HAL
open science

Schéma directeur d'alimentation en eau potable : syndicat intercommunal des eaux de Beaufort Sainte-Agnès et environs (Jura)

Sophie Aubry

To cite this version:

Sophie Aubry. Schéma directeur d'alimentation en eau potable : syndicat intercommunal des eaux de Beaufort Sainte-Agnès et environs (Jura). Sciences de l'ingénieur [physics]. 2016. dumas-01581034

HAL Id: dumas-01581034

https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01581034v1

Submitted on 5 Jan 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Schéma directeur d'alimentation en Eau Potable

Syndicat Intercommunal des Eaux de Beaufort Sainte-Agnès et environs (Jura)

Mémoire présenté pour l'obtention du Diplôme d'Ingénieur de l'ENGEES

Maître de stage : Jérémie Rosan
Référent école : Jean Bernard BARDIAUX

AUBRY Sophie
Promotion Stuttgart
2013-2016

Stage réalisé du
4 Janvier au 30 Juin 2016

Sommaire

Sommaire 3
Table des figures 4
Table des tableaux 6
Résumé français 7
Mots clés 7
Abstract 8
Keywords 8
Remerciements 9
Introduction 9
I. Présentation générale de l'étude 10
1. Le bureau d'étude BEREST 10
2. Présentation du contexte d'étude 11
a. Le syndicat 11
b. Captage et distribution 12
II. Campagnes de mesure 13
1. Topographie 13
2. Mesures hydrauliques : provenance 14
a. Télégestion 14
b. Campagne de mesure 14
3. Analyse des mesures 15
a. Marnage des réservoirs 15
b. Pressions statiques 17
c. Compteurs 18
d. Campagne de nuit 19
e. Concentration en chlore 21
III. Modélisation 23
1. Logiciel EPANET 23
2. Equations utilisées 23
a. D'un point de vue hydraulique 23
b. D'un point de vue qualité 24
3. Construction du modèle 24
a. Construction du réseau 25
b. Edition des consommations 29
4. Calage du modèle 31
a. Calage des marnages 31
b. Observation des débits 32
c. Calage des pressions 32
5. Exploitation du modèle 35
a. Situation actuelle 35
b. Situation future 40
IV. Analyse technico économique des travaux envisagés 42
1. Simulation de scénarios de crises et solution envisagée 42
2. Sécurisation de l'alimentation 45
a. Maillage du réseau 46
b. Alimentation depuis la SAUR 48
3. Amélioration du fonctionnement hydraulique 49
a. Réduction des surpressions 49
b. Marnage des réservoirs 50
c. La défense incendie 58
d. Amélioration de la qualité 58

4. Raccordement de la commune d'Augea 59
a. Option 1 : Raccordement d'Augea par le haut du village 59
b. Option 2 : Raccordement d'Augea par le sud 61
5. Sécurisation des sites 63
6. Pérennisation des ouvrages 64
7. Connaissance du réseau 64
8. Gestion du patrimoine, plan de renouvellement des conduites 65
V. Aspects économiques 66
Conclusion 70
Bibliographie 71
Annexes 72
Annexe 1 : Evolution démographique 72
Annexe 2 : Synoptiques issu du logiciel de télégestion 72
Annexe 3 : Courbes de marnage des réservoirs 73
Annexe 4 : Pressions statiques mesurées 77
Annexe 5 : Débits mesurés lors de la campagne 78
Annexe 6 : Concentration en chlore mesurées lors de la campagne de mesures 79
Annexe 7 : Les équations d'EPANET 80
1. Diagramme de Moody et équations d'interpolation 80
2. Pour l'évaluation de la qualité 81
Annexe 8 : Années de pose des conduites 82
Annexe 9 : Informations sur les réservoirs 82
a. Caractéristiques des réservoirs 82
b. Commandes renseignées dans le modèle 83
Annexe 10 : Informations sur les pompes 83
a. Tableau descriptif des pompes 83
b. Courbes caractéristiques des pompes 84
c. Exemples de commandes des pompes 87
Annexe 11 : Edition des consommations 88
a. Listes des gros consommateurs : > 500 m^3/an 88
b. Groupement des consommations par rues 89
Annexe 12 : Résultats du calage 91
a. Courbes de marnage issues du modèle après calage 91
b. Comparaison des débits 93
c. Comparaison des pressions statiques 94
Annexe 13 : Exploitation du modèle 95

Table des figures

Figure 1 : Les implantations de BEREST 10
Figure 2 : Localisation géographique du syndicat 11
Figure 3: Partie fixe (à gauche) - Partie mobile (à droite) 13
Figure 4 : Niveau du réservoir le jour du test (gauche) à l'heure du test (droite) 17
Figure 5 : Zones de surpressions mesurées sur le syndicat 18

Figure 6 : Position des compteurs concernés 21
Figure 7 : Réseau modélisé 25
Figure 8 : Evolution moyenne de la consommation journalière de Bruebach (Haut Rhin) 26
Figure 9 : Courbe de marnage du réservoir de Beaufort (12/02/16 à gauche ; 27/02/16 à droite) 28
Figure 10 : Courbes caractéristiques d'EPANET 29
Figure 11 : Fiche technique correspondant à la pompe pour le bas service 29
Figure 12 : Marnage du réservoir de Gevingey dans le modèle (gauche) et issu de la télégestion (droite) 31
Figure 13 : Marnage du réservoir de Savigny dans le modèle (gauche) et issu de la télégestion (droite) 31
Figure 14 : Chemin préférentiel de l'eau 32
Figure 15 : Nœuds aux grosses consommations 33
Figure 16 : Débit demandé au réservoir de Beaufort 35
Figure 17 : Liens entre temps de séjour EPANET et concentration mesurée en chlore 36
Figure 18 : Pressions pour le bas service 37
Figure 19 : Pressions du haut service 38
Figure 20 : Concentration en chlore du réseau 39
Figure 21 : Niveau d'eau à Sainte Agnès en situation de pointe actuellement (gauche) et avec la pompe préconisée (droite) 40
Figure 22 : Niveau d'eau dans le réservoir de Sainte Agnès en situation future de pointe 41
Figure 23 : Niveau d'eau dans le réservoir de Sainte Agnès en situation future de pointe 41
Figure 24 : Position des casses simulées 42
Figure 25 : Niveau d'eau dans le réservoir de Beaufort en cas de casse 44
Figure 26 : Pressions au sud du haut service en cas de casse entre Sainte Agnès et Vincelles 44
Figure 27 : Tracé de la conduite de maillage 46
Figure 28 : Temps de séjour suite au maillage 47
Figure 29 : Débit dans la conduite d'alimentation du réservoir de Sainte Agnès dans la situation actuelle 47
Figure 30 : Débit dans la conduite d'alimentation du réservoir de Sainte Agnès (gauche) et dans la nouvelle conduite (droite) avec le maillage 48
Figure 31 : Test d'alimentation du syndicat par la SAUR 48
Figure 32 : Débit avec le réservoir de 100 m3 (gauche), de 200 m3 (milieu) et charge dans le réservoir de 200m3 (droite) 49
Figure 33 : Pressions avant (gauche) et après (droite) mise en place des réducteurs de pressions 50
Figure 34 : Marnage du réservoir de Gevingey dans le scénario 1 51
Figure 35 : Pressions à Gevingey avec le réservoir (à gauche) et sans (à droite) 51
Figure 36 : Temps de séjour à Gevingey avec le réservoir (à gauche) et sans (à droite) 52
Figure 37 : Temps de séjour et marnage du réservoir après ajout d'une vanne altimétrique juste à l'amont 53
Figure 38: Temps de séjour à Rotalier après suppression des deux réservoirs 54
Figure 39 : Temps de séjour et pressions à Maynal après diminution de 2 m du niveau de l'eau dans le réservoir bas 55
Figure 40 : Pressions à Maynal après suppression du réservoir bas 56
Figure 41 : Pressions au niveau du quartier de l'Eglise de Maynal après ajout d'un surpresseur 56
Figure 42 : Pressions à Maynal et Augea avec le nouveau réservoir plus haut 57

Figure 43 : Temps de séjour observés après création d'un nouveau réservoir 57
Figure 44 : Tracé de la conduite envisagée pour le raccordement d'Augea 59
Figure 45 : Pressions observées et altitudes le long du tracé envisagé sans le réservoir bas de Maynal 60
Figure 46 : Pressions observées au niveau du point haut d'Augea pour un raccordement en..... 60
Figure 47 : Tracé du raccordement par le sud d'Augea à la station de Maynal..... 61
Figure 48 : Pressions le long de la conduite de raccordement créée..... 62
Figure 49 : Temps de séjour à Maynal et à l'arrivée d'Augea dans le cas du raccordement de cette commune..... 62
Figure 50 : Positions des compteurs à installer..... 64
Figure 51 : Diagramme de Moody [4] 80

Table des tableaux

Tableau 1 : Année de pose du réseau initial 12
Tableau 2: Consommations journalières de certains villages 19
Tableau 3 : Débits de nuit obtenus grâce aux index 20
Tableau 4 : Débits de nuit obtenus grâce aux têtes émettrices..... 20
Tableau 5 : Analyse des variations 20
Tableau 6 : Rugosités de Darcy Weisbach renseignées dans le modèle 26
Tableau 7 : Correspondances diamètre intérieur et extérieur [5] 27
Tableau 8 : Fonctionnement des réservoirs..... 27
Tableau 9 : Volumes consommés SIEA Beaufort..... 30
Tableau 10 : Volumes mis en distribution SIEA Beaufort..... 30
Tableau 11 : Comparaison des vitesses et pressions entre les modèles..... 34
Tableau 12 : Comparaison des pressions à des nœuds précis pour les différents modèles..... 34
Tableau 13 : Comparaison des pressions aux nœuds situés dans les zones aux rugosités doublées... 34
Tableau 14 : Temps de séjour calculés par le modèle..... 35
Tableau 15 : Observation des temps critiques en cas de casse sur la conduite de remplissage 43
Tableau 16: Temps critiques en cas de casse entre le réservoir de Sainte Agnès et Vincelles..... 43
Tableau 17 : Temps critiques en cas de casse entre le réservoir de Sainte Agnès et Vincelles 44
Tableau 18 : Etat actuel des réservoirs 63
Tableau 19 : Coûts des travaux préconisés Sources : Moyenne sur les prix de 4 entreprises ayant répondu à un appel d'offre de BEREST (juin 2016) et consultation d'une responsable commerciale chez HUBER TECHNOLOGY..... 64
Tableau 20 : Coûts moyens des travaux de renouvellement de conduites 65
Tableau 21 : Résultats des tests de pressions statiques 77
Tableau 22 : Mesures de débits par suivi d'index..... 78
Tableau 23 : Mesures de débits par têtes émettrices..... 78
Tableau 24 : Concentrations en chlore libre au niveau des PI 79
Tableau 25 : Caractéristiques des pompes et surpresseurs..... 83

Résumé français

Schéma directeur d'alimentation en Eau Potable du SIEA de Beaufort Sainte-Agnès et environs (Jura)

Ce rapport présente le travail réalisé dans le cadre de l'élaboration d'un schéma directeur d'alimentation en eau potable dans le Jura. Le syndicat concerné est le syndicat des eaux de Beaufort Sainte-Agnès et environs. L'objectif de cette étude est de fournir un rapport présentant le fonctionnement du réseau, sa modélisation et les résultats tirés de son exploitation, les travaux envisagés et modélisés et leurs coûts avec en dernier lieu le calcul de l'impact de ceux-ci sur le prix de l'eau.

Afin de réaliser la modélisation, des campagnes de mesure (hydraulique et topographique) ont été réalisées et analysées ainsi que des données de la télégestion PERAX. Le logiciel de modélisation EPANET a été utilisé à la demande des membres du syndicat. Il s'avère que le principal défaut du réseau réside dans ses temps de séjour qui sont très importants. C'est ce qui fait l'objet de la majorité des travaux proposés. Un autre type de travaux proposé est le raccordement d'une commune voisine, qui fera bientôt partie du syndicat et dont la source est parfois turbide.

L'objectif principal des travaux proposés est d'améliorer le fonctionnement hydraulique du réseau et, en particulier, la qualité de l'eau distribuée. Le respect du plan Vigipirate a également fait l'objet d'une attention particulière. Les autres travaux consistent essentiellement à renouveler le patrimoine afin d'améliorer le fonctionnement général. Ceci permet de limiter les casses mais également de rénover les ouvrages pour garantir la sécurité du personnel lorsque ceux-ci s'y rendent.

Mots clés

Schéma directeur, eau potable, topographie, chlore, sécurité incendie, modélisation, EPANET, Jura, BEREST

Abstract

Master plan of water supply of Beaufort Sainte-Agnès (Jura)

This thesis presents the results of a master plan of drinking water study in Jura. This study has been ordered by the « Syndicat des eaux de Beaufort Sainte-Agnès et environs ». The purposes of this study are to develop how the drinking water network functions, to model it and to analyze the results in order to list possible improvements, estimate their costs and provide the impact on the water price.

To create the computer modele, hydraulic and topographic measurement campaign and teleprocessing data were analysed and used. The modeling software used is an american software, named EPANET, chosen by the water syndicate. It turns out that the main defect of the network lies in its residence time which is very important. This is the subject of the majority of the proposed work. An other type of work proposed is the connection of a neighboring town, which will soon be part of the syndicate and which have sometimes problems of turbidity.

The main objective of the solutions is to improve the functioning of the network, mainly the quality of the water supplied. In parallel, another suggestion is to renew the heritage in order to improve operation of the network by decreasing leaks occurrence and also by ensuring security of the people working in water tower. The respect of the Vigipite plan was also a priority.

Keywords

Master plan, drinking water, topography, chlorine, fire security, modeling, Jura, BEREST.

Remerciements

Je remercie principalement mon maître de stage Jérémie Rosan qui m'a permis de réaliser ce stage dans de très bonnes conditions d'encadrement, de découvrir différentes tâches quotidiennes des ingénieurs et de réaliser des travaux variés et intéressants.

Je remercie également le directeur d'agence Mr Boltz qui a accepté que mon stage se déroule dans son antenne et également Fabien et Benoit que j'ai été amenée à côtoyer au quotidien et qui m'ont fait profiter de leurs connaissances.

Enfin, merci à Jean-Bernard BARDIAUX mon référent de l'école pour le conseil qu'il m'a fourni lorsque j'ai été amenée à le solliciter.

Introduction

Ce rapport présente une étude effectuée sur le syndicat des eaux de Beaufort Sainte-Agnès et environs. Celle – ci a pour objectif principal la réalisation d'un programme de travaux répartis sur 20 ans, dans le but d'aider le syndicat à améliorer le fonctionnement de son réseau.

Tout d'abord, le bureau d'études BEREST et le syndicat seront brièvement présentés. Ensuite, les différentes campagnes de mesures et les analyses des informations en résultants seront exploitées afin de mettre en évidence le fonctionnement du réseau, ses atouts et ses faiblesses. Puis, nous présenterons le logiciel de modélisation EPANET, la construction du modèle, son calage et les résultats issus de son exploitation. Une analyse technique et un chiffrage des travaux envisagés, ainsi que leur modélisations lorsque cela est possible, seront alors réalisés. Finalement, le phasage des travaux sera établi et l'aspect économique seront mentionnés. Par la suite l'impact sur le prix de l'eau sera calculé.

I. Présentation générale de l'étude

1. Le bureau d'étude BEREST

BEREST (Bureaux d'Etudes Réunis de l'Est) a été fondé en 1959 par la fusion de cabinets d'ingénieurs-conseils. Ses secteurs d'activités, nombreux et variés, concernent tous types d'infrastructure allant de l'alimentation en eau potable aux infrastructures des zones d'habitation et d'activité en passant par l'assainissement ou encore la voirie.

En 2015, le groupe comptait 140 personnes réparties dans différentes antennes [Figure 1] et son siège social est basé à Illkirch-Graffenstaden près de Strasbourg. En 2013, le chiffre d'affaire de la société était d'un peu plus de 10 millions d'euros.

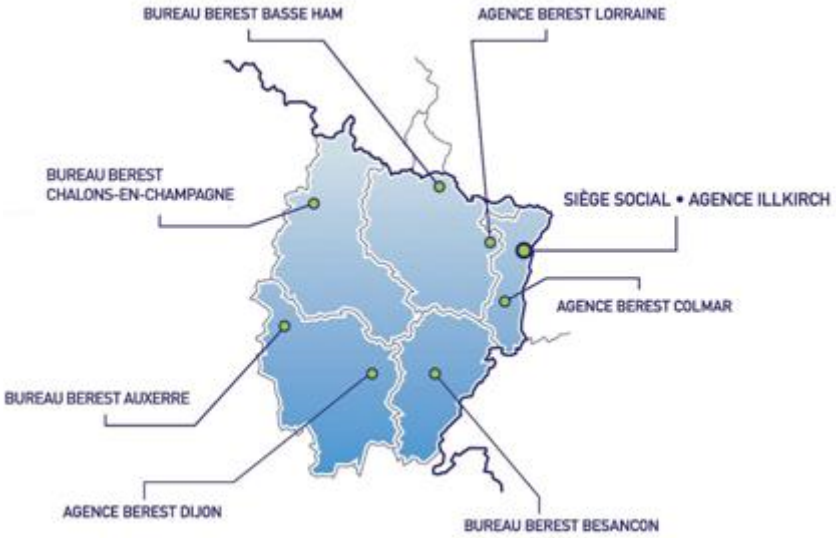


Figure 1 : Les implantations de BEREST

En 2014, BEREST a été retenu pour réaliser le schéma directeur du groupement des syndicats des eaux de Beaufort-Sainte Agnès, Rosay-Gizia-Cuisa et de la commune d'Augea. Ces trois entités se sont groupées pour effectuer une demande de réalisation de schéma directeur d'alimentation en eau potable de manière à obtenir plus de subventions du département du Jura. Les objectifs de l'étude, recensés dans le cahier des clauses techniques particulières sont les suivants :

- Mettre à jour les plans du réseau à l'échelle cadastrale
- Connaître l'état patrimonial et le fonctionnement hydraulique des différents ouvrages pour identifier leurs éventuels dysfonctionnements
- Connaître les indicateurs de performances demandés par le RPQS (le rendement en particulier)
- Evaluer les mesures mises en place par la collectivité pour distribuer une eau de qualité (traitement, auto-surveillance, entretien …)
- Vérifier l'adéquation besoin/ressource actuellement et pour le futur, et la fiabilité de l'approvisionnement en terme qualitatif et quantitatif

- Etablir un programme de travaux et de renouvellement sur la totalité des ouvrages d'alimentation en eau potable, hiérarchisé selon les priorités, dans le but de fournir un outil de programmation des investissements à long terme permettant d'assurer une quantité et qualité d'eau pérenne.
- Proposer une modélisation qui permettra à la collectivité de mettre à jour, chaque année, les travaux réalisés sur les réseaux ainsi que les données acquises pendant l'année
- Analyser l'équilibre budgétaire, proposer des moyens d'autofinancement et évaluer l'impact des travaux de renouvellement sur le prix de l'eau
-

2. Présentation du contexte d'étude

a. Le syndicat

Seul le SIEA de Beaufort Sainte Agnès et environs fera l'objet de ce rapport. Il est situé en partie dans le Jura et en partie en Saône et Loire et se compose de treize communes comptant au total 5 194 habitants en 2013 (INSEE [1]) soit 2907 abonnés en 2014. Le syndicat s'étend sur 8 989 hectares de moyenne à basse altitude : 574 m pour les points les plus hauts à 188 m pour Savigny en Revermont. Ses communes sont pour la majorité de petites tailles et très rurales [Annexe 1: Evolution démographique]. L'exploitation du réseau d'eau potable est assurée en régie, le président du syndicat est Jean Pierre GUILLEMENEY et le technicien est Julien Camus.

