privés ou de stockages d'eau de pluie

Des hypothèses sont aussi formulées sur le rendement. Le rendement actuel va être utilisé pour déterminer le rendement futur selon les hypothèses suivantes.

Hypothèse de rendement	2030	2040	2050
Rendement 2024<50%	50%	pregle	80%
Rendement 2024<70%	70%	80%	85%
Rendement 2024<80%	80%	85%	90%
Rendement 2024>=80%	85%	90%	90%

Tableau 4 : Hypothèses de rendement

Avec pregle le rendement réglementaire (Grenelle). $pregle = 0,65 - \frac{0,2 \times ILC}{100}$, où ILC est l'indice linéaire de consommation.

Le rendement dans l'UD de Champlat-et-Boujacourt se présente sous la forme suivante :

Communes alimentées	Rendement	Rendement réglementaire	Hypothèse Rendement 2030	Hypothèse Rendement 2040	Hypothèse Rendement 2050
Belval-sous-Châtillon	89,43%	65%	90%	90%	90%
Champlat-et-Boujacourt	37,81%	66%	50%	66%	80%
La-Neuville-aux-Larris	66,35%	67%	70%	80%	85%

Tableau 5 : Rendements estimés des communes de l'UD de Champlat-et-Boujacourt

Le rendement de la commune de Champlat est plutôt mauvais, celui de la commune de Belval est plutôt bon. Les hypothèses partent du principe que les fuites et l'état global du réseau seront améliorés par des campagnes de recherche de fuite et des travaux de renouvellement.

Sur l'UD de Champlat-et-Boujacourt, les résultats de l'évolution des besoins futurs sont les suivants :

UDI	VMD 2024	VMD 2030 (m³/an)	Evolution entre 2024 et 2030	VMD 2040 (m³/an)	Evolution entre 2030 et 2040	VMD 2050 (m³/an)	Evolution entre 2040 et 2050
Champlat-et-Boujacourt	44 198	37 317	-15,6%	33 726	-23,7%	32 330	-26,9%

Tableau 6 : Evolution des volumes distribués de la commune de Champlat-et-Boujacourt

L'UD de Champlat-et-Boujacourt a donc des **besoins en baisse** malgré une augmentation de la population. Cela s'explique par une nette amélioration du rendement. Le réseau actuel est donc adapté aux besoins futurs. Une vigilance est à avoir sur les temps de séjours avec la baisse du besoin. Pour assurer une augmentation du rendement, il est primordial que **les fuites soient détectées et réparées rapidement**, notamment sur la commune de Champlat-et-Boujacourt.

4. Problème

Comme lors de la phase de construction du modèle, divers problèmes ont été rencontrés. Sur l'UD de Champlat-et-Boujacourt, les solutions proposées reposent sur la présence de réducteurs de pression individuels. Si ces stabilisateurs ne sont pas présents. Il faudra revoir le fonctionnement du réseau afin de réduire les pressions dans le bourg de Belval. La pose de STAB pour réduire les pressions en amont de la commune nécessite la pose de pompes avant l'entrée dans le hameau de Paradis. Cette solution peut être envisageable, mais assez coûteuse.

Pour certaines UD, aucune solution convenable n'a vraiment été trouvée. C'est le cas de l'UD de Mareuil-le-Port. Le fonctionnement de cette UD n'est pas bien connu, des hypothèses ont été émises lors de la modélisation pour permettre le calage du modèle. Seulement, désormais, ces inconnues perturbent la recherche de solutions. Sur la commune de Mareuil, un réservoir se remplirait grâce à un système de vanne et limiteur dont le fonctionnement n'est pas parfaitement connu. Un des réservoirs de Mareuil serait sous-dimensionné, comme indiqué dans la Figure 29, il ne se remplit pas sur les 48h. Cependant, il s'agit d'un cas particulier, le secteur est alimenté en priorité. Les limiteurs jouent sur la pression et la vitesse. Il est difficile de proposer des solutions alors que le fonctionnement exact est inconnu. Des confirmations et des informations supplémentaires ont été demandées à l'exploitant et à la MOA, mais comme pour l'obtention de données, les allers-retours prennent du temps.

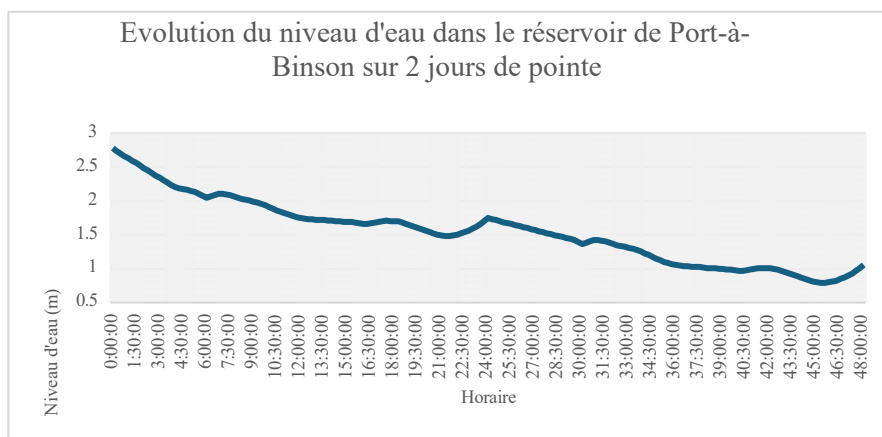


Figure 29 : Marnage du réservoir de Port-à-Binson sur l'UD de Mareuil-le-Port

Enfin, la modélisation permet d'identifier un panel de paramètres qui éventuellement, entraîneront des dysfonctionnements. Les pressions trop élevées abîment les canalisations et peuvent entraîner des fuites. La modélisation ne permet pas de détecter les fuites existantes, ni d'envisager des solutions pour les prévenir. **Le modèle est un outil de prévention** et d'amélioration. Pour ce qui concerne les fuites existantes, d'autres solutions telles que la sectorisation nocturne, permettent de les identifier.

Conclusion

1. Bilan personnel

Ce stage chez Artelia a été très enrichissant pour moi, il m'a permis d'augmenter mes connaissances dans le domaine de l'hydraulique urbaine, et plus précisément de la modélisation. Ce stage m'a permis de découvrir de nouveaux outils, tels qu'EPANET et QGISRED, mais aussi d'affiner mes compétences sur des logiciels tels qu'EXCEL ou QGIS. Le logiciel sur lequel j'ai acquis le plus de compétences est EPANET, EPANET a un fonctionnement similaire à PICCOLO qui a été utilisé brièvement durant mon cursus à l'EIVP. Ce stage m'a permis de comprendre le fonctionnement et l'utilité de ce type de logiciel plus en profondeur. De plus, j'ai appris à savoir jongler entre les différents logiciels et reconnaître l'utilité de chacun, afin de toujours utiliser le logiciel le plus adapté à une tâche.

Le projet de la CCPC a été très intéressant, en effet, les réseaux de la CCPC sont tous différents, avec des particularités et des difficultés variées. Ce grand panel m'a permis de voir de nombreux cas de figure qui nécessitaient des approches différentes. De plus, l'absence de solution évidente, la nécessité de patienter et de passer à autre chose m'ont permis de changer mon rapport face à la difficulté au travail. Ce sont des choses que je vais rencontrer au cours de mon parcours professionnel et auxquelles je vais devoir m'adapter.

Enfin, l'entraide entre les différents ingénieurs de l'équipe de Melun m'a aussi appris l'importance de la solidarité au travail. Beaucoup s'aident sur leurs différents projets, les solutions d'un projet pouvant souvent permettre d'aider à avancer sur un autre. Il est très important que les ingénieurs communiquent entre eux et se les partagent. C'est ce que j'ai pu observer lors de mon stage.

2. Les limites

Les schémas directeurs présentent certaines limites. Premièrement, les collectivités n'ont aucune obligation d'appliquer les recommandations fournies par le schéma directeur. Elles peuvent laisser leur réseau tel quel en attendant le prochain schéma directeur.

Ensuite, pour ce qui concerne le travail réalisé au cours de ce stage, les difficultés principales ont été liées à la construction et au calage du modèle. Un bon calage représente le fonctionnement effectif du réseau. C'est difficile d'obtenir un bon calage lorsque les données manquent. La prise d'hypothèses sur les données souligne les limites sur le bon déroulement du calage. Les hypothèses ne sont pas nécessairement représentatives de la réalité. Un meilleur modèle pourrait être obtenu avec des informations plus détaillées sur les équipements.

Les allers-retours avec l'exploitant et la MOA pour obtenir plus d'informations sont aussi coûteux en temps. Cela traduit les difficultés des travaux avec de multiples acteurs. Il faut arriver à anticiper l'attente avant d'avoir des retours, et être capable de laisser certaines choses de côté pour se concentrer sur d'autres. De plus, l'implication des acteurs peut varier d'un projet à l'autre. Pour la CCPC ils étaient plutôt en retrait, avec des retours prenant du temps. Sur d'autres projets, ils peuvent être beaucoup plus impliqués, demandant beaucoup de choses, de justifications, de degrés de précision parfois impossibles à atteindre dans les limites

des délais fixés.

Enfin, sur l'analyse des modèles, d'autres difficultés peuvent se faire ressentir, les limites des hypothèses effectuées ressortent plus facilement. La connaissance du réseau doit être assez poussée pour pouvoir justifier l'utilisation de certaines hypothèses plutôt que d'autres. C'est notamment ce qui est ressorti avec l'UD de Mareuil-le-Port.

Cependant, avec les schémas directeurs, des efforts sont mis en place pour que les collectivités aient une meilleure connaissance de leurs réseaux. En théorie, lors de la réalisation des prochains schémas directeurs, les collectivités auront une meilleure connaissance de leur réseau, ce qui permettra d'obtenir des informations plus fiables en entrée et d'éviter les pertes de temps importantes lors du calage du modèle. Cela permettra aussi une amélioration des hypothèses proposées. En effet, les résultats de l'étape d'analyse reposent grandement sur les hypothèses réalisées. Par exemple, sur l'UD de Champlat, sur la commune de Belval, dans le réseau surpressé, une meilleure connaissance des caractéristiques de pompe, ainsi que de la présence ou non de stabilisateur individuel de pression, permettrait de proposer une solution mieux adaptée que la solution proposée actuellement.

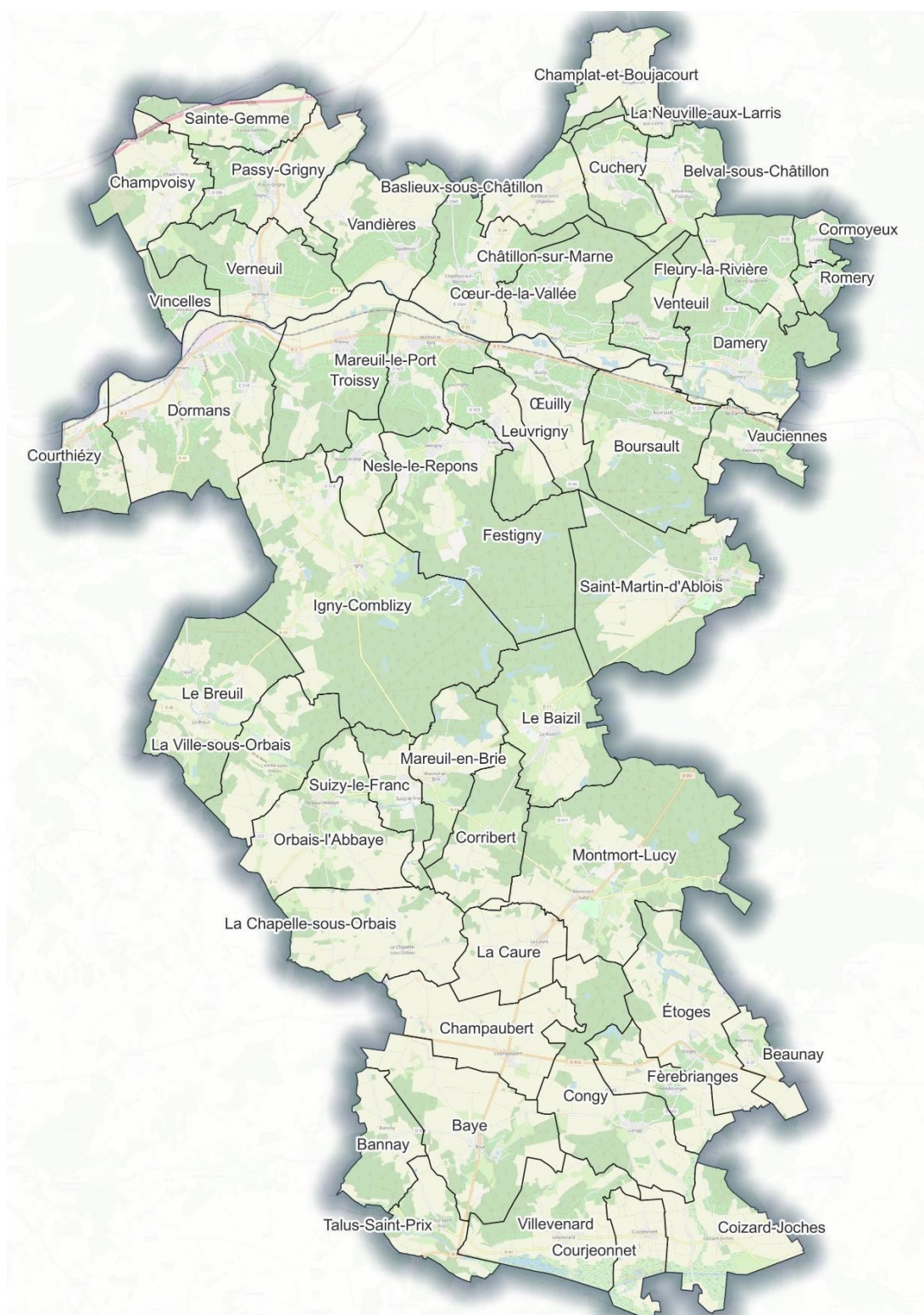
La construction hydraulique est donc un outil puissant permettant de rendre compte efficacement du fonctionnement du réseau. Cependant, pour être réaliste, celle-ci nécessite des données et des connaissances préalables sur le réseau. De plus, ce n'est pas une fin, le modèle permet seulement d'identifier une partie des problèmes et peut aider à l'avancement de solutions. Certains problèmes, comme les fuites existantes, ne sont pas pris en compte lors de la modélisation. Il faut utiliser d'autres outils pour les identifier.