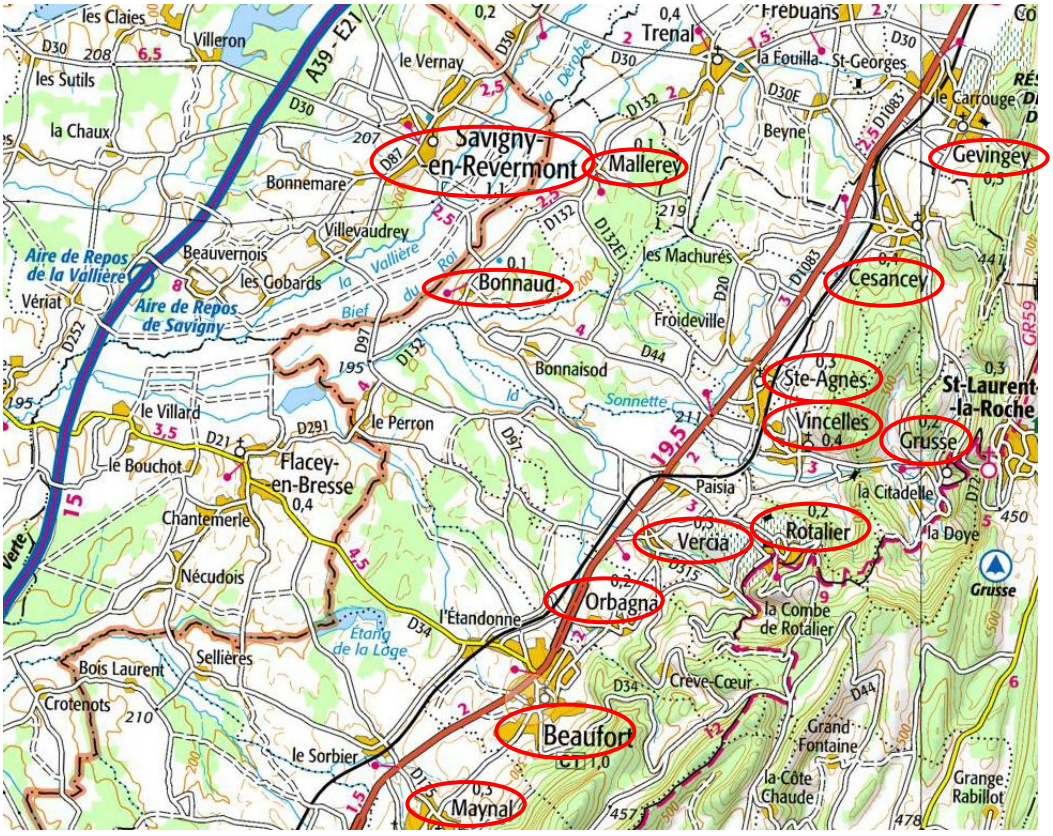


Figure 2 : Localisation géographique du syndicat

b. Captage et distribution

L'unique ressource du syndicat est un captage au champ captant de Bonnaud situé sur la commune de Savigny en Revermont. Il est actuellement composé de 2 puits, en service depuis 1950 pour le plus vieux, soumis à autorisation préfectorale depuis le 29 juin 2011. Cette ressource présente de fortes concentrations en fer et manganèse mais respecte les normes de potabilité. Un pilote est actuellement expérimenté pour palier à ce problème.

Au niveau de la station de pompage située également à Savigny, l'eau est traitée par chloration. Le principe de la chloration est le suivant : lorsque les pompes de la station se mettent en marche, une vanne électromotrice s'ouvre vers un tuyau de petit diamètre dans lequel a lieu une injection de chlore. L'eau chlorée est alors amenée dans la bâche de 120 m^3 où l'eau sera pompée.

L'eau est alors pompée vers les réservoirs de Savigny et Bonnaud pour alimenter le bas service par le biais de 2 pompes de 40 m^3/h fonctionnement en alternance et vers le haut service au débit de 85 m^3/h. Le bas service ne concerne que Savigny en Revermont, ses nombreux hameaux et Bonnaud. Le syndicat est doté de 9 réservoirs pour un volume total de 2 950 m^3. Pour assurer la fiabilité de la distribution, 5 bâches de reprise et de surpression sont nécessaires.

Le réseau mesure plus de 120 km linéaires composés à près de 60 % de fonte et 38% de PVC. L'indice linéaire de consommation est de 6,34 m^3/j/km ce qui caractérise un réseau rural. Les conduites sont assez âgées sur l'ensemble du syndicat avec des différences assez importantes entre les villages [Tableau 1]. Cependant, sur l'ensemble du syndicat, les canalisations en fonte de 200 mm de diamètre ont été posées il y moins de 15 ans et dans certaines zones, des travaux de rénovation ont eu lieu. Actuellement, le rendement net du réseau est de 78% et 73.77% pour le primaire. Le rendement primaire correspond au rapport du volume comptabilisé sur le volume mis en distribution. Le rendement net compte aussi au numérateur les volumes consommés sans comptage et les volumes de service correspondant aux purges, au nettoyage etc

Village	Année de pose du réseau
Gevingey	1969
Cesancey	1957
Saint Agnès	1956
Vincelles	1955
Grusse	1961
Vercia + Paisia	1957
Rotalier	1975
Orbagna	1957
Beaufort + Vincelles	1955
Maynal + Sorbier	1904
Seillères (Maynal)	1980
Savigny	1958
Les hameaux de Savigny	1973-1977

Tableau 1 : Année de pose du réseau initial

II. Campagnes de mesure

1. Topographie

Les levés topographiques ont été effectués avec un matériel de marque Leica. Ce système est basé sur la réception de signaux GPS reçu par une station fixe [Figure 3] et par un récepteur mobile positionné sur chacun des points dont la position est souhaitée [Figure 3]. La station fixe envoie alors, par radio, les données qu'elle a reçues à la partie mobile. Ceci permet au boitier contrôleur de calculer les coordonnées du point mobile par juxtaposition des informations reçues d'une part par la partie fixe et d'autre part par les satellites.

Les points dont les positions ont été relevées correspondent aux Tés, aux points hauts et bas, aux vannes de purge et autres obstacles du réseau modélisé. Seules les altitudes de ces points avaient un intérêt puisqu'une carte avait déjà été réalisée avec des coordonnées en x et y d'une précision suffisante.

Figure 3: Partie fixe (à gauche) - Partie mobile (à droite)

La difficulté de cette tâche réside dans le fait que les signaux des satellites sont difficilement captés par le récepteur mobile lorsque le point à lever se situe entre les bâtiments. Il est nécessaire de placer la station fixe à un endroit aéré et éloigné de tous obstacles de types arbres, bâtiments, poteaux électriques etc et de préférence surélevé.

La portée du signal émis par la station étant de 2 km, il a été nécessaire de positionner de nombreuses stations pour couvrir la totalité des 9 000 hectares du syndicat. Lors du changement de position de la station, un décalage a lieu avec les stations précédentes. Afin de les corriger, trois points communs sont levés avec 2 stations consécutives. Les données collectées sont alors exportées au format dwg qu'il est possible de lire avec Autocad ou Mensura et l'ajustement et le récolement des levers est alors réalisé sur MENSURA en x, y et z.

La précision en altitude lors d'un lever est de 1 à 2 cm et de 2 à 2,5 cm en x et y, lorsqu'une seule station suffit. Lors du récolement des levers entre 2 stations, la précision altimétrique passe à 5

cm. Le résultat final qui nous intéresse est une carte donnant les altitudes de chaque point avec une précision de 10 cm.

Les altitudes de points ngf sont également mesurées lors des levés topographiques [2]. Ainsi il est possible de réajuster toutes les altitudes en altitudes ngf. Les altitudes finales correspondent donc aux cotes ngf du sol le long du tracé des canalisations. De manière à obtenir les bonnes altitudes relatives, les cotes du radier des réservoirs doivent être augmentées d'une hauteur correspondant à l'enfouissement du réseau. En effet, les réservoirs ne sont pas enterrés. Une profondeur d'enfouissement moyenne de un mètre pour l'ensemble du réseau a été considérée.

2. Mesures hydrauliques : provenance

Les mesures, exploitées dans ce rapport, serviront en partie par la suite pour caler le modèle hydraulique demandé. De manière à réduire les coûts liés à la campagne de mesure, les données issues de la télégestion du syndicat ont été récupérées et utilisées au maximum. Pour les mesures n'étant pas suivies par télégestion, BEREST a fait appel à un sous traitant alsacien : la société PAPERI Environnement & Mesures.

a. Télégestion

Les données de la télégestion ont été récupérées sur une durée comprenant la période de la campagne de mesure soit du 10 février au 2 mars 2016. Le système de télégestion du syndicat de Beaufort Saint Agnès et environs est un appareil de marque Perax [Synoptique en 0].

Les données issues de la télégestion et exploitées dans ce rapport sont les suivantes :

- Marnage des réservoirs sauf Bonnaud
- Marnage des bâches de reprise à la station de pompage de Savigny
- Ouverture de la vanne altimétrique de Gevingey
- Temps de marche des pompes de Gevingey et Maynal
- Temps de marche des pompes à la station de pompage pour le haut et le bas service

Le pas de temps des marnages issus de la télégestion est de 15 minutes. Les données de la télégestion indiquent la hauteur d'eau dans le réservoir en fonction du radier.

b. Campagne de mesure

Elle s'est déroulée du 15 février au 2 mars 2016. Elle concerne :

- Le marnage des réservoirs de Bonnaud et Rotalier bas.
- 30 mesures de pressions statiques au niveau de poteaux incendies
- Les mesures de débits et volumes sur 24 compteurs
- 3 mesures de chlore au niveau des mêmes PI

Le pas de temps des mesures de marnage issues de la campagne est d'une minute ce qui est extrêmement précis. Les mesures initiales étaient données en fonction de l'altitude du palier pour Bonnaud et de la trappe supérieure pour Rotalier.

3. Analyse des mesures

a. Marnage des réservoirs

i. Sainte-Agnès

Le réservoir de Sainte Agnès est alimenté directement par des pompes situées à la station de pompage de Savigny par une conduite de diamètre 200 mm et de plus de 5 km. Le fonctionnement des pompes est commandé par le niveau dans le réservoir. Lorsque celui-ci descend plus bas que 3,6 m, les pompes se mettent en marche et elles s'arrêtent lorsque le niveau atteint 4,1 m [Annexe 3 - 3]. Ces informations ont été extraites des courbes de télégestions.

ii. Gevingey

Sur la courbe de marnage du réservoir de Gevingey, deux phénomènes différents apparaissent : d'une part l'action d'une vanne électrique réglée par programmateur horaire, d'autre part l'action d'une vanne altimétrique [Annexe 3 - 1].

Le comportement de la vanne altimétrique a été recueilli grâce à la télégestion. Une analyse précise des valeurs de hauteur d'eau dans le réservoir permet de voir que la vanne se ferme lorsque le réservoir atteint une hauteur de 4,08 m et s'ouvre lorsque le niveau atteint 3,48 m. Cette vanne permet un marnage de près d'un mètre du réservoir ce qui améliore considérablement son fonctionnement et la qualité de l'eau qu'il contient.

En zoomant sur le marnage d'une journée, les horaires d'asservissement de la vanne programmée sont retrouvés [Annexe 3 - 1]. Le réglage observé sur le terrain était que la vanne était ouverte de 12h à 15h et de minuit à 3h. D'après les données de télégestion, une différence est observée puisque la vanne semble ouverte de 10h30 à 13h45 et de 22h30 à 2h. Ceci s'explique certainement d'une part par le réglage approximatif de l'horloge qui était horaires et d'autre part par le pas de temps de la télégestion qui est de 15 minutes.

iii. Beaufort

Le réservoir de Beaufort marne une fois par jour et la figure de marnage journalière présente deux phases de vidange [Annexe 3 - 1]. Le marnage de ce réservoir est dû à l'action d'une vanne programmée. Les horaires observés sur le terrain étaient : vanne fermée de 11h à 15h30 et de 19h à 21h. D'après les données de télégestion, la vanne semble plutôt fermée de 10h15 à 15h20 et de 18h à 20h.

iv. Rotalier

A Rotalier, le réservoir haut alimente celui du bas qui fait office de brise charge. Sur la conduite d'arrivée du réservoir bas se trouve une vanne asservie par un robinet à flotteur ce qui explique la faible hauteur de marnage [Annexe 3 - 4].

Le remplissage du réservoir haut de Rotalier a lieu lorsque les pompes situées au niveau du surpresseur situé en bas du village se mettent en route. Les pompes sont asservies au niveau d'eau dans le réservoir. D'après les données de télégestion, elles se mettent en route lorsque les niveaux haut et bas atteignent respectivement 4,96 m et 4,56 m environ [Annexe 3 - 0].

v. Maynal

En ce qui concerne le fonctionnement des réservoirs de Maynal, les pompes situées à la station de pompage de Maynal remplissent le réservoir haut qui se déverse dans le réservoir bas d'une part et alimente l'Eglise d'autre part. Le réservoir bas quand à lui alimente le bourg. Ce dernier est régulé par un robinet à flotteur, de ce fait il marne très peu.

La courbe de marnage du réservoir haut met en évidence deux fonctionnements différents en fonction des horaires de jour et de nuit d'ERDF [Annexe 3 - 6].

Une analyse de la courbe indique que les horaires de jour sont de 7h à minuit. Entre 7h et minuit, le niveau du réservoir est dans la partie basse. Le niveau bas est alors à 1,5 m et le niveau haut à 1,83 m. Ceci permet de diminuer au maximum le fonctionnement de la pompe durant les heures pleines. A minuit, les pompes se mettent en marche jusqu'à ce que le réservoir soit plein et atteigne donc un niveau haut à 2,4 m. La nuit, les pompes se mettent en marche dès que le réservoir atteint un niveau inférieur à 2,35 m ce qui permet d'avoir un réservoir plein à 7h [Annexe 3 - 6].

vi. Savigny en Revermont

Le réservoir de Savigny est remplit depuis la station de pompage de Savigny par des pompes qui alimentent également celui de Bonnaud. La courbe de marnage de Savigny présente comme le réservoir de Maynal un profil de jour et un profil de nuit. La journée : de 6h à 22h, le fonctionnement des pompes est minimisé et celles-ci maintiennent un niveau compris entre 4,5 et 4,9 m environ. A 22h, les pompes remplissent le réservoir et maintiennent un niveau haut compris entre 6,18 et 5,97m, ainsi le réservoir est plein au début des horaires de jour [Annexe 3 - 0].

vii. Bonnaud

Le réservoir de Bonnaud est alimenté soit par les pompes à la station de Savigny lorsque celles-ci sont en marche, soit directement par le réservoir de Savigny. Le niveau de ce réservoir est maintenu quasiment constant grâce à un robinet à flotteur commandant la fermeture de sa conduite d'alimentation. Aussi, sur une journée, la vanne s'ouvre et se ferme de très nombreuses fois [Annexe 3 - 7].

viii. Bâche Bonnaud

Le niveau dans la bâche de Bonnaud est quasiment constant puisqu'il est maintenu par un robinet à flotteur. Entre le 24/02 et le 26/02, on remarque que la bâche s'est vidée anormalement [Annexe 3 - 9]. Ce comportement inhabituel se retrouve également sur les réservoirs de Savigny et principalement Saint Agnès. Ceci s'explique par le nettoyage de ce réservoir qui a été effectué à cette date.

b. Pressions statiques

Il a été choisi de tester 2 poteaux incendies par village dans la mesure du possible et un peu plus à Beaufort et Savigny qui sont les plus grands villages du syndicat. Les poteaux incendies, au niveau desquels des tests de pression ont été réalisés, ont été choisis de manière à obtenir une information de pression à un point haut et à un point bas des villages lorsque leurs positions le permettaient. Les pressions statiques ont été mesurées le 1er mars au niveau de poteaux incendies situés dans les villages du syndicat. [Annexe 4 et Plan Autocad].

Les pressions dans le réseau doivent idéalement être comprises entre 2 et 6 bar sous peine de créer des dégâts dus à des surpressions, au niveau des chaudières par exemple, ou d'observer des pressions insuffisantes au robinet des abonnés.

Un seul poteau présente une pression insuffisante. Il est situé à Gevingey à proximité du réservoir. Nous avons cherché le niveau du réservoir à la date et à l'heure du test effectué [Figure 4]. Il apparait qu'au moment du test, le réservoir était à un niveau relativement bas. Ceci ne se produit que pendant 2 jours tous les 10 jours environ. La pression au niveau de ce poteau n'est donc pas inquiétante même si durant un cinquième du temps elle est légèrement en dessous de 1,5 bar.

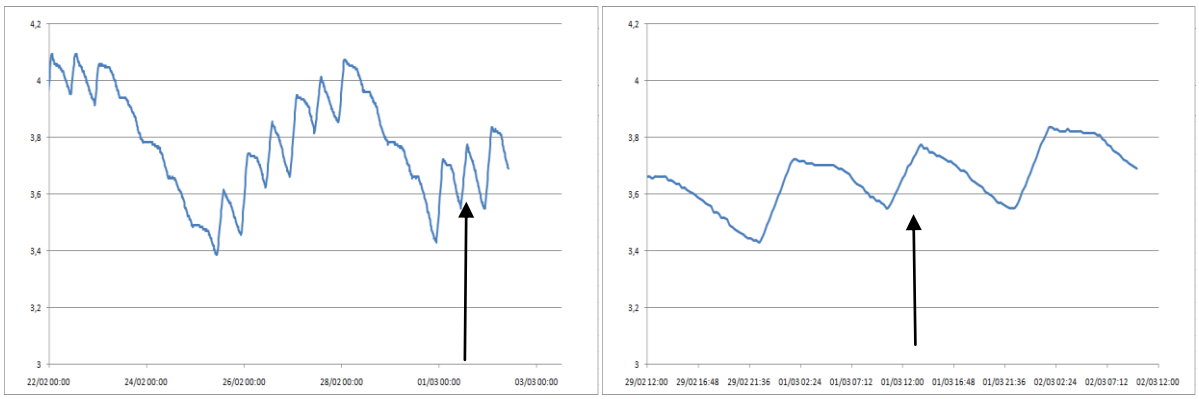


Figure 4 : Niveau du réservoir le jour du test (gauche) à l'heure du test (droite)

D'autres plaintes indiquent des pressions faibles au niveau des robinets des abonnés sur le haut de Maynal où les pressions n'ont pues être mesurées du fait de l'absence d'hydrants.

En ce qui concerne les surpressions, elles sont beaucoup plus nombreuses (en rouge dans le tableau de l'Annexe 4) et plus inquiétantes. Il s'agit essentiellement des zones alimentées gravitairement par le réservoir de Saint Agnès :

- Saint Agnès et les Machurés
- Vercia et Paisia
- Orbagna et le Nord de Beaufort [Figure 5]

La ville de Beaufort est préservée en partie par l'action de son réservoir qui brise la charge dans la ville. Cependant, le Hameau de l'Etandonne qui est plus bas que le reste du village mais aussi très certainement toute la conduite jusqu'à la ferme du bois de Beaufort subissent également des surpressions dues au réservoir de Beaufort et/ou celui de Saint Agnès.