Bibliographie/Webographie-Sitographie

- Artelia Group. (2026, 29 juin). *Notre groupe – Artelia Group.* <https://www.arteliagroup.com/fr/notre-groupe/> [consulté le 14 août 2026]
- Banque des territoires (France), Gros, M. G., Crinquant, N., & Fronzes Ibos, A. (2022). *Schémas directeurs Alimentation en eau potable et assainissement : guide pratique à destination des collectivités* (1^{re} éd., Vol. 1) [Ressource en ligne]. Paris : La Banque des territoires. <https://www.banquedesterritoires.fr/sites/default/files/2022-07/E295%20-%20Sch%C3%A9mas%20direct%20eau%20potable%20et%20Assainissement.pdf>
- Barbier, R. et Renaud, E. (2024). *Le niveau des fuites dans les réseaux d'eau est un scandale !* » R. Barbier et S. Fernandez Idées reçues sur l'eau et sa gestion (p. 119-125). Le Cavalier Bleu. <https://doi.org/10.3917/lcb.barbi.2024.01.0119>.
- Communauté de communes des paysages de la Champagne. (2026, 29 juillet). *Communauté de Communes des Paysages de la Champagne.* <https://ccpc51.fr/communaute-de-communes/territoire/>
- US EPA. (2025, 15 septembre). *EPANET.* <https://www.epa.gov/water-research/epanet>
- INSEE. (2026, 06 août). *Dossier complet – Intercommunalité-Métropole de des Paysages de la Champagne (200066850).* <https://www.insee.fr/fr/statistiques/2011101?geo=EPCI-200066850>
- Jublin, M. (2023). *Va-t-on manquer d'eau potable ?* Alternatives Économiques, 435(6), 26-28. <https://doi.org/10.3917/ae.435.0026>.
- ONU (2024, 26 janvier). *Objectif 6 : Garantir l'accès de tous à des services d'alimentation en eau et d'assainissement gérés de façon durable.* <https://www.un.org/sustainabledevelopment/fr/water-and-sanitation/>
- Préfète de l'Hérault. (2015, 25 janvier). *Les principes du schéma directeur d'alimentation en eau potable.* Les Services de L'État Dans L'Hérault. <https://www.herault.gouv.fr/Actions-de-l-Etat/Environnement-eau-chasse-risques-naturels-et-technologiques/Eau/Ressources-en-eau-Prelevements/Le-schema-directeur-d-alimentation-en-eau-potable/Les-principes-du-schema-directeur-d-alimentation-en-eau-potable>
- Sispea. (2026, 14 août). *Renouvellement des réseaux d'eau potable.* Services eau de France <https://www.services.eaufrance.fr/indicateurs/P107.2> [consulté le 14 août 2026]
- Subra, P. (2024). *Trop d'eau et pas assez. Politiques publiques, rapports de force et stratégies des acteurs face à la crise de l'eau en France.* Hérodote, 194(3), 27-44. <https://doi.org/10.3917/her.194.0027>.
- VigiEau. (2026). *Suis-je concerné par les restriction ?.* <https://vigieau.gouv.fr/> [consulté le 14 août 2026]