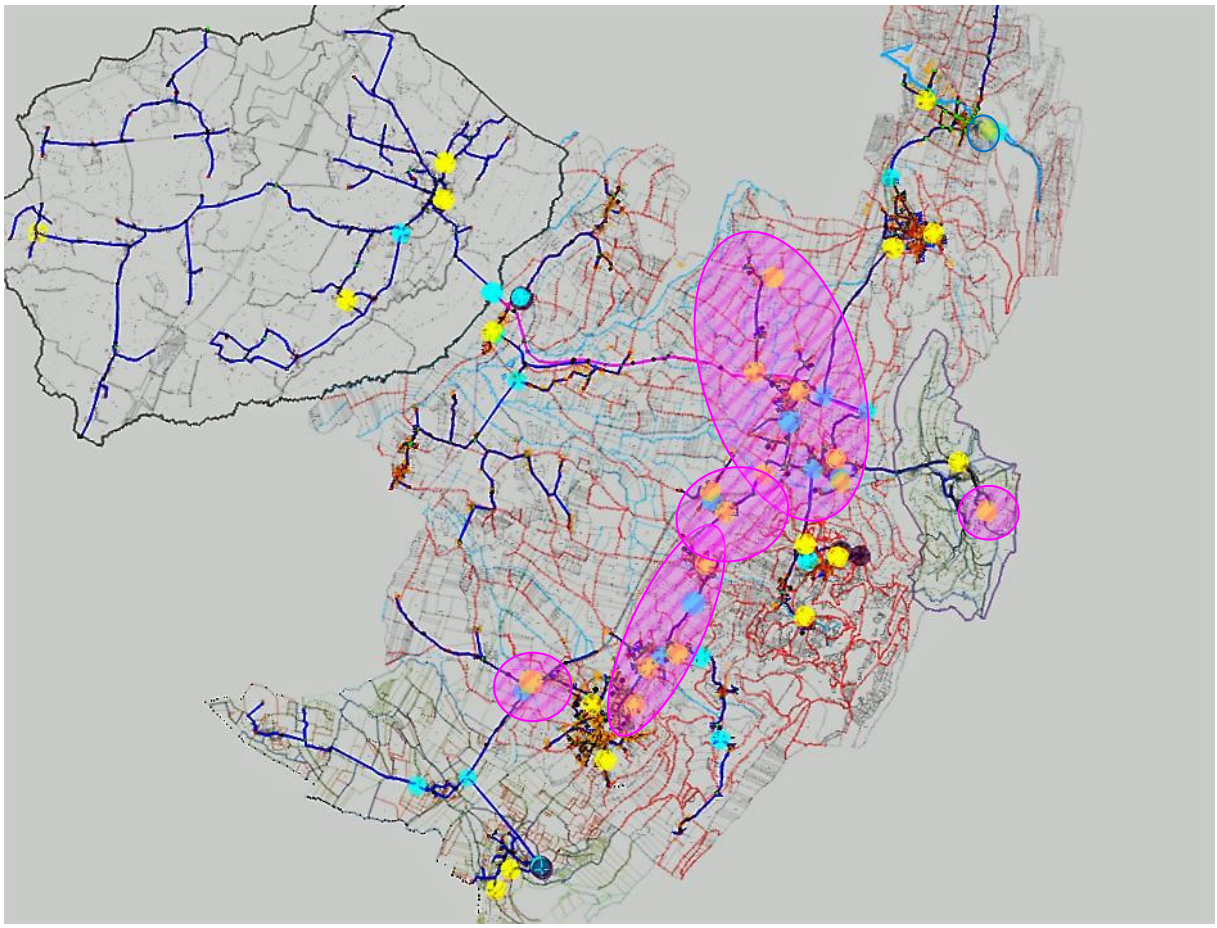


Figure 5 : Zones de surpressions mesurées sur le syndicat

c. Compteurs

Les compteurs suivis lors de la campagne ont été choisis de manière à sectoriser au mieux la zone, de manière à comprendre le sens de circulation de l'eau et à mettre en évidence d'éventuelles fuites. En ce qui concerne les mesures de débit aux compteurs, une difficulté a été rencontrée car certains compteurs, situés dans des regards régulièrement inondés, étaient équipés d'un système permettant la lecture déportée de l'index. Or, il était alors impossible d'équiper ces compteurs de têtes émettrices. Aussi, pour ceux-ci, deux relevés journaliers d'index ont été réalisés durant la semaine de campagne de mesures.

Les valeurs des compteurs ont donc soit été suivis en continu du 15 au 24 février grâce à des têtes émettrices placées sur les compteurs, soit par relève journalière d'index du 16 au 25 février [Annexe 5]. Une analyse des valeurs mesurées sur les différents compteurs permet d'obtenir les consommations journalières moyennes durant la période de mesure de différents secteurs, soit directement, soit en effectuant une simple soustraction de deux volumes.

Villages	Volume consommé moyen (m^3/j)	Compteur(s) utilisé(s)
Gevingey **Part du haut du Village**	44,8 0,07	6 7
Cesancey	62,5	5 et 6
Grusse	35,1	9

Rotalier	23,8	10
Orbagna	22	12, 13 et 15
Beaufort	182,9	13 et 16
Les Rambey	1,3	14
Crève Coeur	1,7	14 et 15
Gaec de la Planche	24,2	16, 17 et 20
Sorbier (Maynal)	12,2	17 et 18
Seillères (Maynal)	9,6	18
Maynal le bourg et Eglise	19,7	20
Le Péron, les Grevots, les Nayards	40,1	25
Bonnaud	9,1	22 et 24
Bonnaisod	8,2	24 et 25
Mallerey	57,4	22
Saint Agnès	52,6	4 et 5 (26 fermé)

Tableau 2: Consommations journalières de certains villages

Le débit moyen au niveau du compteur 10 est faible car le surpresseur ne se met en route qu'une à deux fois par jour, aussi ce débit est souvent nul. La vanne à coté du compteur 26 est fermée aussi le débit y est nul.

Certains compteurs indiquent de fortes disparités entre les volumes mesurés d'un jour à l'autre. Notamment le compteur 6 en direction de Gevingey. Ceci est dû à la vanne altimétrique qui, si elle est fermée, provoque la vidange du réservoir. L'eau circulant alors entre Cesancey et Gevingey ne sert qu'à l'alimentation d'un petit nombre d'abonnés de Gevingey. Ce phénomène, approximativement hebdomadaire, se répercute également sur les mesures des compteurs 4 et 5.

d. Campagne de nuit

L'analyse des débits de nuit a pour objectif de mettre en évidence les zones pour lesquelles un débit anormalement grand pour la nuit est observé. Les zones concernées pourront alors faire l'objet d'une campagne de recherche de fuites. La période analysée dure 7h entre 23h30 et 6h30 environ [Tableau 3 et Tableau 4].

N°	24 février	25 février	Moyenne nuit (sur 7h) (m^3/h)	Moyenne jour (m^3/h)	Variation relative jour nuit (%)
3	18,5	20,7	19,6	21,2	7,5
4	3,3	2,7	3	6,7	55,2
5	2	2	2	4,5	55,6
6	0,4	0,1	0,25	1,9	86,8
8	Problème de mesure			1,1	X
9	0,9	1	0,95	1,5	36,7
11	13	13,4	13,2	13,9	5,0
12	11,1	10,6	10,85	11,4	4,8
13	10,3	12,9	11,6	10,7	-8,4
16	2,8	3,4	3,1	2,7	-14,8
17	0,3	0,7	0,5	0,9	44,4

18		0,1	0,1	0,4	75,0
20	0,5	0,4	0,45	0,8	43,8
21	0,8	1	0,9	3,4	73,5
22	0,4	X	0,4	2,4	83,3
23	0,4	X	0,4	4,3	90,7
24	1,3	1,6	1,45	2	27,5
25	1	1,4	1,2	1,7	29,4

Tableau 3 : Débits de nuit obtenus grâce aux index

Tout d'abord, au niveau des compteurs 13 et 16, le débit transitant la nuit est supérieur au débit de jour. Ceci s'explique par le fonctionnement forcé des pompes, la nuit, en heures creuses. De plus, par soustraction, les compteurs 16, 19 aux Sorbier et 20 à Maynal mettent en évidence un important débit de nuit utilisé par le GAEC situé route des Chavannes. Au niveau des compteurs 3, 11, 12 et 20, ce phénomène se traduit par une faible diminution du débit moyen entre la journée et la nuit.

N°	Moyenne nuit sur les 14, 15 et 16 février (m^3/h)	Moyenne jour	Variation relative jour nuit (%)
7	0,01	0,07	85,7
10	20,6	0,9	-2188,9
14	0,01	0,06	83,3
15	0,07	0,1	30

Tableau 4 : Débits de nuit obtenus grâce aux têtes émettrices

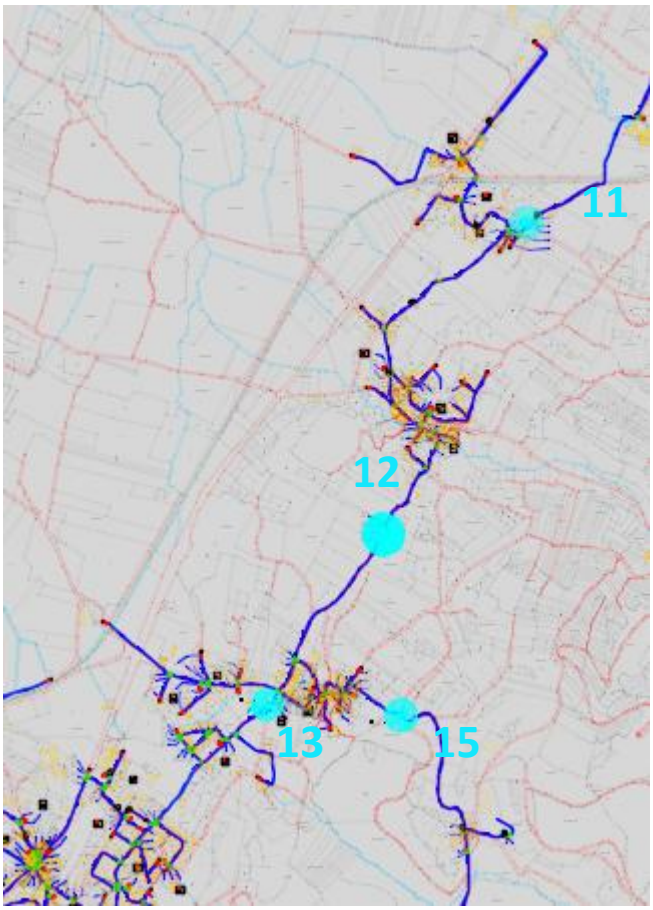
Au niveau du compteur 10, la moyenne de débit sur 3 nuits est largement supérieure au débit de jour. Ceci s'explique par un fonctionnement du surpresseur de Rotalier durant une des trois nuits ayant servi à l'établissement de la moyenne.

Une analyse des différences de volumes entre deux compteurs consécutifs a alors été réalisée de manière à mettre en évidence les zones consommant anormalement beaucoup la nuit [Tableau 5].

Variation moyenne (m^3) de	Entre les compteurs	Consommation de
1,5	**25 et 24**	**Bonnaisod**
6,5	**4 et 5**	**Saint Agnès**
22	**3, 9, 10 et 11**	**Paisia et Vincelles**
19	**11 et 12**	**Vercia**
0,42	**14 et 15**	**Crève cœur**
2,5	**18 et 17**	**Sorbier**
1	**18**	**Les Seillères**
7	**9**	**Grusse**
2	**6**	**Gevingey**
6,5	**21**	**Hameaux sud ouest de Savigny**

Tableau 5 : Analyse des variations

Au vu des observations, il apparaît que certaines zones ont des débits de nuit supérieurs à ceux attendus.



En particulier la zone située entre le réservoir de Saint Agnès et l'entrée d'Orbagna. Cependant, à ce niveau, il est très étrange qu'entre le compteur 11 et le compteur 13 la différence soit négligeable (4m^3 pour la nuit) et encore plus étrange que le volume compté au niveau du 13 soit supérieur à celui compté au niveau du 12 (86 m^3 en 13 contre 80 m^3 en 12).

Une hypothèse envisageable est qu'au niveau du compteur 12, le by pass est mal fermé ou la vanne endommagée ce qui provoque un sous comptage à ce niveau puisqu'une partie de l'eau y est by passée. La faible différence entre les valeurs des compteurs 13 et 11 permet d'écarter la piste d'une fuite dans ce secteur.

Figure 6 : Position des compteurs concernés

Au niveau de Grusse et des hameaux de Savigny par contre, le débit, bien qu'assez faible semble anormalement élevé. Il est envisageable que des fuites légères se trouvent sur ce secteur.

Le syndicat n'a pas souhaité pour l'instant réaliser une sectorisation de nuit dans le but de rechercher des fuites.

e. Concentration en chlore

La chloration a lieu en un point unique situé à la station de pompage de Savigny grâce à une pompe doseuse de marque Siemens. Celle-ci se met en marche simultanément avec les pompes de la station. Son débit varie entre 0,3 et 0,5 mg/l pour le haut service et se situe à 0,15 mg/l, en général, pour le bas service. Le taux de chlore est parfois ajusté manuellement en fonction des mesures réalisées sur le réseau.

D'un point de vue réglementaire, la circulaire DGS/SD7A n° 2003-524/DE/19-03 du 7 novembre 2003 relative aux mesures à mettre en œuvre en matière de protection des système d'alimentation en eau destinée à la consommation humaine, y compris les eaux conditionnées dans le cadre de l'application du plan Vigipirate préconise de maintenir une concentration minimale en chlore libre de 0,3 mg/l en sortie des réservoirs et viser une concentration de 0,1 mg/l en tout point du réseau de distribution. De plus, la concentration maximale admissible fixée par l'Organisation Mondiale de la Santé est de 5 mg/l. Cependant, pour une question de goût, il est préférable que le taux de chlore ne soit pas aussi élevé.

Trois des poteaux incendies testés sont situés en sortie de réservoir, il s'agit des poteaux référencés 4, 24 et 29. Les n° 3, 13 et 27 sont situés à proximité de la sortie du réservoir. Il apparait que de nombreux points ne sont pas à la concentration minimale requise [Annexe 6 et Figure 17 p 36].

En ce qui concerne le bas service, à la sortie du réservoir de Savigny, à un instant de la journée, la concentration de 0,3 mg/l requise n'est pas atteinte. Cependant, dans le village de Savigny, même au niveau d'un des poteaux les plus éloignés du réservoir, la concentration en chlore est satisfaisante. En ce qui concerne Bonnaud, le PI testé n'est qu'à 800 m de la sortie du réservoir mais la concentration est inférieure aux 0,3 mg/L. Il est probable qu'au vu de la concentration en sortie de ce réservoir, les concentrations soient également trop faibles à Mallerey et au Péron et ses environs.

Au niveau du haut service les zones problématiques sont :

- Gevingey, en sortie de réservoir
- Grusse au niveau du poteau le plus au Sud
- L'Ouest de Saint Agnès et les Machurés le matin
- A Rotalier :
    - A la sortie du réservoir bas (à 500m) la concentration est très faible pour une sortie de réservoir
    - Au niveau de la Combe, la concentration est également minime
- A Beaufort :
    - En sortie de réservoir, la concentration n'atteint pas 0,1 mg/L à certains moments de la journée
    - Au niveau du hameau de l'Etandonne, les concentrations sont faibles
- A Maynal
    - En sortie du réservoir haut, la concentration est minime
    - En bas du bourg : de même

Ces faibles concentrations sont dues aux temps de séjour, en particulier dans les réservoirs, qui sont très élevés. Bien que le syndicat n'ait jamais recensé de plaintes, il semble que des chlorations soient à prévoir au niveau de certains réservoirs notamment pour le haut service.

III. Modélisation

1. Logiciel EPANET

Le logiciel EPANET a été développé par l'Agence en charge de l'Environnement aux Etats-Unis (U.S. Environmental Protection Agency – EPA) [3]. La traduction de ce logiciel et du manuel d'utilisation a été financée par la générale des Eaux. La version française d'EPANET utilisée est la version 2.00.10 qui est la plus récente.

EPANET permet de réaliser, sur de longues durées, des simulations du fonctionnement hydraulique des réseaux d'eau en charge. Il est capable de fournir des informations hydrauliques comme les débits, les pressions ou les niveaux d'eau mais aussi des informations sur la qualité de l'eau puisqu'il permet d'obtenir les temps de séjour mais aussi les concentrations en chlore en particulier.

2. Equations utilisées

a. D'un point de vue hydraulique

Le logiciel EPANET offre la possibilité d'utiliser 3 formules différentes pour le calcul des pertes de charges : la formule de Hazen-William, celle de Darcy-Weisbach ou encore celle de Chezy Manning. Bien que les coefficients universels de rugosité soient ceux d'Hazen-William et ceux de Chezy-Manning, la formule retenue pour les modélisations réalisées sur le syndicat est celle de Darcy-Weisbach [Équation 1]. En effet, cette dernière est la plus correcte d'un point de vue théorique et c'est aussi la plus utilisée en Europe.

$$\mathrm{h_L} = 0{,}0827\, f\, \mathrm{D}^{-5}\, \mathrm{L} \times \mathrm{Q}^2$$

Équation 1 : Formule de Darcy-Weisbach

Avec :

- h_L : perte de charge
- Q : débit
- D : diamètre du tuyau (m)
- L : longueur du tuyau
- f : facteur de friction

Le facteur de friction est fonction du coefficient de rugosité de Darcy-Weisbach (ε), du diamètre, du débit et donc du nombre de Reynolds (Re) :

- Pour Re < 2000, la formule utilisée est celle de Hagen-Poiseuille [Équation 2]

$$f = \frac{\mathrm{Re}}{64}$$

Équation 2 : Formule de Hagen-Poiseuille

- Si 2000 < Re < 4000, une interpolation du diagramme de Moody permet la détermination du facteur de friction. Un diagramme de Moody et les équations utilisées pour l'interpolation sont disponible en 0

- Si Re > 4000, le facteur de friction sera calculé grâce à l'approximation de Swamee et Jain [Équation 4] de l'équation de Colebrook White qui est implicite [Équation 3].

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \times \log\left(\frac{2.51}{\mathrm{Re}\sqrt{f}} + \frac{\varepsilon}{3.71\ \mathrm{D}}\right)$$

Équation 3 : Equation de Colebrook-White

$$f = \frac{0.25}{\left[\log_{10}\left(\frac{\varepsilon}{3.7\ \mathrm{D}} + \frac{5.74}{\mathrm{Re}^{0.9}}\right)\right]^2}$$

Équation 4 : Approximation de Swame et Jain

b. D'un point de vue qualité

En ce qui concerne la qualité, EPANET utilise les équations de conservation de la masse et de cinétique des réactions. Différents phénomènes sont pris en compte pour s'approcher au mieux de la réalité :

- Le transport convectif : stipule qu'une substance dissoute dans un fluide se déplace à la même vitesse que le fluide en question.
- Le mélange aux jonctions des tuyaux : considéré comme instantané et parfait.
- Les réactions dans la masse d'eau entre le constituant suivi et les composants de l'eau
- Les réactions aux parois : corrosion ou dépôt de biofilm
- Le mélange dans les réservoirs : considéré comme total si la quantité d'eau entrante est suffisante.
- Les réactions dans le réservoir : provoquent une évolution de la concentration au sein du réservoir.

Les équations correspondantes sont disponibles en Annexe 7 [4].

3. Construction du modèle

Le modèle final compte 648 nœuds, 9 réservoirs, 689 arcs, 7 pompes, 1 bâche, 1 vanne fermée et 10 commandes d'asservissement des vannes et des pompes [Figure 7].

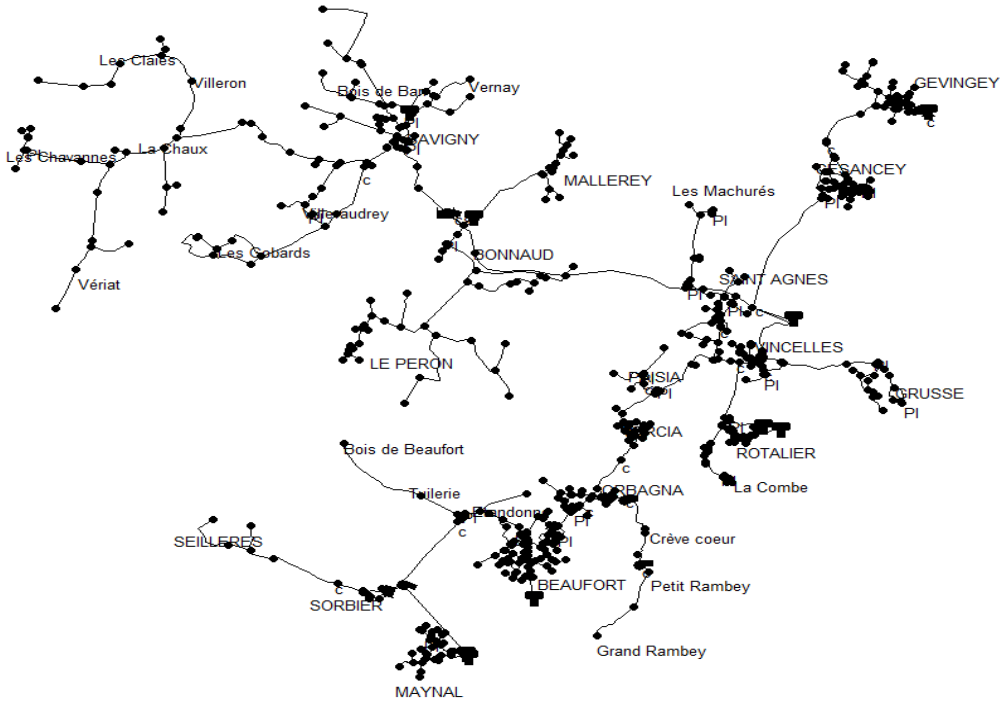


Figure 7 : Réseau modélisé

a. Construction du réseau

i. Les nœuds demande

Pour construire le modèle sur EPANET, un fond de plan représentant le réseau a été importé depuis Autocad de manière à permettre une meilleure visualisation spatiale. Tout d'abord, des nœuds ont été placés sur le tracé du réseau à des endroits stratégiques : au niveau des intersections, des points hauts et bas, des changements de diamètres, des gros consommateurs etc. Leurs altitudes et les consommations adaptées (Cf § Edition des consommations) ont été renseignées après avoir effectué des levés topographiques sur toute la zone.

La consommation n'étant pas constante au fil de la journée, une courbe de modulation a été importée dans le modèle. Elle permet de simuler les pics communs de consommation journalière. Pour créer cette courbe, il est nécessaire de pouvoir mesurer le débit destiné uniquement à la consommation en sortie de réservoir. Le réseau ne possédant pas de compteur permettant de connaître cette information, la courbe utilisée est une courbe type. Elle est issue de mesures réalisées en février 2009 en sortie du réservoir de la commune de Bruebach en Alsace. Cette commune d'approximativement un millier d'habitants sera considérée comme représentative des aléas de consommations des différentes communes du syndicat [Figure 8].

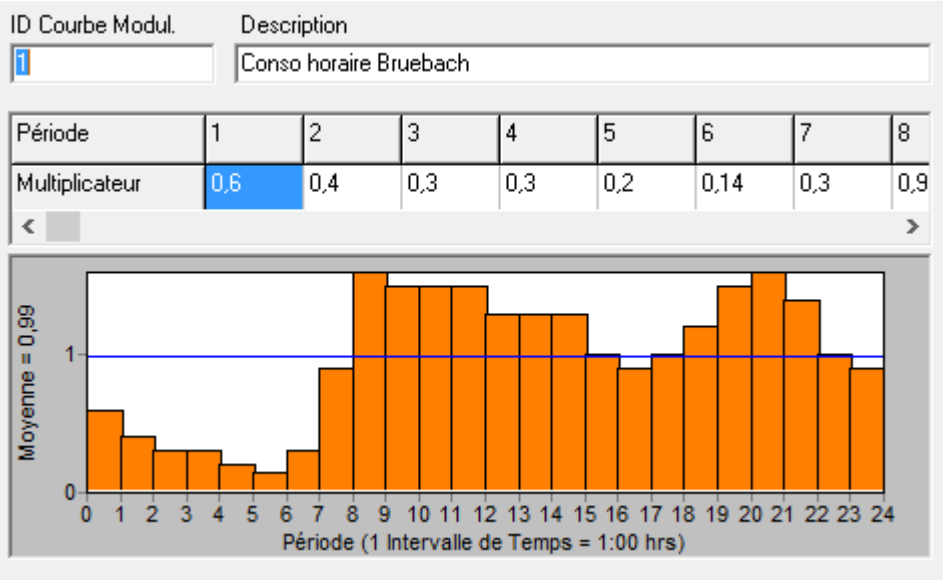


Figure 8 : Evolution moyenne de la consommation journalière de Bruebach (Haut Rhin)

Le principe de la courbe est de multiplier la consommation moyenne renseignée à chaque nœud demande par des coefficients proche de 1 de manière à moduler la consommation en fonction de l'heure de la journée. Il apparaît alors deux pics de consommations : entre 8h et 11h et entre 19 h et 21h. Ces pics sont habituels en ce qui concerne la consommation moyenne des français.

ii. Les conduites

Les conduites supérieures à un diamètre de 60 mm ont alors été tracées. Pour chaque conduite, différents paramètres sont à renseigner :

- **La longueur** grâce à des mesures sur les plans Autocad du réseau.
- **La rugosité** de Darcy-Weisbach dépend du matériau et de l'âge des conduites [Tableau 6].

Matériau	Âge (années)	Rugosité de Darcy Weisbach (mm)
Fonte	+ de 20 ans	0,8
	- de 20 ans	0,3 – 0,7
PVC	+ de 20 ans	0,1
	- de 20 ans	0,05
PE	+ de 20 ans	0,005
	- de 20 ans	0,002

Tableau 6 : Rugosités de Darcy Weisbach renseignées dans le modèle

La majorité des conduites ont plus de 30 ans car elles n'ont pas été renouvelées depuis leurs poses qui sont assez anciennes [Annexe 8].

Quelques secteurs ont tout de même été renouvelés assez récemment, notamment les conduites principales de diamètre 200mm. Pour ces secteurs, les rugosités ont été adaptées.

- **Le diamètre** grâce aux données de diamètres extérieurs fournies et parfois vérifiées sur le terrain. La valeur renseignée correspond au diamètre intérieur de la conduite d'où l'utilisation d'une correspondance pour les conduites en plastique [Tableau 7].

	Diamètre nominal (mm)	Diamètre intérieur (mm)
PVC	63	53.6
	75	63.8
	90	76.8
	110	93.8
	125	102.2
	140	114.6
PEHD	63	48.8

Tableau 7 : Correspondances diamètre intérieur et extérieur [5]

iii. Les réservoirs

Dans le modèle, 5 éléments ont été renseignés pour chaque réservoir [Annexe 9]:

- La cote du radier, ajustée à partir des levers sur le terrain.
- Les niveaux minimum et maximum, extraits des données de télégestion durant la semaine de la campagne de mesure
- Le diamètre, mesuré sur place ou calculé à partir des autres caractéristiques du réservoir
- Le niveau initial, renseigné grâce aux données de télégestion ou de la campagne en fonction de l'heure de début des simulations.

Les réservoirs sont équipés de différents systèmes de régulation de niveaux qui permettent d'assurer un marnage suffisant et parfois de réaliser des économies d'électricité tout en assurant un fonctionnement viable des pompes.

Nom	Régulation du niveau *Instrumentation*	Position dans le modèle
Maynal haut	Pompes à la station de Maynal : fonction des horaires EDF et du niveau *Poires de niveau*	Pompe 651
Maynal bas	Vanne entre les réservoirs haut et bas *Robinet à flotteur*	Tuyau 571
Beaufort	Vanne horaire pour marnage	Tuyau 132
Rotalier Haut	Pompe à la station de Rotalier asservie au niveau *Poires de niveau*	Pompe 175
Rotalier Bas	Vanne entre les réservoirs haut et bas *Robinet à flotteur*	Tuyau 166
Savigny	Pompes à la station de Savigny : fonction des horaires EDF et du niveau *Poires de niveau*	Pompe 541
Saint Agnès	Pompes à la station de Savigny : fonction du niveau *Poires de niveau*	Pompe 631
Bonnaud	Vanne sur la conduite de remplissage *Robinet à flotteur*	Tuyau 249
Gevingey	Vanne asservie au niveau (dans réservoir) *Poire de niveau* + Vanne horaire entre Gevingey et Cesancey	Tuyau 177 + Tuyau 188

Tableau 8 : Fonctionnement des réservoirs

iv. Les vannes électriques

Le réseau compte 6 vannes électriques. La première a pour objectif de faire marner le réservoir de Beaufort. En effet, celui-ci étant plus bas que les réservoirs de Saint Agnès (alt. resp. 298.5 et 303 m), sans intervention mécanique, il serait toujours plein car son remplissage est géré par un robinet à flotteur. L'analyse des courbes de marnage de différents jours ont permis d'identifier les heures d'ouverture et de fermeture de la vanne [ex : Figure 9].

La vanne, située sur la route de Beaufort à Orbagna, est visiblement fermée de 10h15 à 15h20 et de 18h00 à 20h à une vingtaine de minutes près car le pas de temps des mesures issues de la télégestion est de 30 min. D'autres journées que celles présentées, ont été observées pour fiabiliser cette information.

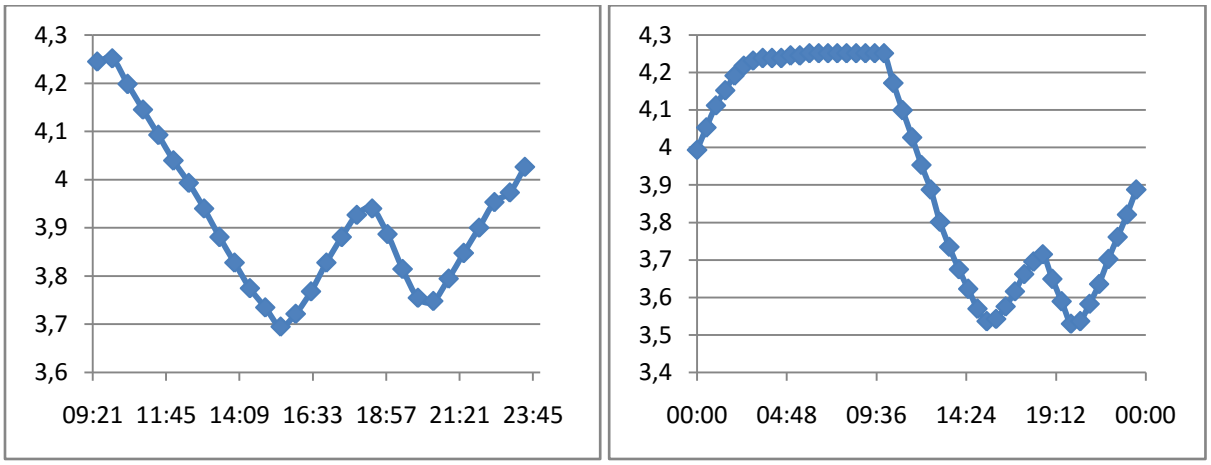


Figure 9 : Courbe de marnage du réservoir de Beaufort (12/02/16 à gauche ; 27/02/16 à droite)

Pour modéliser ce type de vanne, sur EPANET, une commande est créée qui ordonne l'ouverture ou la fermeture d'un tronçon en fonction des horaires ou d'un niveau de réservoir [Annexe 9]. D'autres vannes permettent également le marnage des réservoirs. Les horaires, ainsi que les niveaux haut et bas, provoquant les ouvertures ou les fermetures ont été identifiés grâce à l'analyse des mesures. Au sud de Saint Agnès se trouve une vanne fermée. Dans le modèle, il suffit de renseigner l'état de l'arc concerné (ici arc 717) comme fermé.

v. Les pompes

Pour les pompes, une courbe caractéristique est à renseigner dans le modèle. Les références des pompes et surpresseurs ont été relevées sur place [Annexe 10 - a] et les fiches techniques des pompes ont été consultées sur les sites des vendeurs de manière à obtenir le plus de points possibles pour la courbe caractéristique [Figure 10 : gauche et Figure 11][6]. Les fiches techniques utilisées et les courbes tracées sur EPANET sont disponibles en Annexe 10 - b. Dans les cas où les références de la pompe n'ont pas permis de trouver les fiches techniques, le logiciel calcule lui-même une allure de courbe à partir du débit et de la HMT de fonctionnement [Figure 10 : droite].

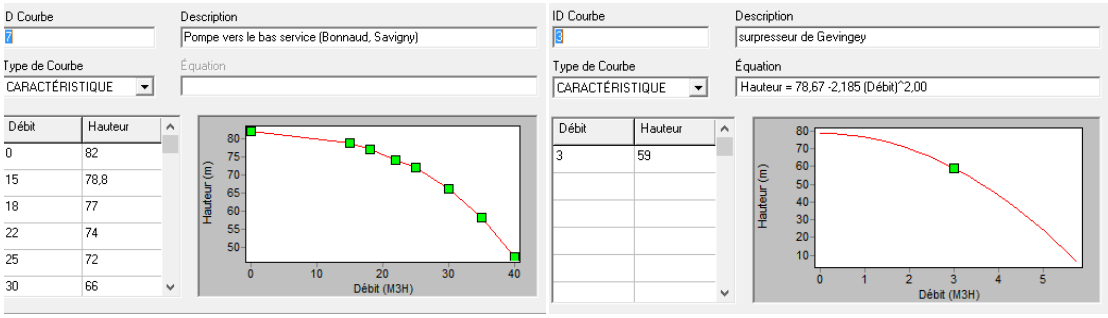


Figure 10 : Courbes caractéristiques d'EPANET

SÉRIES 33, 46SV
TABLEAU DE PERFORMANCES HYDRAULIQUES À 50 HZ, 2 PÔLES

TYPE POMPE	PUISSANCE NOMINALE		Q = DÉBIT										
			l/min 0	250	300	367	417	500	583	667	750	900	1000
			m³/h 0	15	18	22	25	30	35	40	45	54	60
	kW	CV	H = HAUTEUR MANOMÉTRIQUE TOTALE EN MÈTRES DE COLONNE D'EAU										
33SV1/1A	2,2	3	17,4	16,2	15,7	15	14	12,2	9,8	6,7			
33SV1	3	4	23,8	21,7	21,2	20	20	17,8	15,5	12,7			
33SV2/2A	4	5,5	35,1	34,1	33,3	32	30	27	22,4	16,6			
33SV2/1A	4	5,5	40,8	38,8	37,9	36	35	32	27,5	22,3			
33SV2	5,5	7,5	47,8	45	44,1	43	41	39	35	29,9			
33SV3/2A	5,5	7,5	57,7	55,2	53,8	51	49	44	38	29,6			
33SV3/1A	7,5	10	64,5	61,3	60	58	56	51	45	37			
33SV3	7,5	10	71,5	67,4	66,0	64	62	58	52,0	44,6			
33SV4/2A	7,5	10	82	78,8	77	74	72	66	58	47,2			
33SV4/1A	11	15	88,9	85	83	81	78	73	65	55,1			

Figure 11 : Fiche technique correspondant à la pompe pour le bas service

Les pompes sont asservies au niveau des réservoirs ou à des horloges [Tableau 8]. Lorsqu'elles sont asservies au niveau du réservoir, une « commande simple » est renseignée dans le logiciel. Il s'agit des pompes alimentant les réservoirs de Saint Agnès et Rotalier Haut. Certaines pompes sont asservies à des niveaux de mise en marche et d'arrêt différents en fonction de l'heure de la journée. Ceci se traduit par des commandes plus complexes appelées « commandes élaborées » dans le logiciel. Il s'agit des pompes alimentant les réservoirs de Savigny et Maynal Haut [Annexe 10 - c].

b. Edition des consommations

i. Les gros consommateurs

Les gros consommateurs sont ceux dont la consommation est supérieure à 500 m^3/an. Ils ont été recherchés dans les rôles d'eau et localisés pour chaque village et leurs consommations affectées au nœud de demande le plus proche. Si celui-ci était trop loin, un nouveau nœud a été créé à proximité. Au total, pour 2015, 31 gros consommateurs ont été recensés, la liste est disponible en Annexe 11 - a.

Cependant, certains consommateurs ayant subit des fuites ont enregistré en 2015 une consommation supérieure à 500 m^3/h. Ils ont alors fait l'objet d'un dégrèvement lorsqu'ils ont fourni une facture de plombier moins d'un mois après avoir été informés d'une fuite chez eux par le syndicat. Le syndicat leur facture alors le double de leur consommation moyenne des trois dernières années (Loi Warsmann : loi n° 2011-525 du 17 mai 2011 [7]). Les abonnés en question n'ont pas été considérés comme gros consommateurs. En effet, si le modèle est amené à être utilisé par la suite, il est préférable que les gros consommateurs soient les plus stables possible. Généralement, les gros consommateurs recensés en 2015 l'étaient également en 2014.

ii. *Pour les petits consommateurs*

Les consommations renseignées dans le modèle sont basées sur les facturations de 2015. Pour chaque ville, un groupement des consommations par rue a été réalisé. Le tableau de regroupement de Beaufort est disponible en Annexe 11 - 0 à titre d'exemple. Une moyenne a alors été calculée par abonné en fonction du nombre d'abonnés et de la consommation totale dans la rue. Cette moyenne a été assignée aux nœuds de la rue en la pondérant en fonction de la répartition des habitations dans la rue comme dans l'exemple de Vincelles en Annexe 11 - 0.

iii. *Calcul des coefficients multiplicateurs en situation actuelle (2009 – 2014)*

En 2014, le syndicat comptait 2 891 abonnés. Le volume consommé résulte des relevés des appareils de comptage des abonnés, c'est donc le volume facturé. C'est ce volume qui a été modélisé. Il est donc nécessaire de calculer le coefficient d'ajustement permettant de simuler le volume réel mis en distribution et la situation de pointe.

Année	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Moyenne
Volume annuel consommés (m^3)	276 132	275 794	278 029	253 866	267 890	260 653	268 727

Tableau 9 : Volumes consommés SIEA Beaufort

Le volume mis en distribution correspond à la somme du volume produit et du volume acheté à laquelle le volume vendu (nul ici) est retiré.