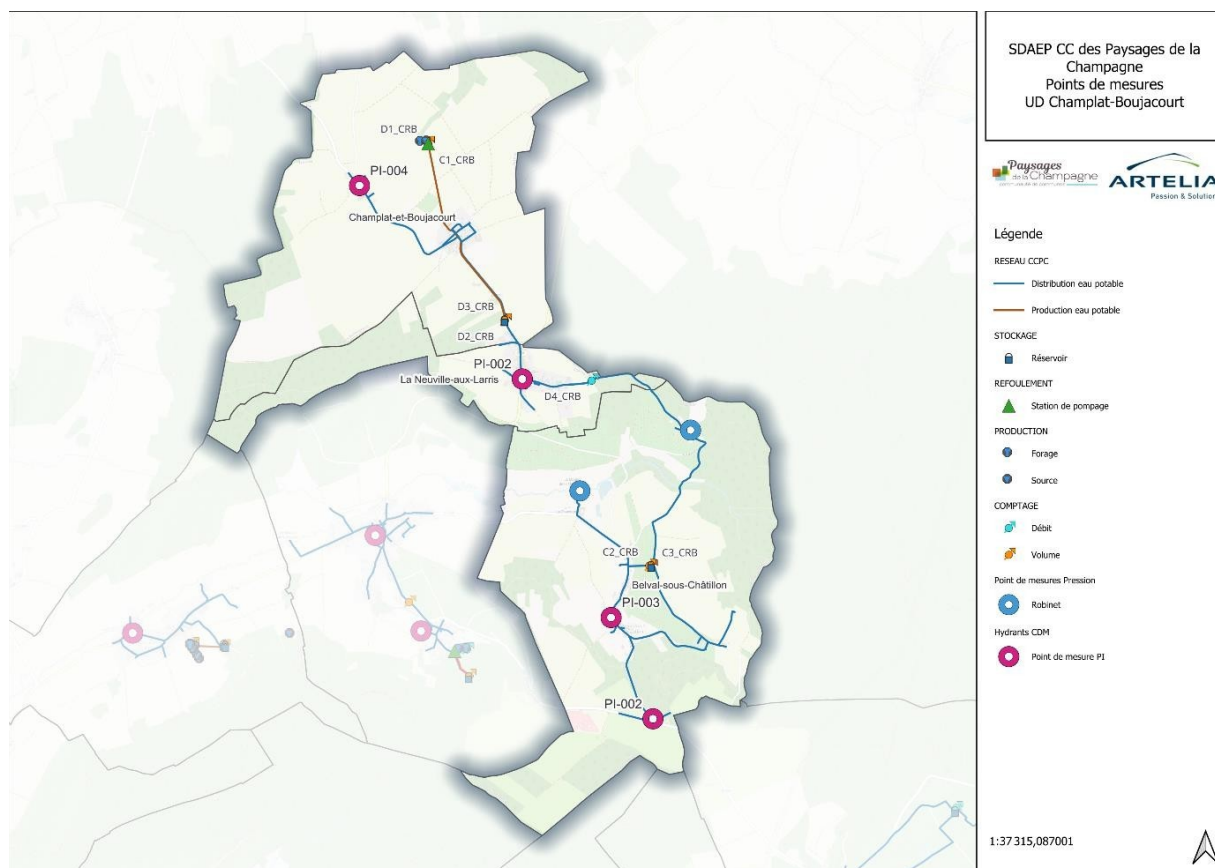
Annexes

Annexe I : Les communes de la CCPC



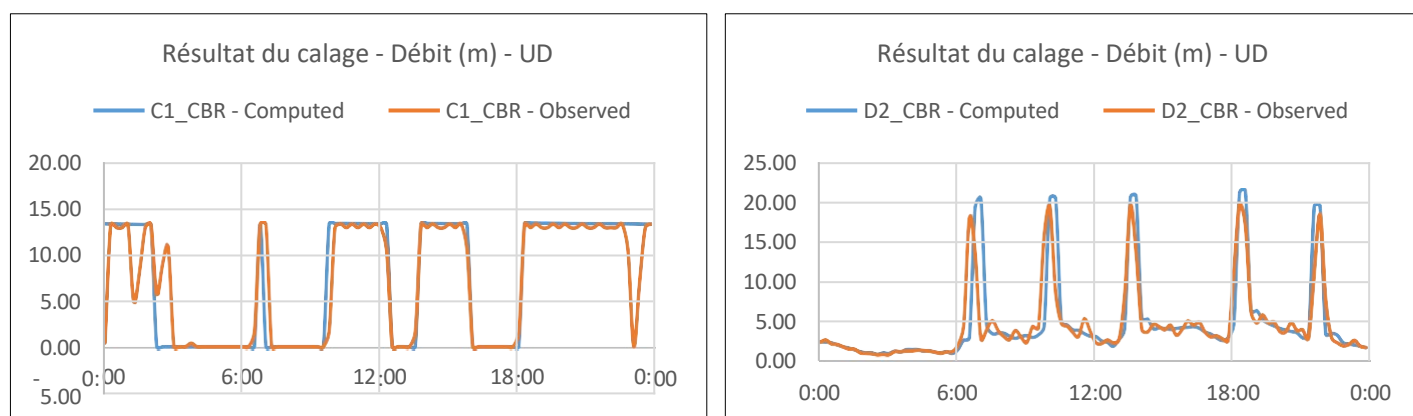
Annexe 1 : Les communes de la CCPC

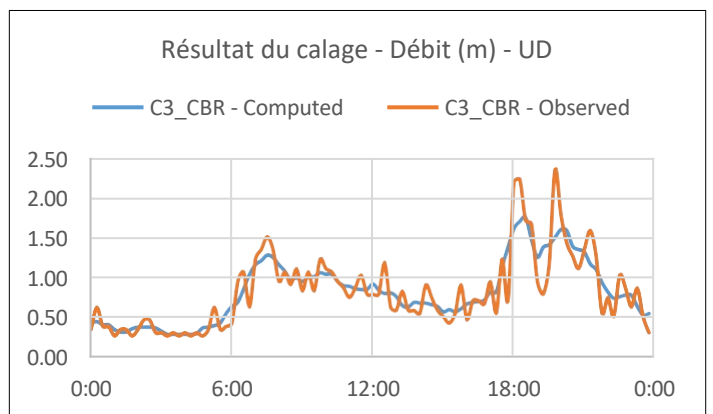
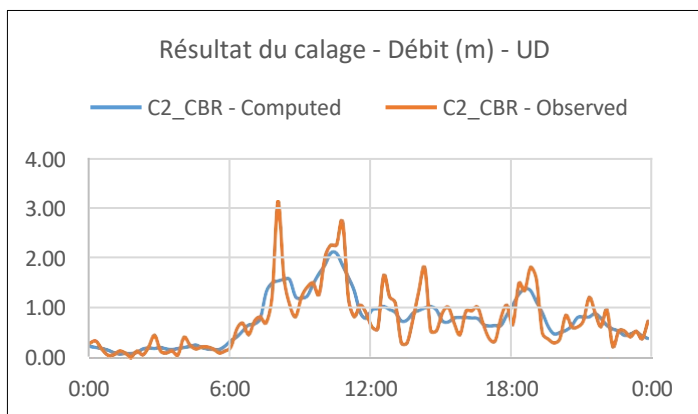
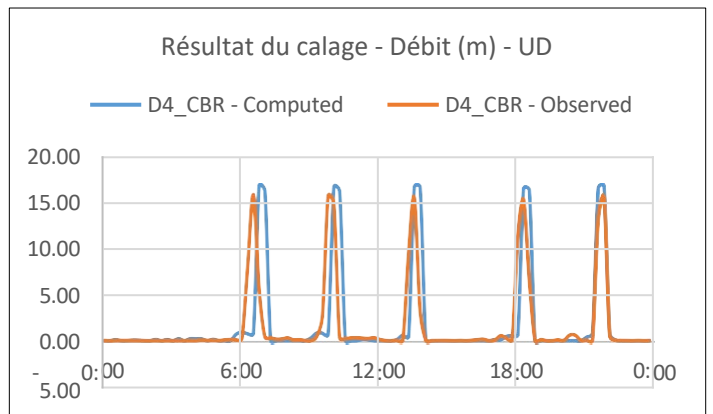
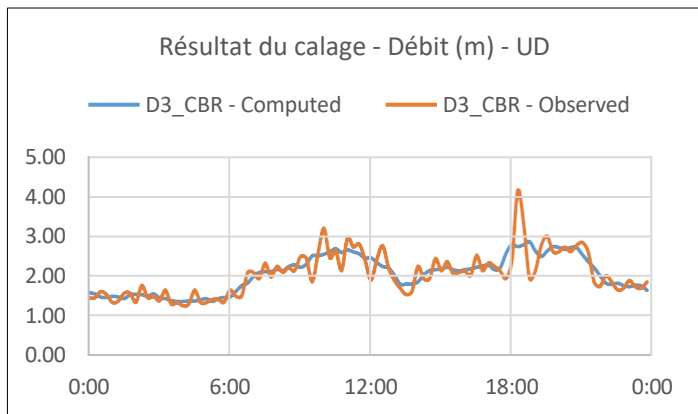
Annexe II : Réseau et points de mesure de l'UD de Champlat et Boujacourt