Année	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Moyenne
Volume mis en distribution (m^3)	402 540	381 135	385 255	362 822	363 146	327 067	370 328

Tableau 10 : Volumes mis en distribution SIEA Beaufort

Afin d'obtenir le volume réellement distribué à partir du volume facturé, il est nécessaire de multiplier les consommations par $\frac{370\ 328}{268\ 727} = 1{,}38$.

Pour obtenir le coefficient de pointe actuel, le volume mis en distribution est multiplié par 1,95 qui est le coefficient de pointe journalier tiré de l'enquête générale de 1965. Le coefficient actuel de pointe obtenu est donc de $\frac{370\ 328 \times 1{,}95}{268\ 727} = 2{,}69$.

iv. Calcul des coefficients multiplicateurs en situation future (2040)

A l'horizon 2040, selon les données de développement urbanistique : PLU, carte communale, concertations avec les maires etc, 1688 habitants supplémentaires sont à prévoir soit un total de 3 538 abonnés. Le volume consommé passerait alors à 333 000 m^3 environ et en gardant les mêmes proportions que précédemment, le volume mis en distribution passerait à 460 000 m^3 environ.

Le volume distribué en 2040 sera donc obtenu en multipliant toutes les consommations du modèle actuel par 1,71 (= $\frac{460\ 000}{268\ 727}$) et pour simuler la pointe journalière, elles seront multipliées par 3,34 (= $\frac{460\ 000 \times 1{,}95}{268\ 727}$)

4. Calage du modèle

a. Calage des marnages

Les marnages des réservoirs ont été calés grâces aux indications relevées d'après les mesures recueillies concernant les fonctionnements des vannes et des pompes. Les horaires et les hauteurs asservissants les niveaux d'eau dans les réservoirs ont été ajustés de manière à obtenir une fréquence et une amplitude de marnage dans le modèle semblable aux valeurs réelles.

Exemple 1: Résultat du calage du marnage du réservoir de Gevingey sur une période de 10 jours

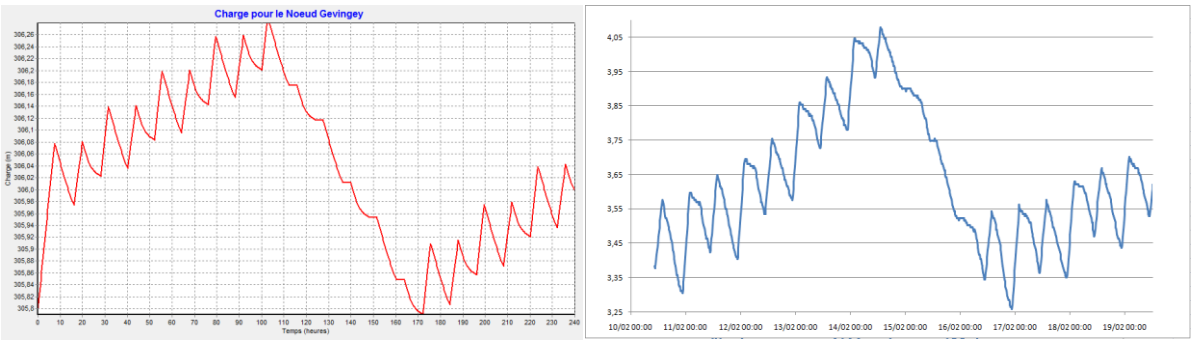


Figure 12 : Marnage du réservoir de Gevingey dans le modèle (gauche) et issu de la télégestion (droite)

Exemple 2 : Résultat du calage du marnage de Savigny sur 10 jours

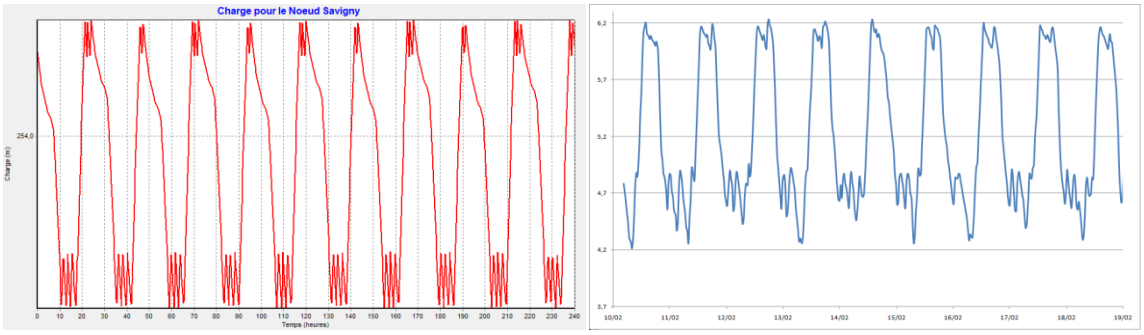


Figure 13 : Marnage du réservoir de Savigny dans le modèle (gauche) et issu de la télégestion (droite)

Les autres courbes issues du modèle sont disponibles en Annexe 12 a et peuvent être comparées aux courbes de marnage issues des mesures réelles (Annexe 3)

b. Observation des débits

Les débits mesurés et simulés ont été comparés afin de crédibiliser ou non le modèle [Annexe 12 b].

Les débits mesurés lors de la campagne correspondent à la situation où le réservoir de Gevingey n'est plus alimenté ce qui explique les faibles débits des compteurs 4, 5 et 6. Les débits relevés dans le modèle ont été choisit durant cette période.

Il n'apparait pas dans ce tableau de comparaison de résultats aberrants, ce qui signifie que les consommations sont correctes tant en volumes qu'en positions sur le réseau.

c. Calage des pressions

Les pressions statiques du modèle ont été calculées aux mêmes heures que durant la campagne [Annexe 12 c].

Les pressions statiques du modèle correspondent simplement à une différence de charge entre le point concerné et le réservoir dont il dépend : soit la cote du niveau d'eau. La majorité de ces pressions sont similaires ce qui signifie que les marnages des réservoirs sont bien calés. Pour les points pour lesquels la différence est très grande il est probable que le poteau testé ne soit pas le bon. Sinon cela peut signifier que l'altitude renseignées du point n'est pas tout à fait exacte ou que le marnage du réservoir du modèle ne correspond pas exactement à la réalité. Au niveau de Savigny et ses hameaux, de grandes différences sont observées, cependant le marnage du réservoir correspond assez bien au marnage du modèle. Il s'agit certainement d'un problème de cotes des niveaux du réservoir.

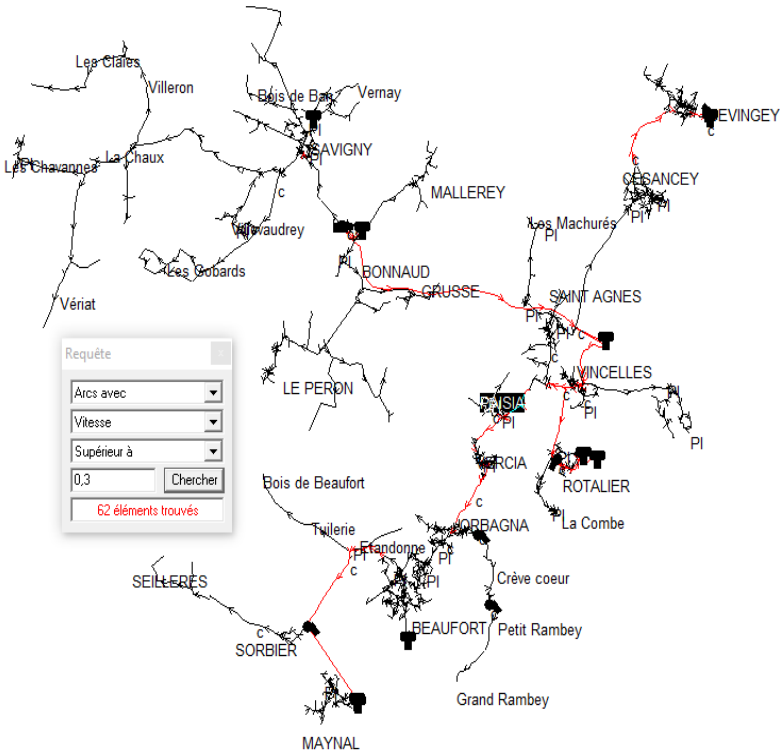


Figure 14 : Chemin préférentiel de l'eau

En raison de l'absence de campagne de mesure des pressions dynamiques au niveau des poteaux incendie, un test de sensibilité du modèle aux rugosités à été réalisé pour déterminer si celles-ci influent beaucoup sur les résultats du modèle. Pour cela, les zones supposées être les plus sensibles ont été identifiées de manière à y modifier les rugosités. Pour cela, le chemin préférentiel de l'eau a été identifié grâce au modèle, il correspond aux endroits où les vitesses sont les plus importantes [Figure 14].

Dans ces zones, les rugosités renseignées initialement ont été doublées puis divisées par deux dans des modèles distincts nommés respectivement modèle 1 et modèle 2 par la suite. Les vitesses et pressions ont alors été comparées avec le modèle de base et il est apparu que c'était en doublant la rugosité que les différences les plus fortes, par rapport au modèle initial, étaient observées [Tableau 11 et Tableau 12]. La rugosité a alors été modifiée dans les zones où les diamètres étaient assez faibles par rapport aux consommations car elle était supposée avoir d'avantage d'inlfuence sur les pressions à ces endroits. Pour cela les nœuds ayant les plus grosses consommations ont été identifiés grâce au modèle et les diamètres environnant observés.

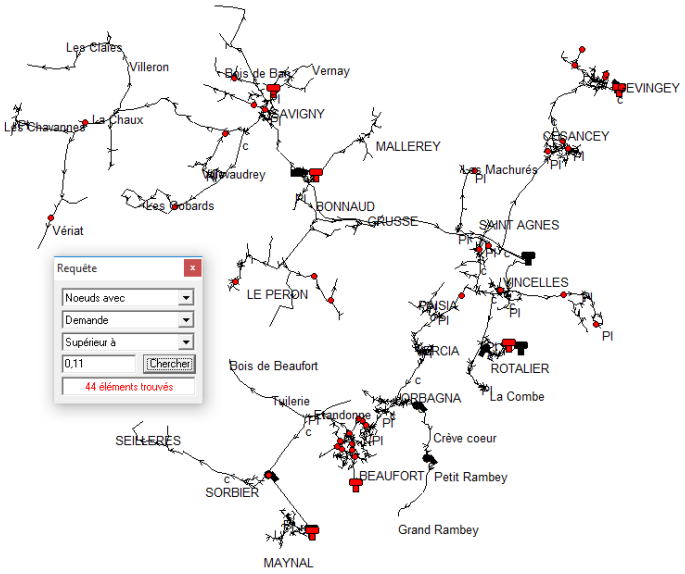


Figure 15 : Nœuds aux grosses consommations

Les zones pour lesquelles le diamètre semble petit comparé à la consommation sont finalement :

- La conduite liant Maynal à Beaufort
- Maynal Bourg
- Les conduites raccordant les gros consommateurs du Péron
- Gevingey

Dans ces zones, les rugosités ont été doublées et les pressions en certains nœuds concernés ont été comparées avec celles du modèle initial [Tableau 13]. Ce modèle sera appelé modèle 3 par la suite.

	Nombre d'éléments			Ecart relatif %		Ecart par rapport au nombre total de tronçons	
Vitesses (m/s)	Modèle de base	Rugosité doublée (Modèle 1)	Rugosité divisée par 2 (Modèle 2)	Modèle 1	Modèle 2	Modèle 1	Modèle 2
> 0,1	146	146	148	0	-1,4	0	-0,29
> 0,2	105	104	107	1,0	-1,9	0,15	-0,29
> 0,3	62	52	64	16,1	-3,2	1,45	-0,29
> 0,4	42	40	46	4,8	-9,5	0,29	-0,58
> 0,5	27	26	27	3,7	0	0,15	0
> 0,6	16	15	16	6,3	0	0,15	0
			Ecart max	**16,1**	**-9,5**	**1,45**	**-0,58**
Pressions (mCE)				**Ecart relatif %**		**Ecart par rapport au nombre total de nœuds**	
> 50	307	307	307	0	0	0	0
> 70	163	163	163	0	0	0	0

> 90	43	41	43	4,7	0	0,31	0
> 110	6	6	6	0	0	0	0
< 5	14	14	13	0	7,1	0	0,15
< 10	23	23	22	0	4,3	0	0,15
< 30	63	65	63	-3,2	0	-0,31	0
			Ecart max	**4,7**	**7,1**	**0,31**	**0,15**

Tableau 11 : Comparaison des vitesses et pressions entre les modèles

		Pressions (mCE)						Ecart relatif (%)			
		Modèle de base		Modèle 1		Modèle 2		Modèle 1		Modèle 2	
Nœud		Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Gevingey	**279**	48,34	56,29	48,34	56,29	48,34	56,66	0		0	-0,66
Cesancey	**265**	50	53,69	50	53,69	50,03	53,69	0		-0,06	0
Bois de Beaufort	**599**	89,39	102,68	89,39	102,68	89,87	102,67	0		-0,54	0,01
Claies ouest	**128**	47,42	52,06	47,42	52,06	47,31	52,08	0		0,23	-0,04
Seillères	**613**	55,29	108,99	55,29	108,99	59,5	108,96	0		-7,61	0,03
Grand Rambey	**477**	55,13	65,32	55,13	65,32	55,18	65,48	0		-0,09	-0,24
Les Machurés	**223**	88,72	89,41	88,72	89,41	88,73	89,41	0		-0,01	0
							Ecart max	**0**		**-7,61**	**-0,66**

Tableau 12 : Comparaison des pressions à des nœuds précis pour les différents modèles

Les résultats observés dans ces deux tableaux avec le modèle 3 étaient similaires à ceux du modèle 1. Dans le Tableau 11, les arcs et nœuds remplissant certaines conditions de vitesse et de pression ont été comptés pour chacun des modèles. Il apparait que les vitesses du modèle sont plus sensibles aux rugosités que les pressions. En effet, en ce qui concerne les pressions, au maximum 7% d'écart de nombre de nœuds par tranches de pression sont observés. Il est très probable qu'il s'agisse de nœuds dont les pressions sont proches de la limite de la tranche car les variations de pressions aux nœuds entre les modèles sont très proches (maximum 7,6% d'écart) [Tableau 12].

		Modèle de base		Modèle 3		Ecart relatif (%)	
Noeuds		min	max	min	max	min	max
Gevingey	279	48,34	56,29	48,33	56,6	0,02	-0,55
Le Peron Ouest	179	36,72	38,13	36,46	38,13	0,71	0
Le Peron Est	197	43,99	45,87	43,61	45,87	0,86	0
	195	44,56	46,47	44,18	46,47	0,85	0
Maynal	641	2,95	14,61	2,95	14,61	0	0
	647	44,21	44,66	44,14	44,66	0,16	0
	625	38,92	39,33	38,85	39,33	0,18	0
	637	46,78	47,2	46,71	47,2	0,15	0
GAEC de la Planche	600	25,83	79,06	21,49	79,1	16,80	-0,05
					Ecart max	16,80	-0,55

Tableau 13 : Comparaison des pressions aux nœuds situés dans les zones aux rugosités doublées

Il semble donc qu'en général la rugosité influe peu, excepté au nœud situé au niveau de la station de pompage de Maynal, dont la consommation est celle du GAEC de la Planche recensé comme gros consommateur. Ceci s'explique par la longueur du tuyau et la forte consommation. Les marnages des réservoirs ont été observés pour chacun des modèles ayant subit des modifications de rugosité et il s'avère que les marnages ne varient pas du tout d'un modèle à l'autre.

Au vu de toutes ces variations que l'on peut considérer comme assez faibles, il semble correct de dire que le modèle est peu sensible aux rugosités.

5. Exploitation du modèle

a. Situation actuelle

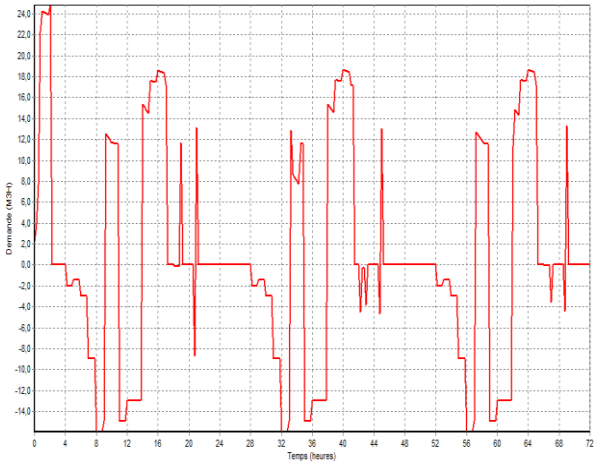
i. Temps de séjour

Les temps de séjour issus du modèle ont été relevés pour chaque réservoir [Tableau 14]. Celui-ci doit être inférieur à 3 jours en tous points du réseau sinon la qualité de l'eau se dégrade car le chlore résiduel disparait.

Réservoir	Temps de séjour		Volume (m^3)	Réserve incendie (m^3)
	Heures	Jours		
Savigny	85	3.5	300	120
Bonnaud	102.5	4.3	300	120
Saint Agnès	24	1	2 x 300	120
Gevingey	480	20	500	120
Rotalier haut	300	12.5	400	120
Rotalier bas	220	9.2	220	Non
Beaufort	380	15.8	400	120
Maynal haut	50	2.1	30	Non
Maynal bas	220	9.2	200	Non

Tableau 14 : Temps de séjour calculés par le modèle

A Gevingey, la valeur élevée du temps de séjour s'explique par la taille importante du réservoir : 500 m^3 comparée à la consommation journalière moyenne de Gevingey sur une année qui n'est que de 25 m^3 environ.



A Beaufort, Rotalier et Maynal celui-ci s'explique en observant la demande au niveau du réservoir qui est très souvent faible [ex : Figure 16].

Figure 16 : Débit demandé au réservoir de Beaufort

Il s'avère que dans la grande majorité des réservoirs, l'eau a un temps de séjour supérieur voire très supérieur à 3 jours. Le temps de séjour a alors été observé au niveau de tous les points et canalisations du réseau [Figure 17].

Seuls les points et tuyaux bleus respectent la limite de 3 jours. Certaines zones atteignent 5 jours comme par exemple les secteurs du Péron et de Mallerey, d'autres dépassent les 6 jours notamment Gevingey, le bourg de Maynal et la Combe de Rotalier.

Une comparaison de ces zones avec les zones présentant des défauts de chlore identifiés précédemment grâce aux mesures, indique une assez bonne correspondance [Figure 17]

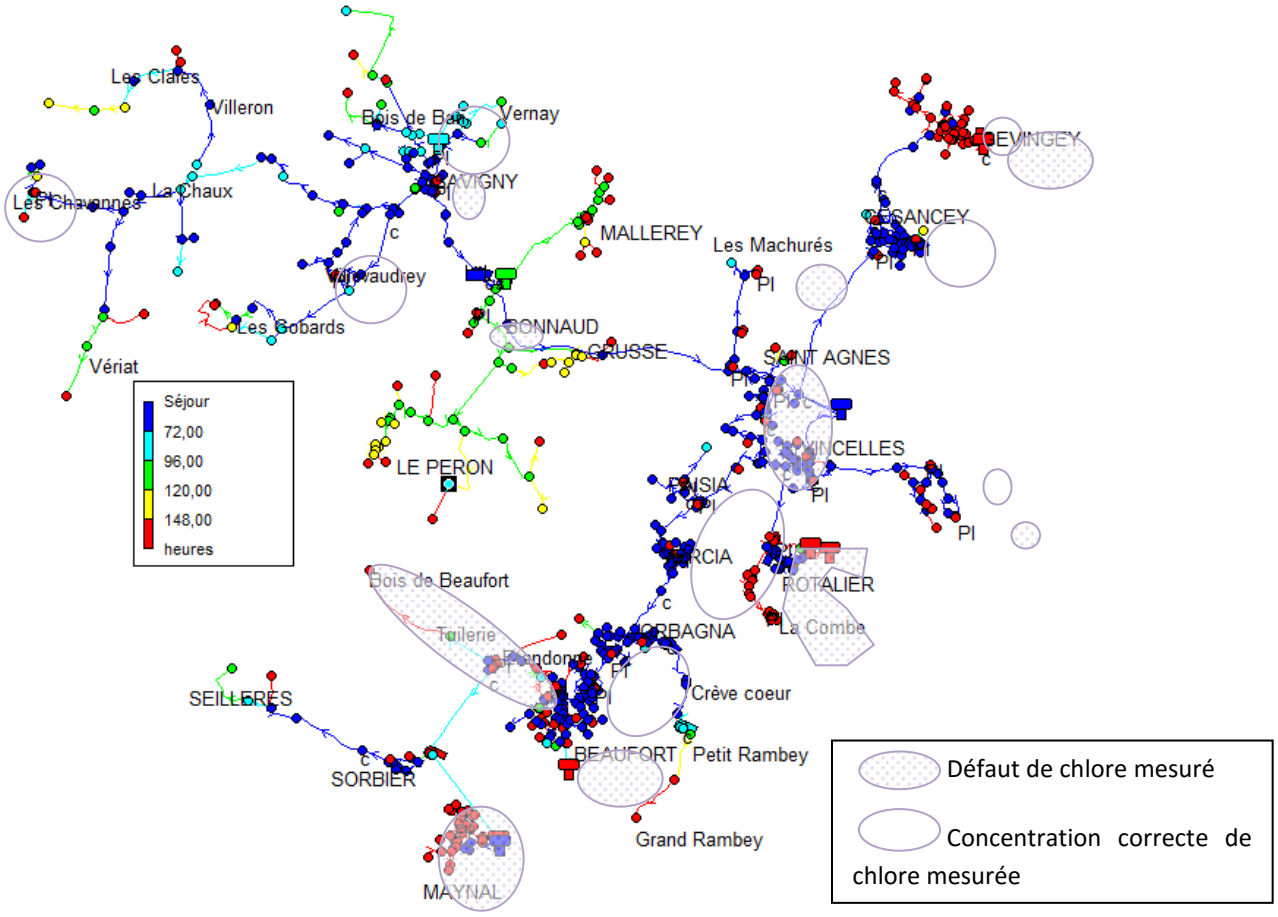


Figure 17 : Liens entre temps de séjour EPANET et concentration mesurée en chlore

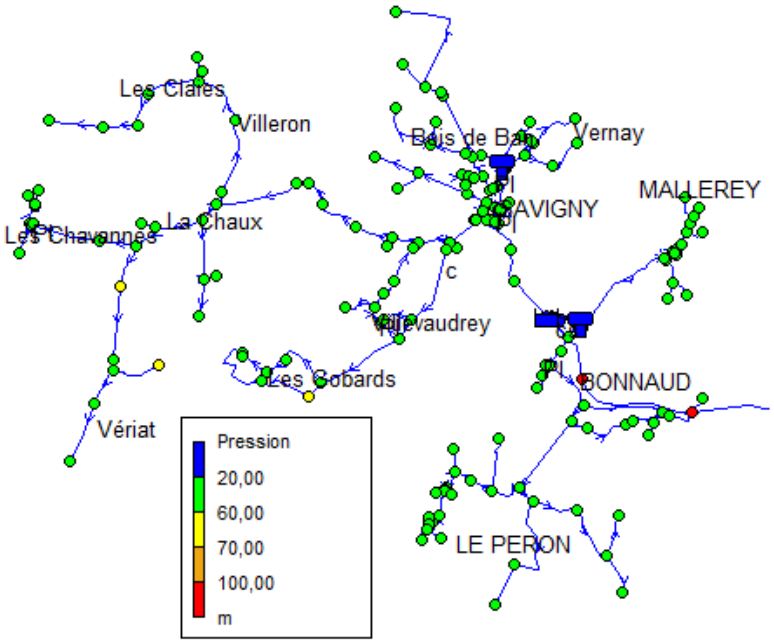
ii. *Vitesses d'écoulement*

Les vitesses dans le réseau doivent idéalement être inférieures à 1,5 m/s ou grand maximum 2 m/s pour éviter une usure prématurée des canalisations. A aucun endroit du réseau modélisé, les vitesses observées ne sont supérieures à 1,5 m/s.

iii. Pressions

Les pressions doivent idéalement être comprises entre 2 et 6 bars même si une pression minimale à 1,5 bar n'est pas alarmante de même qu'une pression maximale à 7 bars à condition que ces cas soient rares.

Dans le réseau modélisé seul le point de consommation situé juste à l'aval du réservoir bas de Rotalier présente parfois une pression inférieure à 2 bar.



Au niveau du bas service, les pressions observées sont très satisfaisantes. En effet, la très grande majorité des points présente une pression comprise entre 2 et 6 bars et 4 points seulement dépassent légèrement les 6 bars (6,3 bars maximum).

Figure 18 : Pressions pour le bas service

Au niveau du haut service, de nombreuses zones présentent des surpressions allant jusqu'à plus de 10 bars [Figure 19]. Ces zones correspondent également assez bien aux zones identifiées lors de l'analyse de la campagne de mesures [Figure 5].

Les zones principales sont situées le long de l'axe principal à savoir : Saint Agnès et les Machurés, Vincelles, Grusse, Vercia et Paisia, Orbagna et une partie de Beaufort. La conduite d'alimentation du réservoir de Saint Agnès depuis la station de pompage est également soumise à une forte pression de plus de 10 bars. Elle risque donc une usure plus rapide mais ne pose pas de problème de dégâts chez des abonnés car elle ne comporte aucun piquage direct.

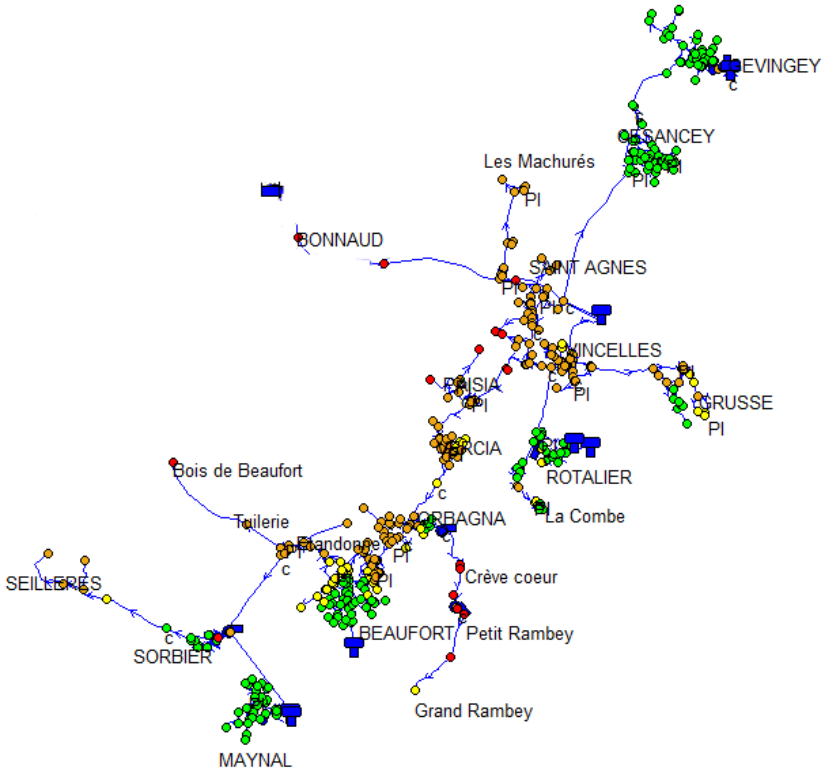


Figure 19 : Pressions du haut service

D'autres zones moins importantes présentent des surpressions notamment le réseau surpressé de Gevingey et le réseau surpressé de Crève Cœur/ les Rambey et le hameau des Seillères. Ces zones ne sont pas à considérer comme alarmantes pour autant puisqu'à ces endroits, aucune vérification n'a pu être réalisée en ce qui concerne les pressions réelles. Il s'agit peut être simplement des caractéristiques des pompes et du réducteur de pression renseignées dans le modèle qui sont inexactes. En effet, en changeant légèrement les caractéristiques des pompes et du régulateur par rapport aux caractéristiques trouvées sur les fiches techniques, il est possible d'obtenir des pressions correctes [Annexe 13 - 1]

L'installation de 2 systèmes de régulations de pression : le premier vers Grusse et le second vers les Machurés, permettrait déjà de réduire énormément le nombre de zones présentant des surpressions [Figure 33].

iv. Chlore

Une simulation a été réalisée mettant en évidence le transport et la distribution du chlore [Figure 20]. La durée simulée était importante afin d'atteindre un état stable du modèle. Les concentrations insérées sont de 0,5 mg/L pour le haut service et de 0,15 mg/L pour le bas service. Pour modéliser ces deux concentrations différentes, deux bâches distinctes de même charge ont été modélisées au niveau de la station. Les valeurs issues du modèle coïncident assez bien avec celles mesurées tant pour les concentrations suffisantes que pour les concentrations trop faibles [comparer Figure 20 et Figure 17] excepté au niveau des Chavannes (Savigny). Il est donc possible de supposer que pour les secteurs pour lesquels des mesures n'ont pues être réalisées, les concentrations calculées par le modèle sont correctes.

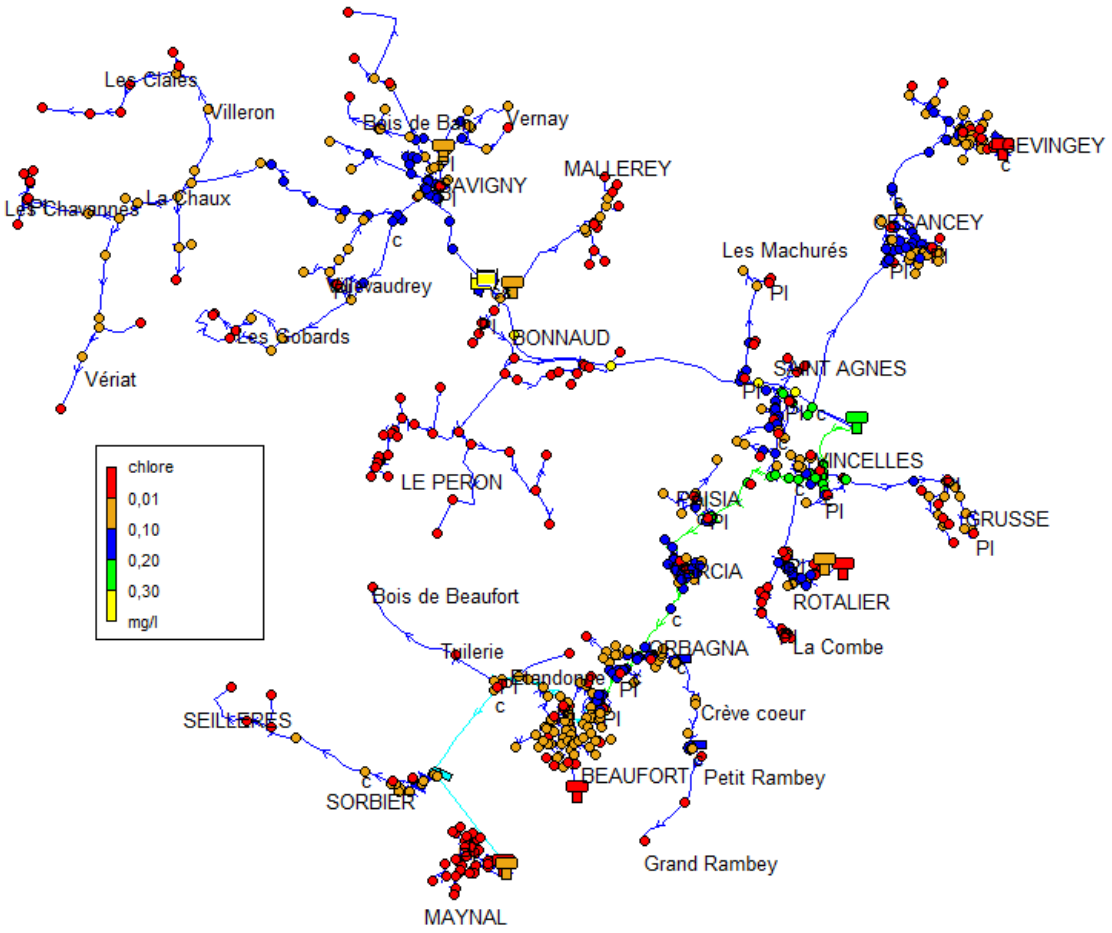


Figure 20 : Concentration en chlore du réseau

Il apparait sur cette figure qu'il est possible de trouver des résidus de chlore (parfois très très faibles) même aux extrémités du réseau. Cependant, de nombreux secteurs présentent des défauts importants de chlore notamment :

- pour le bas service :
  - Le secteur du Péron élargit
  - Mallerey
- pour le haut service :
  - Gevingey
  - Grusse
  - Beaufort
  - Maynal

Comme à aucun endroit la concentration en chlore n'est trop importante, une simulation a été réalisée en augmentant les taux de traitement initiaux à 0,3 mg/L pour le bas service et 0,7 mg/L pour le haut service [Annexe 13 - 2].

Les zones présentant des problèmes sont toujours les mêmes cependant les concentrations trop faibles sont nettement moins nombreuses.

Il semblerait judicieux d'ajouter des points de chloration au niveau de certains réservoirs comme Bonnaud pour gérer les problèmes au niveau du bas service et Beaufort, Rotalier et Gevingey pour le haut.

v. Situation de pointe

Un modèle a été réalisé multipliant les consommations à chaque nœud par le coefficient, correspondant à la situation de pointe, calculé précédemment soit par 2,69 (p 31). Dans cette situation, il est nécessaire de modifier légèrement le temps de fonctionnement des pompes de Savigny et d'ouverture de la vanne pour Beaufort, mais surtout d'augmenter le débit de la pompe pour le haut service de 60 à 75 m^3/h [Figure 21].

Cette situation représente un cas extrême puisqu'alors les volumes mis en distribution sont multipliés par 1,95. Elle représente une situation où tous les abonnés consomment simultanément une quantité importante d'eau. Cependant, c'est généralement ce volume qui est utilisé pour dimensionner. Aussi il semblerait que la pompe actuelle ne soit pas suffisante pour le haut service dans une telle situation puisqu'alors le réservoir de Sainte Agnès se vide régulièrement [Figure 21] et de ce fait, le réservoir de Beaufort aussi. Cependant, les abonnés ne connaissent leur première coupure d'eau qu'après un peu plus de 3 jours de situation de pointe et il est assez peu probable qu'une telle situation persiste durant 3 jours consécutifs.

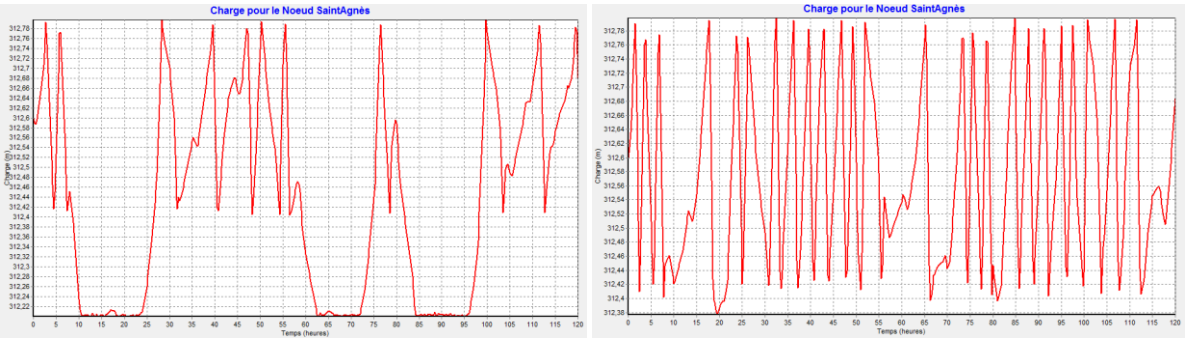


Figure 21 : Niveau d'eau à Sainte Agnès en situation de pointe actuellement (gauche) et avec la pompe préconisée (droite)

b. Situation future

i. Situation normale

Les consommations de 2040 ont été estimées au préalable et l'utilisation du coefficient multiplicateur calculé précédemment (p 31) permet de voir si le réseau actuel pourrait être fonctionnel en 2040. Il s'avère que le réseau serait suffisant pour les estimations démographiques de 2040. La seule modification apportée au modèle pour qu'il fonctionne a été d'asservir au niveau plutôt qu'aux horaires la vanne entre Vercia et Orbagna et qui permettrait le marnage du réservoir de Beaufort afin d'éviter que celui-ci ne se vide.

ii. *Situation de pointe future*

Cette simulation permet d'observer si le réseau actuel est capable d'assurer la fiabilité de la consommation des abonnés même en situation de consommation extrême avec les estimations démographiques futures. Les consommations sont alors toutes multipliées par 3,34 ce qui représente une très importante augmentation. Avec les installations actuelles, le réservoir de Sainte Agnès se viderait assez rapidement [Figure 22] ce qui provoquerait des coupures d'eau assez généralisées au bout de 16h30 dans cette situation.

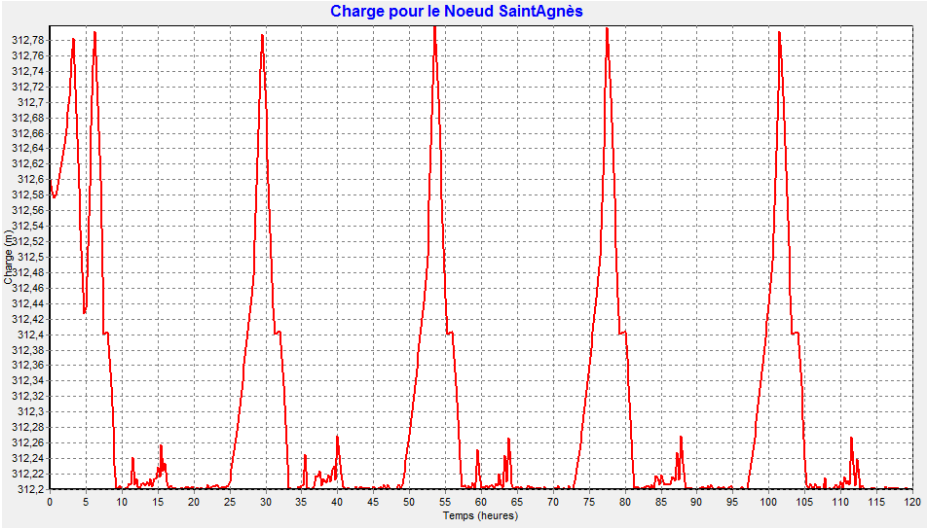


Figure 22 : Niveau d'eau dans le réservoir de Sainte Agnès en situation future de pointe

En modifiant légèrement les heures de fonctionnement des pompes du bas service, de la vanne de Beaufort et en élevant un peu le niveau bas du réservoir de Sainte Agnès ainsi que le débit de la pompe pour le haut service, le réseau serait fonctionnel sans discontinuité. Le débit de la pompe devrait donc passer de 60 à 90 m^3/h [Figure 23]. Pour la situation actuelle de pointe, ce débit de 90 m^3/h fonctionnerait également.