Annexe 2 : Réseau et points de mesure de l'UD de Champlat et Boujacourt

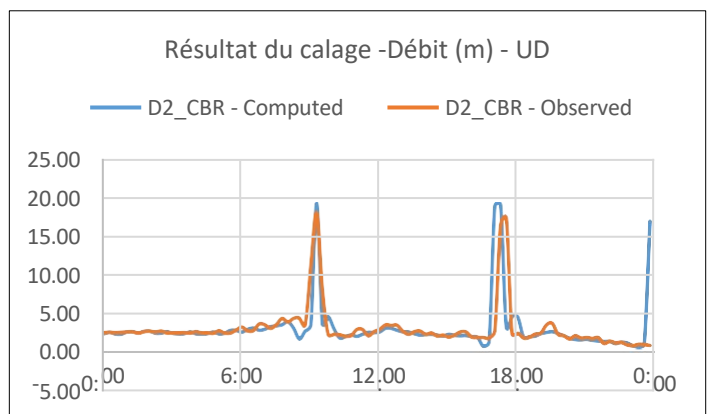
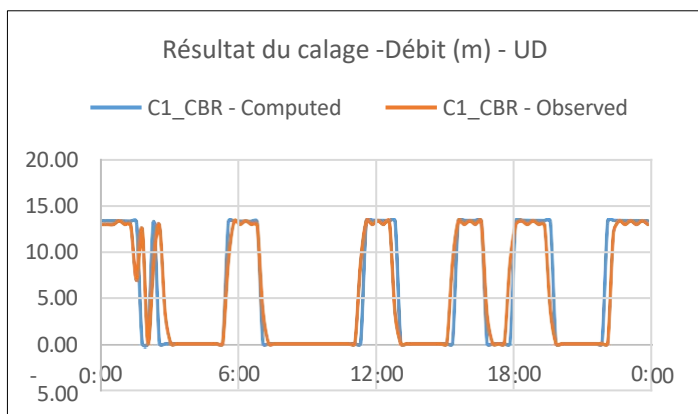
Annexe III : Courbes de calage des débits en vendange, UD Champlat et Boujacourt

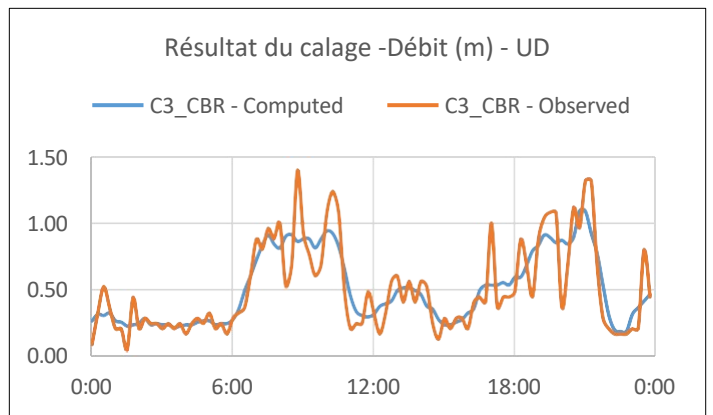
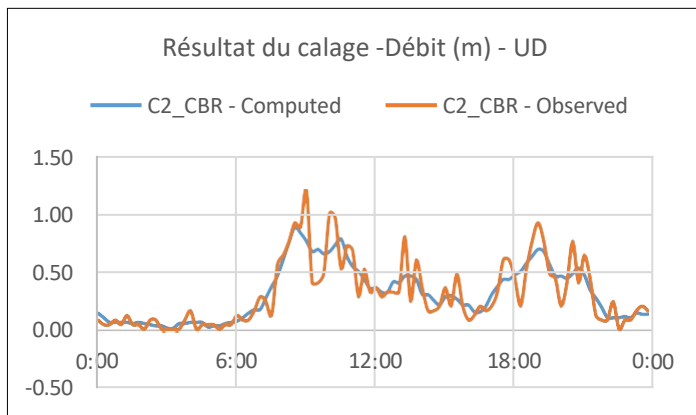
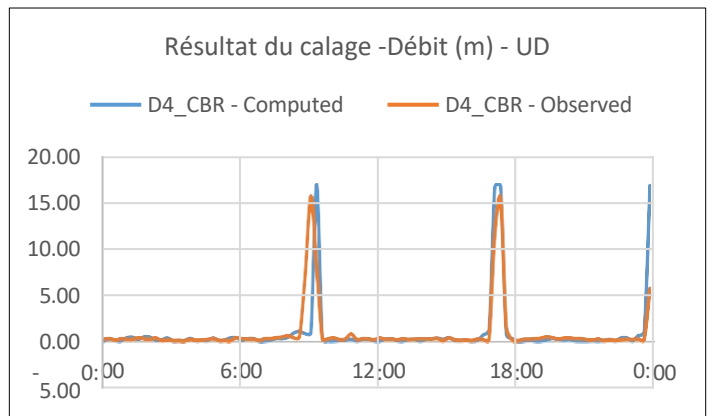
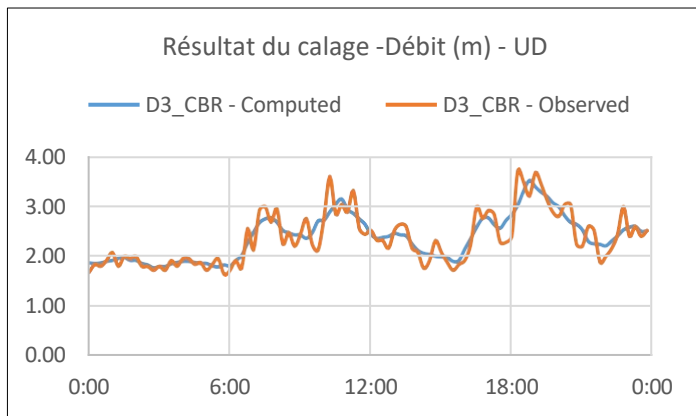




Annexe 3 : Courbe de calage des débits, vendange (Champlat et Boujacourt)

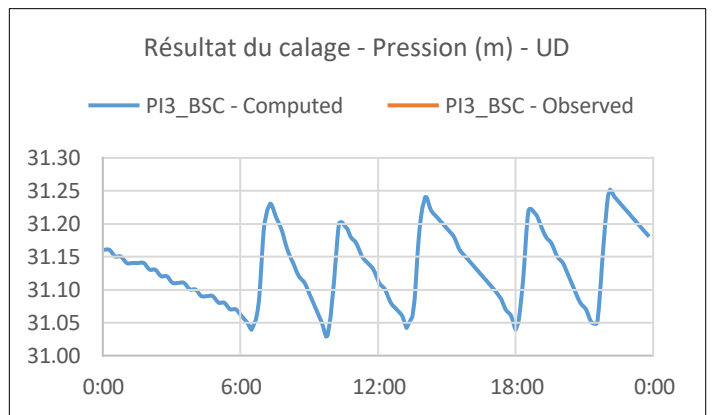
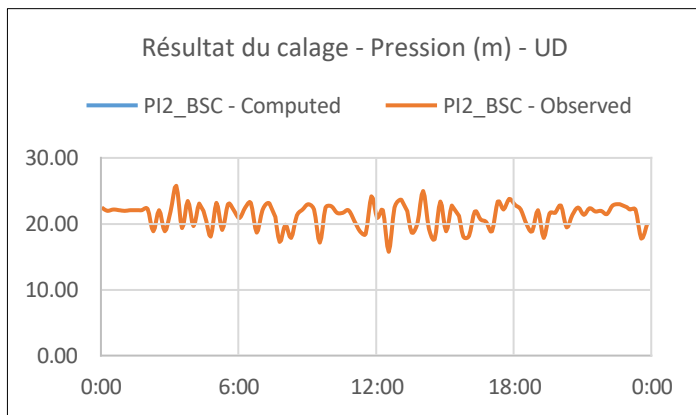
Annexe IV : Courbes de calage des débits hors vendange, UD Champlat et Boujacourt

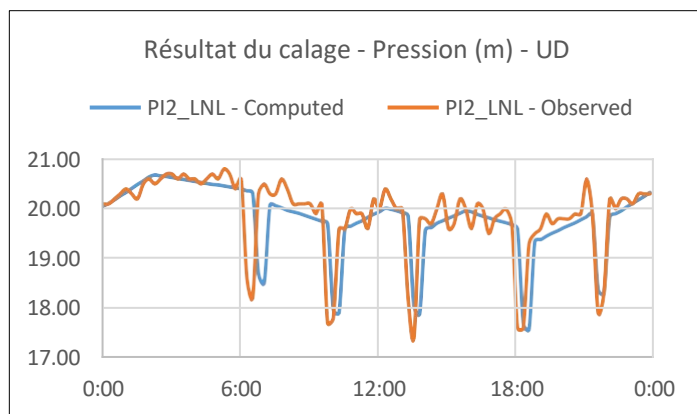
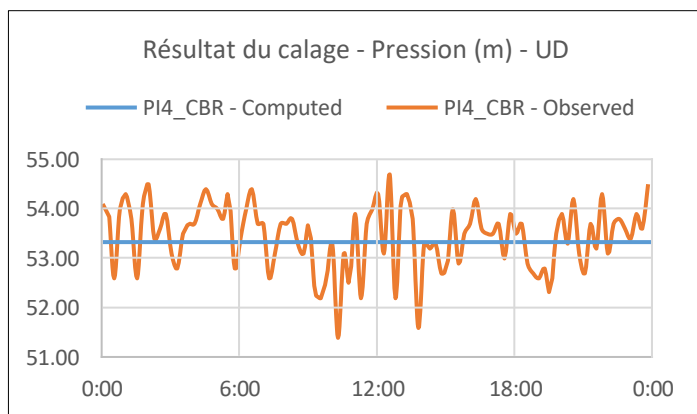




Annexe 4 : Courbe de calage des débits hors vendange (Champlat et Boujacourt)