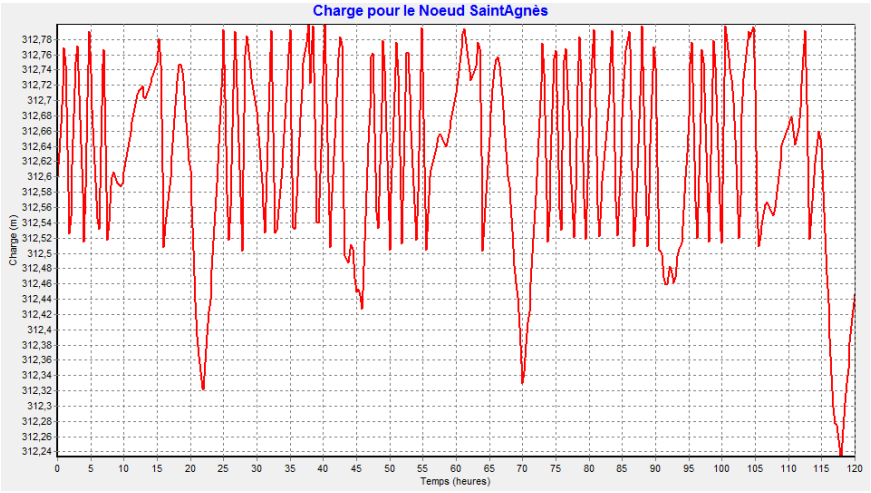


Figure 23 : Niveau d'eau dans le réservoir de Sainte Agnès en situation future de pointe avec la nouvelle pompe

IV. Analyse technico économique des travaux envisagés

1. Simulation de scénarios de crises et solution envisagée

Différentes casses ont été simulées de manière à analyser le temps dont dispose le syndicat pour trouver des solutions ou les réparer avant que les abonnés ne se retrouvent sans eau [Figure 24].

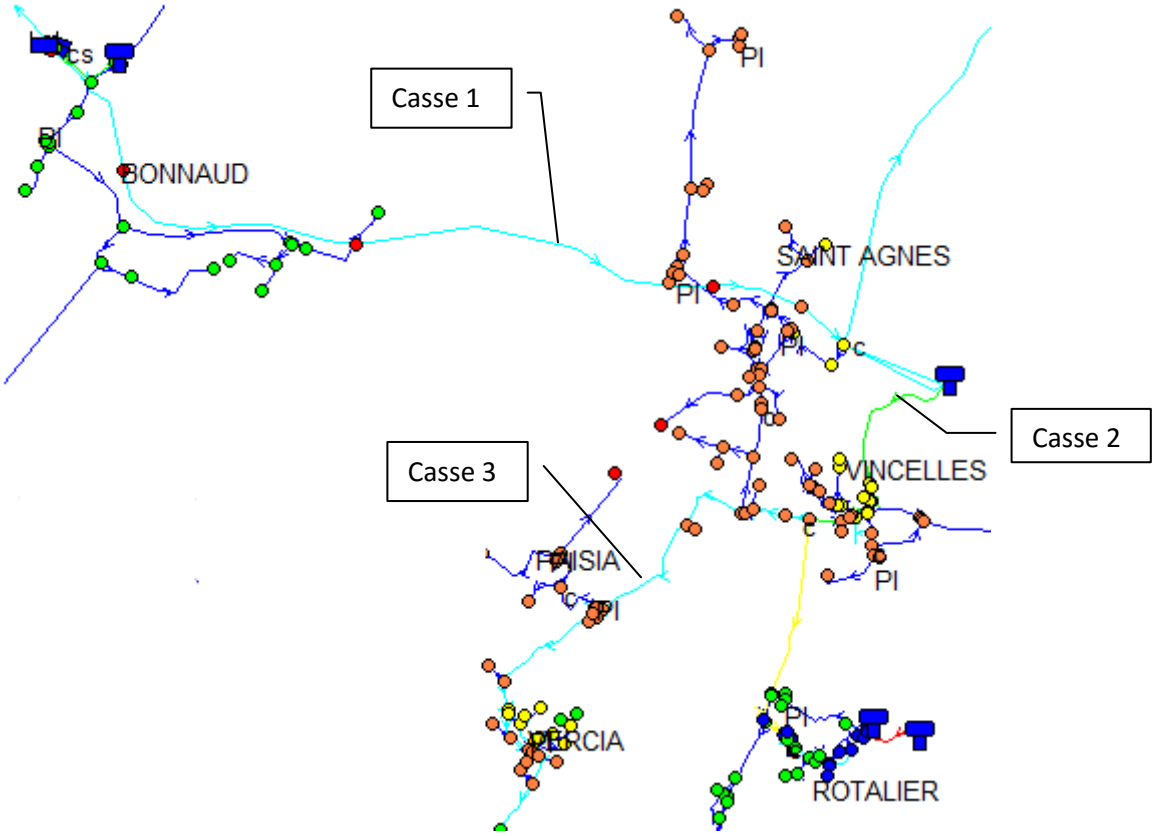


Figure 24 : Position des casses simulées

i. Casse sur la conduite de remplissage de Sainte Agnès

Le pire scénario de crise envisageable serait une casse sur la conduite issue de la station de pompage et alimentant le réservoir de Sainte Agnès car c'est grâce à cette conduite que sont alimentés plus des 3/4 des habitants du syndicat [Casse 1 : Figure 24].

	Réservoir vide	Village sans eau
Sainte Agnès	1h	7h30
Rotalier (les deux)	9h	9h
Beaufort	8h	8h30
Maynal haut	10h30	Sorbier Seillères : 8h30

Maynal bas	38 h	Le Bourg : 39h
Gevingey	13h	13h15
Grusse	x	4h15
Vincelles		
Vercia et Paisia		
Orbagna, Crève Cœur, Rambey		
Cesancey		7h30

Tableau 15 : Observation des temps critiques en cas de casse sur la conduite de remplissage du réservoir de Sainte Agnès

Dans ce cas, les premières coupures d'eau apparaitraient au bout de 4h et quart et concerneraient plus de 1000 habitants soit un cinquième de la population du syndicat. Une jonction a été envisagée de manière à sécuriser l'alimentation du haut service. Celle-ci relierait la station de pompage à Paisia tout en assurant l'alimentation de Bonnaud, du Péron et de ses alentours [Figure 27]. En cas de casse à cet endroit, la jonction permettrait d'assurer la continuité de l'alimentation du haut service à condition d'ouvrir la vanne à Sainte Agnès. Aucun réservoir ne se vide et aucune coupure d'eau même ponctuelle n'est à déplorer.

ii. Casse sur la conduite d'alimentation de Vincelles depuis Saint Agnès

Une casse a ensuite été simulée sur la conduite d'alimentation de Vincelles depuis le réservoir de Saint Agnès [Casse 2 : Figure 24]. C'est par cette canalisation que la majorité du haut service (partie Sud) est alimentée puisqu'en temps normal, la vanne située au sud de Sainte Agnès est fermée.

	Réservoir vide	**Village sans eau**
Sainte Agnès	Jamais	Nord : jamais Sud : 2h30
Rotalier (les deux)	8h30	8h30
Maynal haut	8h30	Le Bourg : 39h Sorbier Seillères : 2h30
Maynal bas	39h	
Beaufort	2h30	2h30
Grusse	x	
Vincelles		
Vercia et Paisia		
Orbagna, Crève Cœur, Rambey		

Tableau 16: Temps critiques en cas de casse entre le réservoir de Sainte Agnès et Vincelles

Dans cette situation, tout le sud du syndicat, excepté le bourg de Maynal, se trouve sans eau 2h30 après la casse. Ceci est extrêmement court et ne laisse que très peu de temps au syndicat pour trouver une solution. L'ouverture de la vanne de bouclage de Sainte Agnès a été envisagée et simulée afin de voir si ceci serait une solution de dépannage. Il s'est avéré qu'alors, le réservoir de Beaufort se retrouvait vide pendant des périodes ponctuelles de 12h, de ce fait, le fonctionnement de la vanne assurant son remplissage a été modifié, celle-ci a été laissée ouverte toute la journée.

Dans ce cas, seules des coupures d'eau très courtes sont observées au niveau d'un faible nombre de points, de même les réservoirs sont vides par périodes [Figure 25]. Les pressions sont tout

de même faibles au niveau de Beaufort, l'est d'Orbagna et les hameaux de Maynal [Figure 26]. Les heures de la première coupure et du premier instant où les réservoirs se vident ont été relevées uniquement pour les villages concernés [Tableau 17]

	Réservoir vide	Village sans eau
Rotalier (les deux)	Jamais	18h15
Maynal haut	17h	Jamais
Maynal bas	Jamais	
Beaufort	14h	19h
Grusse	x	19h

Tableau 17 : Temps critiques en cas de casse entre le réservoir de Sainte Agnès et Vincelles en ouvrant la vanne de Sainte Agnès

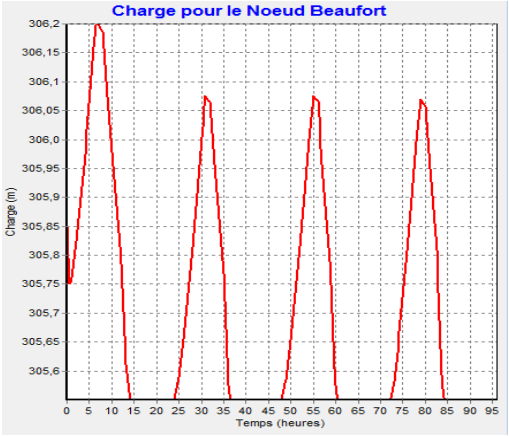


Figure 25 : Niveau d'eau dans le réservoir de Beaufort en cas de casse

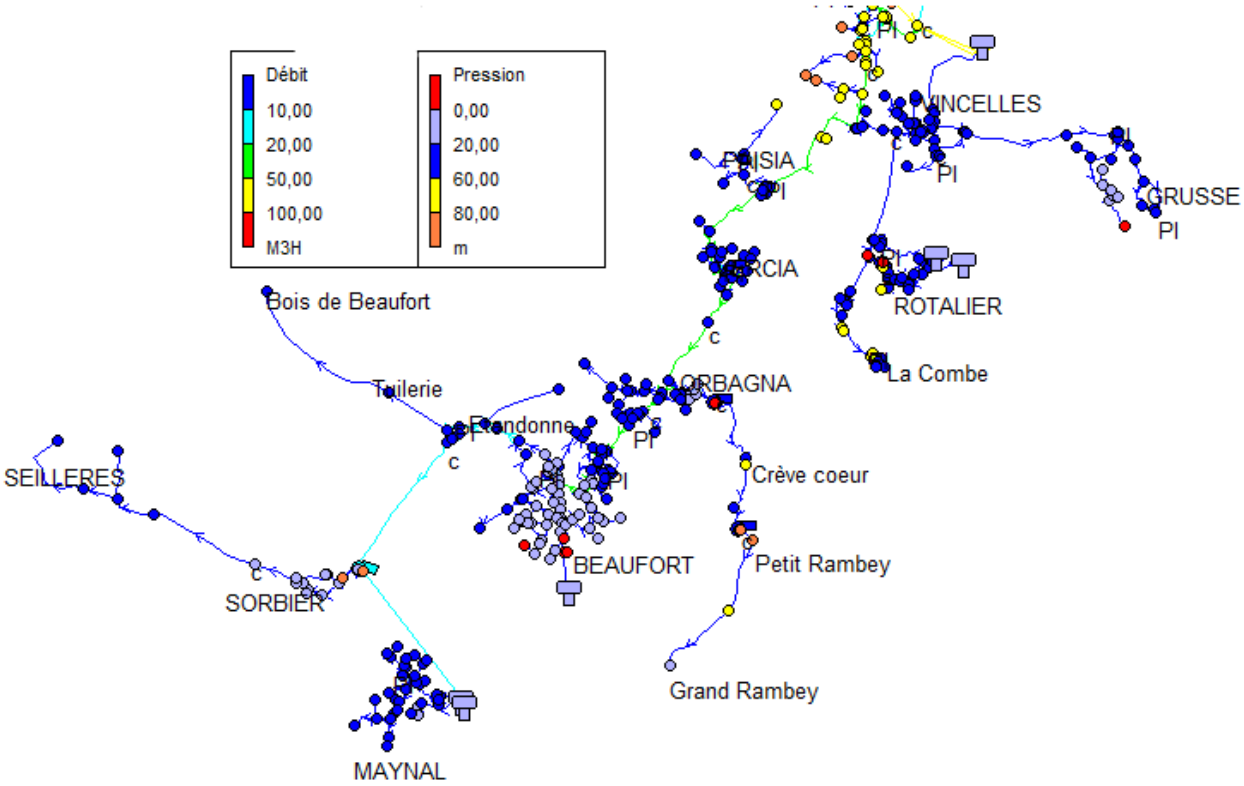


Figure 26 : Pressions au sud du haut service en cas de casse entre Sainte Agnès et Vincelles

Au vu des résultats, il s'avère qu'en cas de casse sur cette conduite, en ouvrant la vanne du bouclage de Sainte Agnès et celle de Beaufort toute la journée, les conséquences sont largement limitées ce qui offre au syndicat plus de temps pour réparer la fuite. Les pressions observées, notamment à Beaufort sont cependant assez faibles.

Le maillage permettrait d'assurer la continuité de la distribution sur tout le syndicat à condition d'ouvrir la vanne de Saint Agnès même en cas de casse à cet endroit.

iii. Casse entre Vincelles et Paisia

Finalement, une casse a été envisagée entre Vincelles et Paisia de manière à observer l'autonomie du réservoir de Beaufort dont le niveau initial correspond au niveau maximal au moment de la casse [Casse 3 : Figure 24]. La vanne entre Orbagna est Beaufort est alors laissée ouverte toute la journée.

<table>
<tr><th></th><th>Réservoir vide</th><th>Village sans eau</th></tr>
<tr><td>Beaufort</td><td>9h</td><td>9h</td></tr>
<tr><td>Maynal haut</td><td>10h30</td><td rowspan="2">Sorbier, Seillères : 9h
Bourg : 39h</td></tr>
<tr><td>Maynal bas</td><td>39h</td></tr>
<tr><td>Orbagna, Crève Cœur, Rambey</td><td rowspan="2">x</td><td rowspan="2">9h</td></tr>
<tr><td>Vercia et Paisia</td></tr>
</table>

L'autonomie du réservoir de Beaufort pour l'alimentation du sud du syndicat à partir de Vercia est donc de 9h lorsque celui-ci est initialement plein. Aussi, si une casse survient sur une conduite plus au sud (entre Vercia et Orbagna par exemple), le syndicat aura plus de 10h pour réparer la fuite.

Grâce au maillage, dans cette situation, l'alimentation est assurée partout sans interruption.

2. Sécurisation de l'alimentation

Les analyses réalisées précédemment grâce à la campagne de mesure, aux visites sur le terrain, à la modélisation et aux concertations avec le syndicat, ont permis de mettre en évidence diverses améliorations à apporter. Les travaux proposés dans cette partie ont été modélisés lorsque cela était possible et chiffré [8] et [9].

Les aménagements proposés ont été classés en fonction du type d'amélioration qu'ils permettent et par ordre de priorité d'intervention suivant :

- Priorité 1 : travaux à réaliser dans les 5 ans à venir
- Priorité 2 : travaux à réaliser entre les 5 et 10 ans
- Priorité 3 : travaux à réaliser entre 10 et 20 ans

a. Maillage du réseau

Le maillage envisagé permettrait de sécuriser le réseau en cas de casse notamment mais également de diminuer en partie les pressions le long de l'axe principal qui sont importantes. Le tracé du maillage suivrait la route reliant Bonnaud à Paisia sur à peine plus de 3 km (3061 m) en diamètre 150mm. 1 km de conduite serait à renforcer d'un diamètre de 80 mm à un diamètre de 150 mm entre la station et Bonnaud [Figure 27].

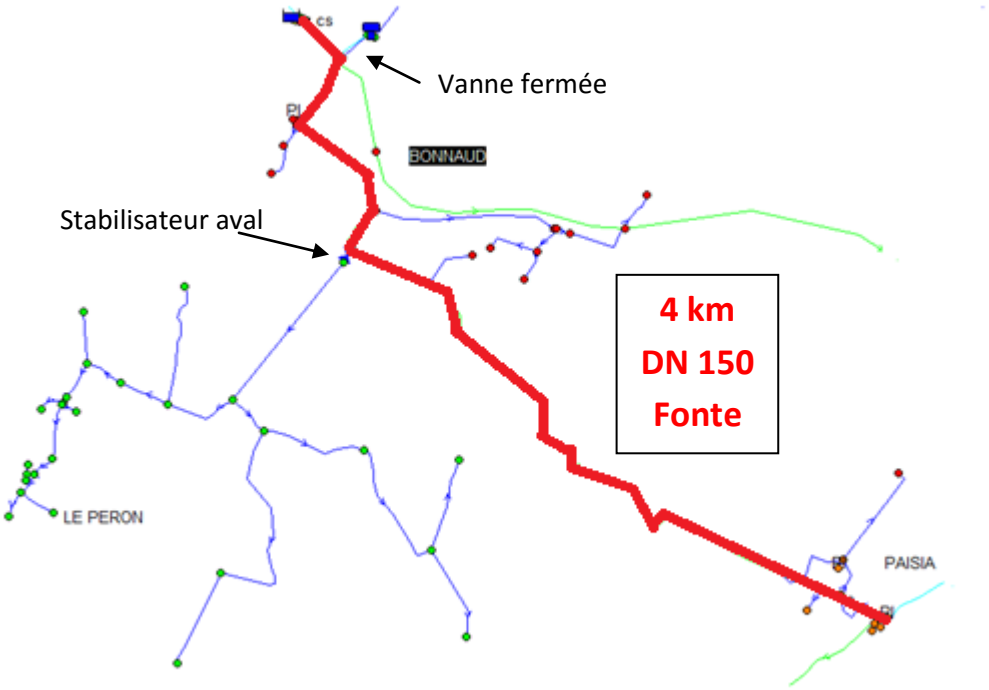


Figure 27 : Tracé de la conduite de maillage

Les effets du maillage ci-dessus ont été analysés en termes de pressions, de temps de séjour et de vitesses dans le réseau, de manière à voir s'il est réellement envisageable.

Tout d'abord, en ce qui concerne les vitesses, aucune survitesse (de plus de 1,5m/h) n'est observée. Du point de vue des pressions, ce maillage provoque une forte augmentation des pressions au niveau de Bonnaud, du Péron et de Savigny et Mallerey. Pour cela, un stabilisateur aval de pression serait à prévoir au niveau du piquage pour le Péron. De plus, en plaçant une vanne fermée entre la station de pompage et le réservoir sur la conduite créée, le problème des surpressions à Mallerey et Savigny est réglé. Au niveau du haut service, l'impact du maillage est plutôt positif puisqu'il permet de réduire quelque peu les pressions le long de l'axe principal.