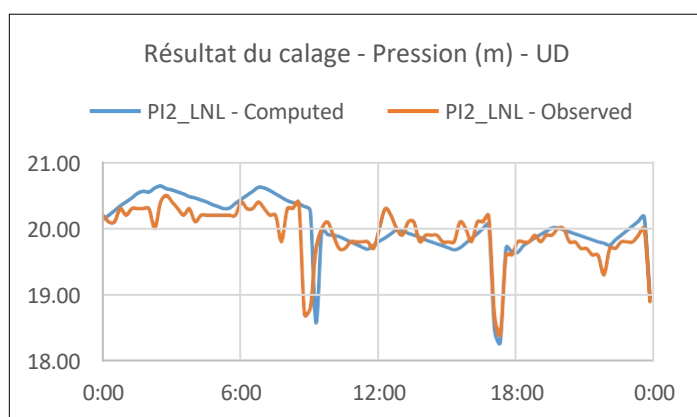
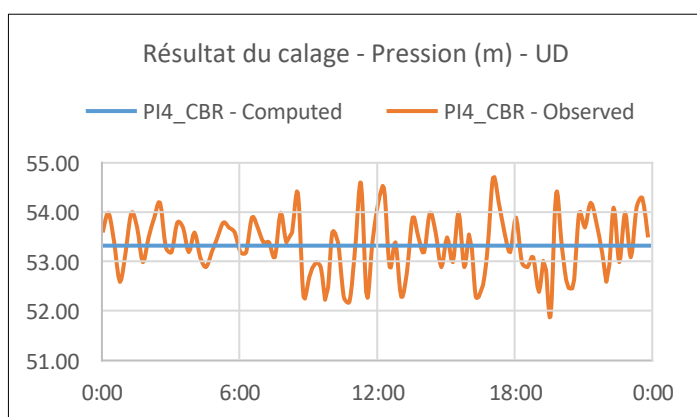
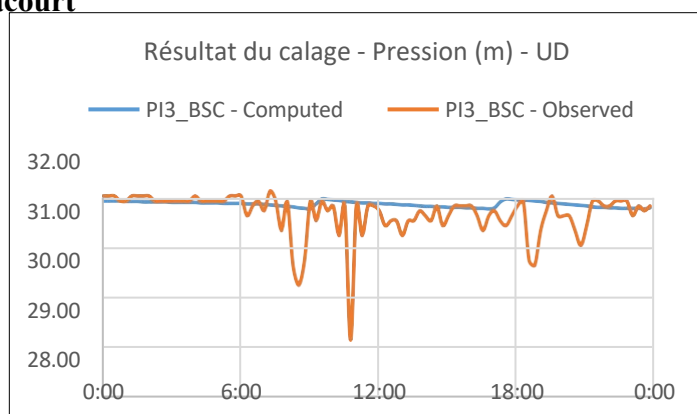
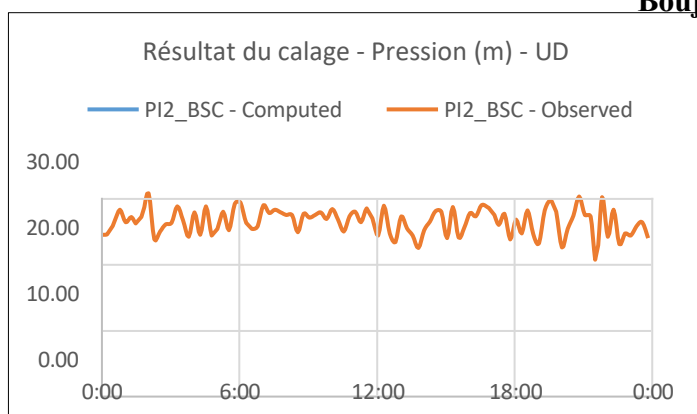
Annexe V : Courbes de calage des pressions en vendange, UD Champlat et Boujacourt





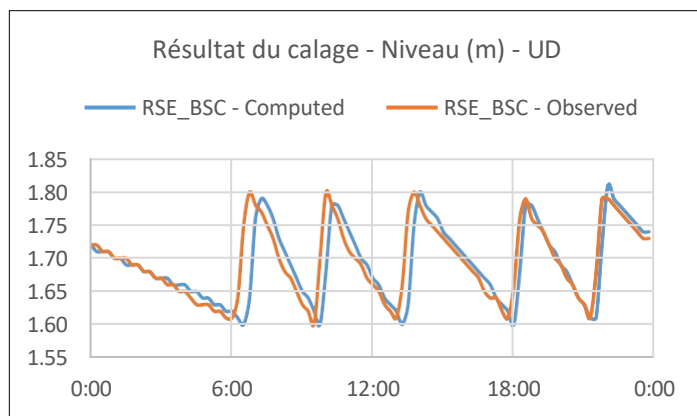
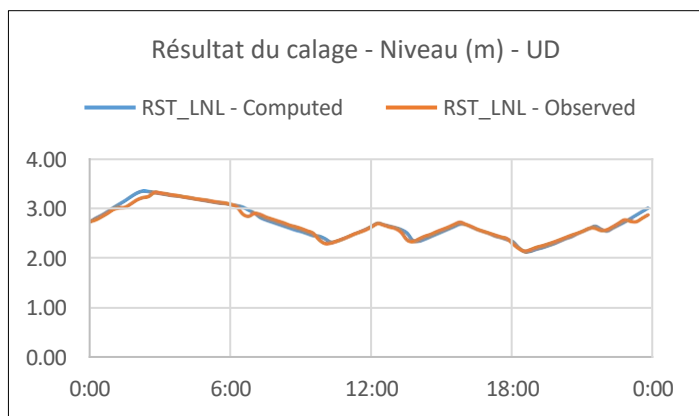
Annexe 5 : Courbes de calage des mesures de pression, vendanges (Champlat-et-Boujacourt)

Annexe VI : Courbes de calage des pressions hors vendange, UD Champlat et Boujacourt



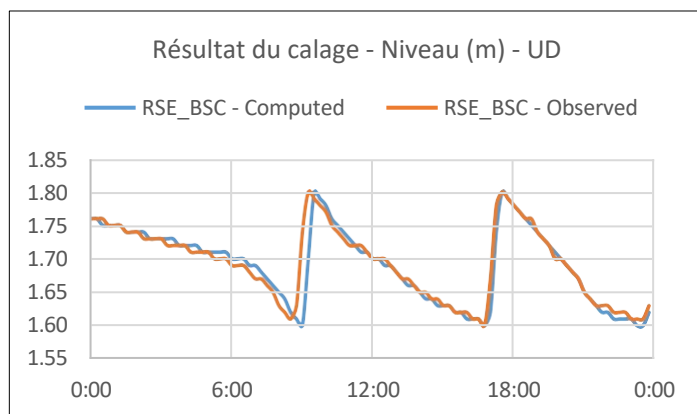
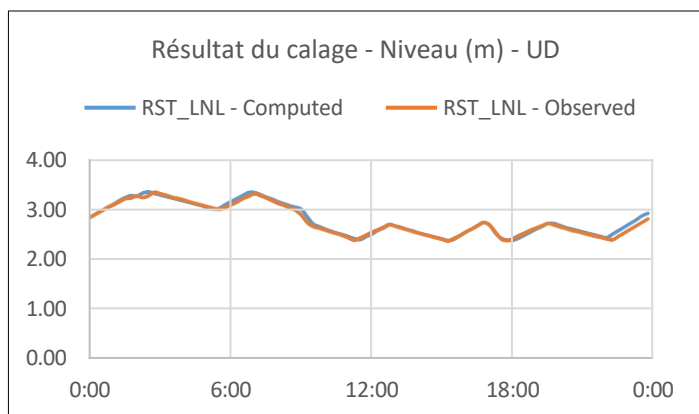
Annexe 6 : Courbes de calage des mesures de pression, hors vendange (Champlat-et-Boujacourt)

Annexe VII : Courbes de calage des marnages en vendange, UD Champlat et Boujacourt



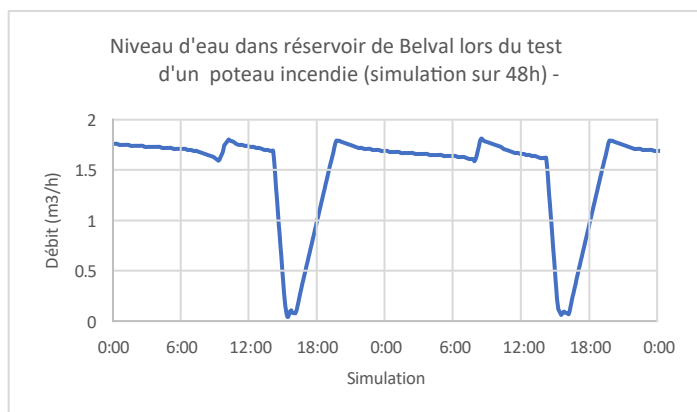
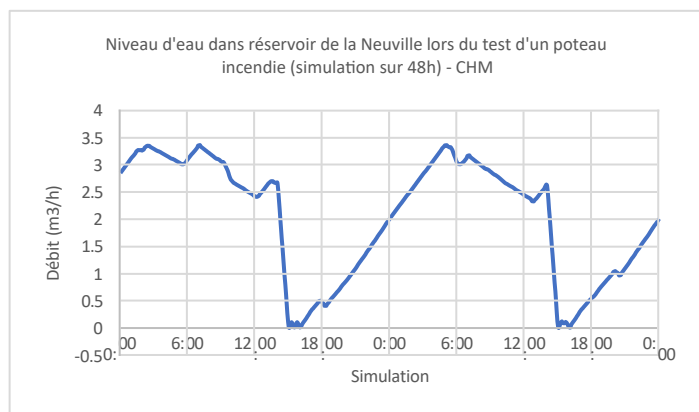
Annexe 7 : Courbes de calage des marnages, vendanges (Champlat-et-Boujacourt)

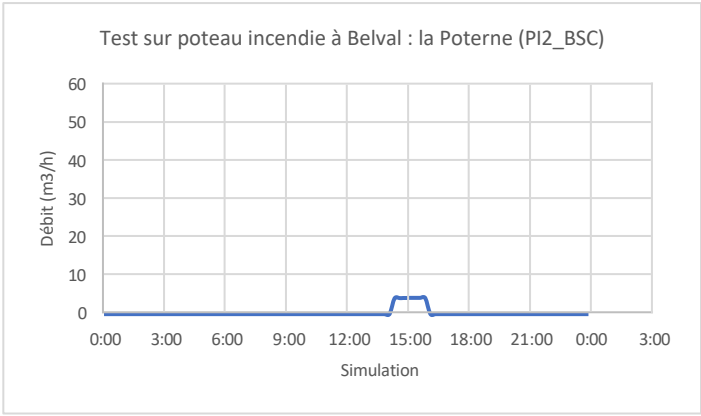
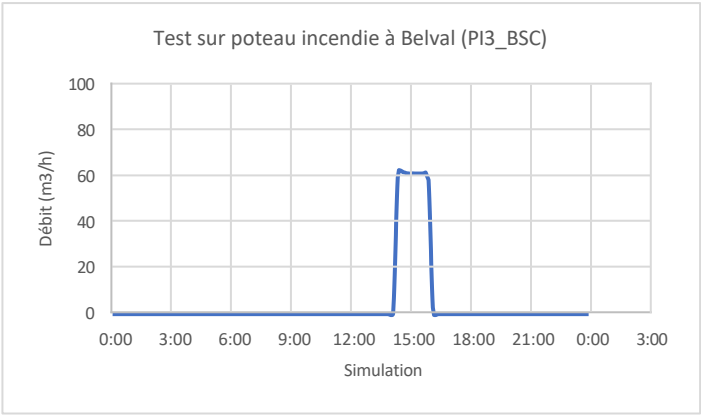
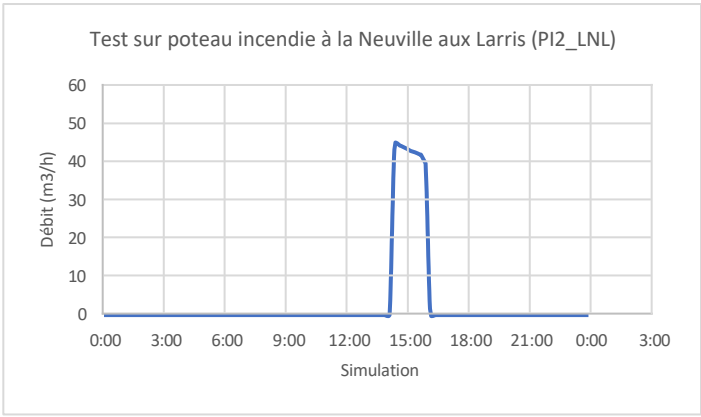
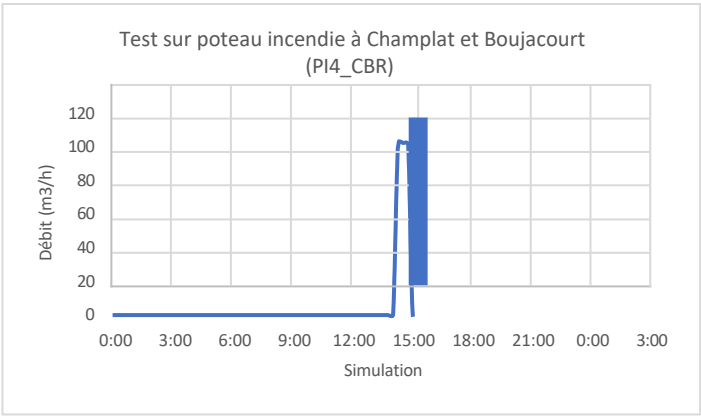
Annexe VIII : Courbes de calage des marnages en vendange, UD Champlat et Boujacourt



Annexe 8 : Courbes de calage des marnages, hors vendange (Champlat-et-Boujacourt)

Annexe IX : Résultat des test incendie, UD Champlat et Boujacourt





Annexe 9 : Résultat des test incendie, UD Champlat et Boujacourt