Cette nouvelle conduite permettrait de diminuer énormément les temps de séjour au niveau de Bonnaud et du Péron et ses environs qui étaient supérieurs à 4 jours et qui passent alors à moins de 3 jours. A Mallerey cependant, les temps de séjour se dégradent puisque dans le réservoir de Bonnaud, le temps de séjour augmente. Or ceci n'est pas problématique puisqu'il est prévu d'améliorer le marnage de ce réservoir à l'aide d'une vanne.

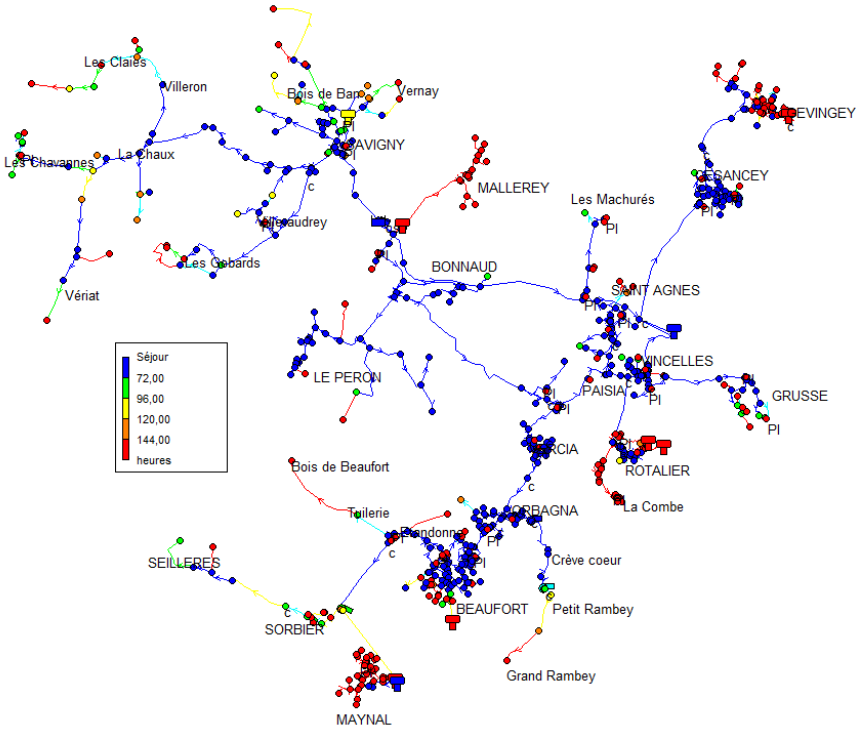


Figure 28 : Temps de séjour suite au maillage

En ce qui concerne le débit transitant dans la conduite, il apparait que dans le modèle initial, dans la conduite d'alimentation du réservoir de Saint Agnès, le débit maximum était atteint régulièrement [Figure 29].

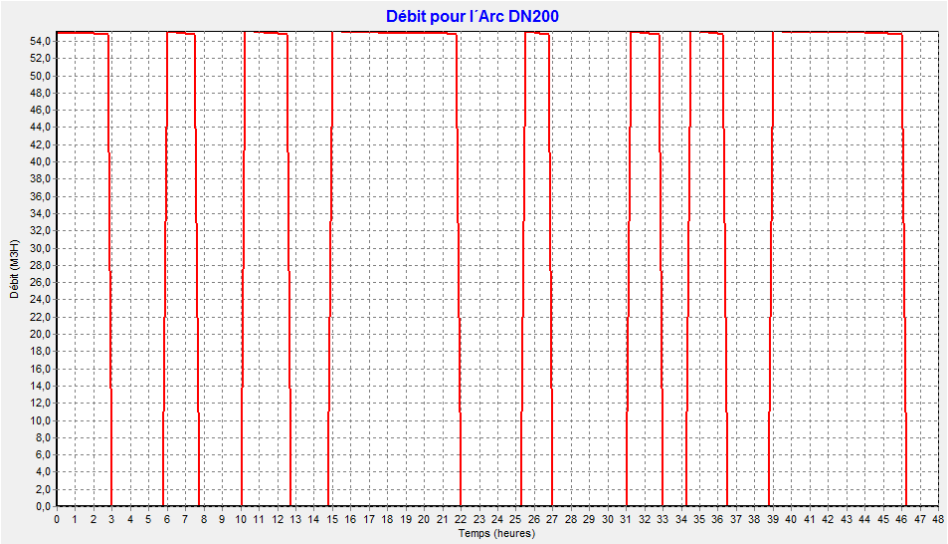


Figure 29 : Débit dans la conduite d'alimentation du réservoir de Sainte Agnès dans la situation actuelle

Grâce au maillage, le débit maximal ne serait plus atteint dans cette conduite bien qu'en fonctionnement normal du réseau, le débit y transitant serait plus important que celui transitant dans la conduite créée. La pression au niveau de la conduite existante serait de ce fait, légèrement diminuée [Figure 30].

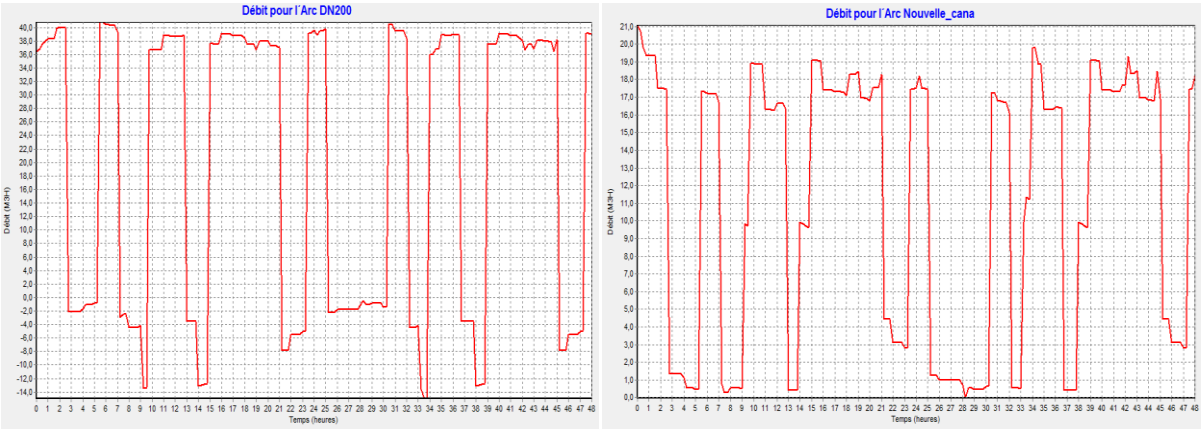


Figure 30 : Débit dans la conduite d'alimentation du réservoir de Sainte Agnès (gauche) et dans la nouvelle conduite (droite) avec le maillage

Coût des travaux (priorité 3): **600 000 € HT** (1 stabilisateur aval + 1 vanne + 3 km DN 150 + 1 km DN 80 à 150)

b. Alimentation depuis la SAUR

Une simulation a été réalisée pour estimer s'il était possible d'alimenter le syndicat par la liaison avec la SAUR située au Nord de Savigny au niveau des Claies. Pour cela, une bâche a été créée qui permet d'obtenir au point le plus au nord des Claies la charge actuelle soit 254 mCE. La charge à la bâche est donc elle aussi de 254 mCE.

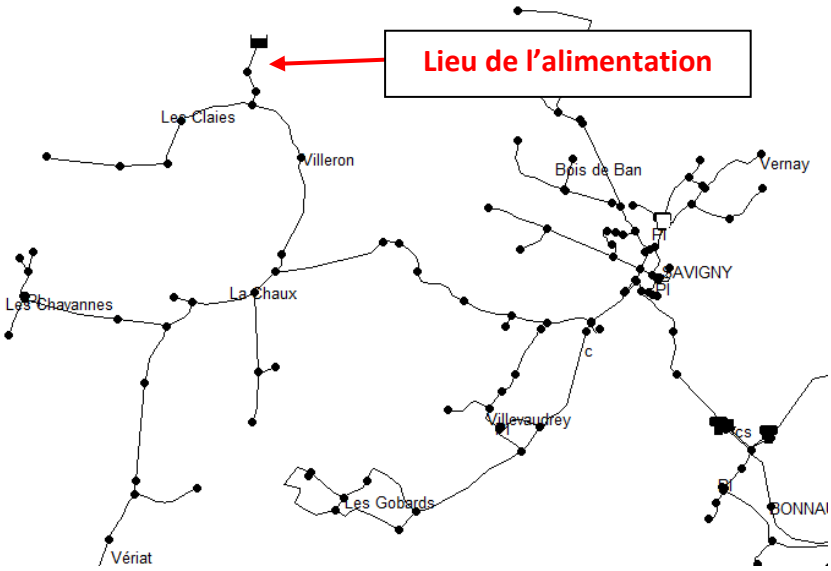


Figure 31 : Test d'alimentation du syndicat par la SAUR

L'objectif est de déterminer le débit maximal pouvant arriver à la bâche de pompage de la station de Savigny tout en alimentant le village de Savigny. Le réservoir de Savigny a donc été supprimé ainsi que la pompe d'alimentation du bas service. Un réservoir dont le niveau maximal est à la cote de la charge de la bâche actuelle soit 296 m a été créé. Il est situé à proximité de la bâche actuelle, n'est pas raccordé au haut service et est initialement vide. Sa hauteur de 2,5 m correspond à celle de la bâche actuelle.

Le premier réservoir simulé fait 100 m^3 soit 2,5 m de haut et 7,1365 m de diamètre. Celui-ci se remplit en 3h15 soit un débit de remplissage d'environ 30,77 m^3/h ce qui est vérifié grâce au modèle. Le second fait 200 m^3 soit 2,5 m de haut et 10,0925 m de diamètre. Celui-ci se remplit en 6h15, le débit de remplissage est donc de 32 m^3/h.

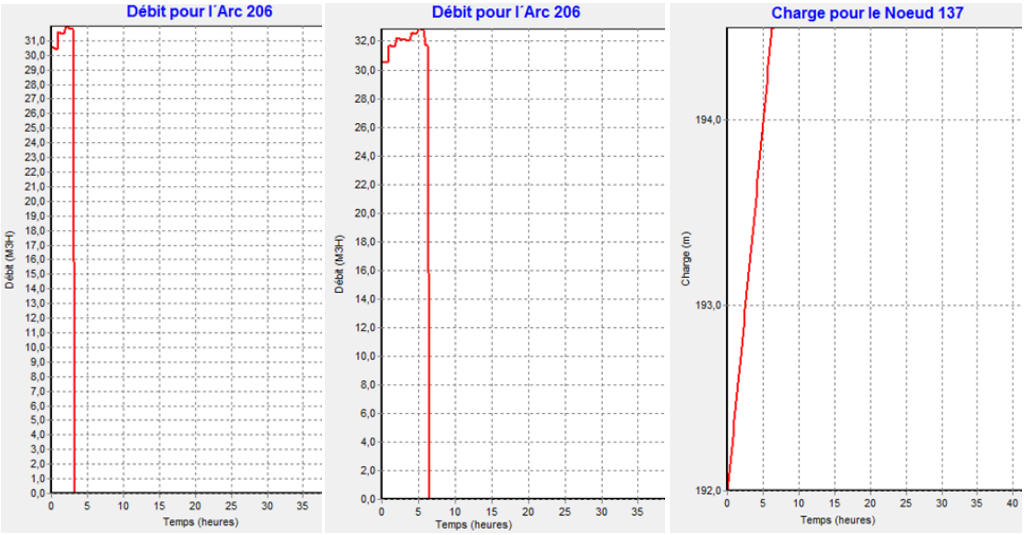


Figure 32 : Débit avec le réservoir de 100 m3 (gauche), de 200 m3 (milieu) et charge dans le réservoir de 200m3 (droite)

Dans les simulations, tant que le réservoir n'est pas plein, la pression dans le village de Savigny est nulle puisque toute l'eau de la bâche va au réservoir. Cependant, dès que le réservoir modélisé est plein, la pression à Savigny redevient correcte.

La pompe du haut service a alors été raccordée au réservoir. Il s'avère que ce raccordement à la SAUR au niveau des Claies permet bien d'assurer l'alimentation du haut service. La pression à Savigny est encore nulle lorsque le réservoir n'est pas plein.

La pompe du bas service a été raccordée également de manière à remplir le réservoir de Bonnaud et Savigny depuis la bâche de pompage. Il s'avère que très rapidement, la bâche se vide car le débit de 30 m^3/h arrivant des Claies n'est pas suffisant pour assurer la demande totale d'eau du haut service et du bas service.

3. Amélioration du fonctionnement hydraulique

a. Réduction des surpressions

Il est très difficile de diminuer les surpressions situées le long de l'axe principal du syndicat. Pour réduire les autres surpressions observées, un stabilisateur aval de pressions vers les Machurés (au croisement vers la poste entre chemin des Vignes et le chemin de la croix rouge) et un réducteur de pression (rue des fontaines de Vincelles) pour le sud de Vincelles et Grusse sont préconisés. Leurs effets ont été observés grâce à des simulations [Figure 33].

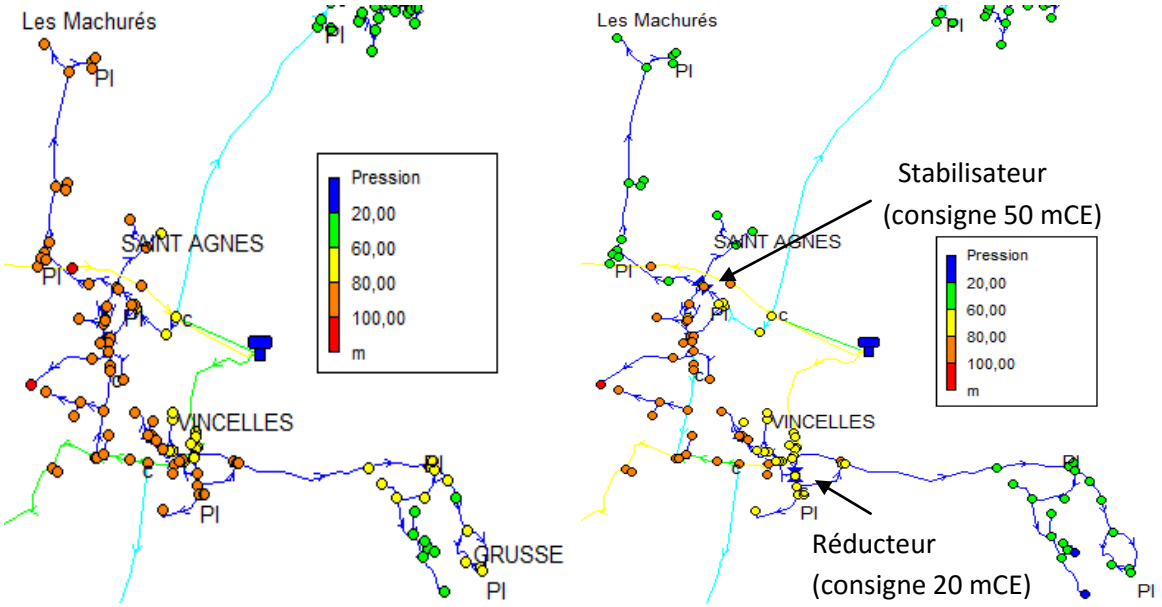


Figure 33 : Pressions avant (gauche) et après (droite) mise en place des réducteurs de pressions

Coût des travaux (priorité 1) : 28 000 € HT (réducteur de pression DN 100 : 610 € HT et Stabilisateur de pression DN 125 : 1020 €+ 26 000 € pose)

b. Marnage des réservoirs

Dans le but de gérer les temps de séjour importants observés, une modification possible serait d'améliorer le marnage de certains réservoirs.

i. Gevingey

C'est ce réservoir qui présente le temps de séjour le plus long : plus de 20 jours. Ceci s'explique par sa taille importante de plus de 500 m^3 comparée à la consommation journalière de Gevingey : 25 m^3/jour. Différents scénarios ont été comparés d'un point de vue technique et économique.

- ✓ ***Scénario 1 :*** *Modifier le réglage de la vanne*

La consommation de Gevingey est en moyenne de 50 m^3/jour et celle de Cesancey également. Ceci représente une variation d'un mètre dans le réservoir de Gevingey dont le diamètre est de 13 m. La solution la plus simple envisagée consisterait à installer une vanne altimétrique entre Saint Agnès et Cesancey dont les hauteurs d'ouverture et de fermeture seraient espacées de 50 cm [Figure 34].

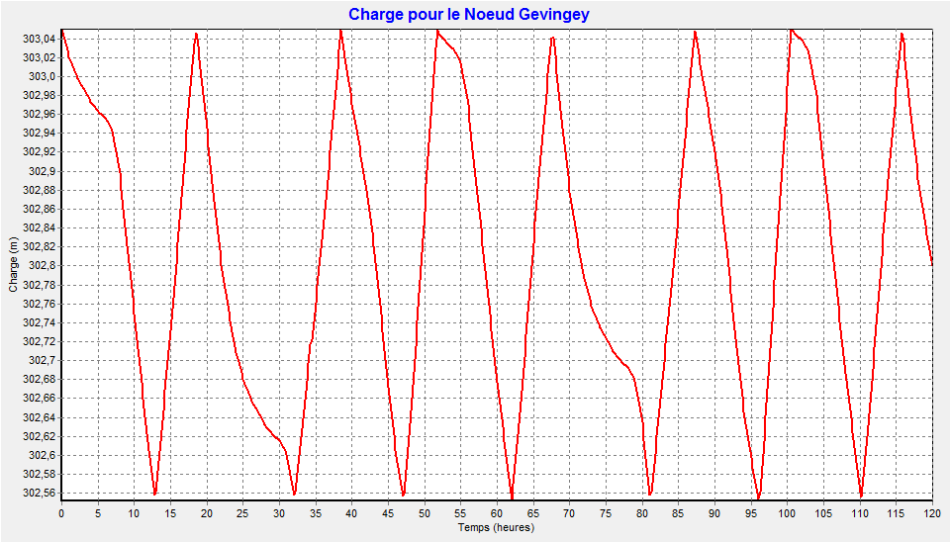


Figure 34 : Marnage du réservoir de Gevingey dans le scénario 1

Malgré le marnage journalier observé, la présence d'une réserve incendie de 120 m^3 dans ce réservoir et la longueur de la canalisation le reliant au réservoir de Gevingey, induisent un temps de séjour d'un peu plus de 7 jours ce qui est toujours supérieur à la limite préconisée mais améliore nettement le fonctionnement de ce réservoir.

Cette solution ne permet pas de respecter la limite mais est très rapide à mettre en œuvre et beaucoup moins onéreuse que les autres, puisque la vanne altimétrique présente actuellement à l'entrée du réservoir pourrait éventuellement être déplacée et réutilisée.

Coût des travaux (priorité 1) : 15 000 € HT (vanne altimétrique DN 150 : 4800 € + 10 000 € de pose + Electromécanique, radio : 3 000€ HT [10])

- ✓ ***Scénario 2 :*** *Supprimer le réservoir*

Une autre solution étudiée serait de supprimer complètement le réservoir de Gevingey qui commence à être vétuste puisqu'il a été mis en service en 1930. Ceci permet (en conservant le surpresseur actuel) d'obtenir des pressions suffisantes sur le haut du village excepté au niveau du poteau incendie où les pressions sont toujours situées autour de 1,6 bar ce qui est assez faible [Figure 35].

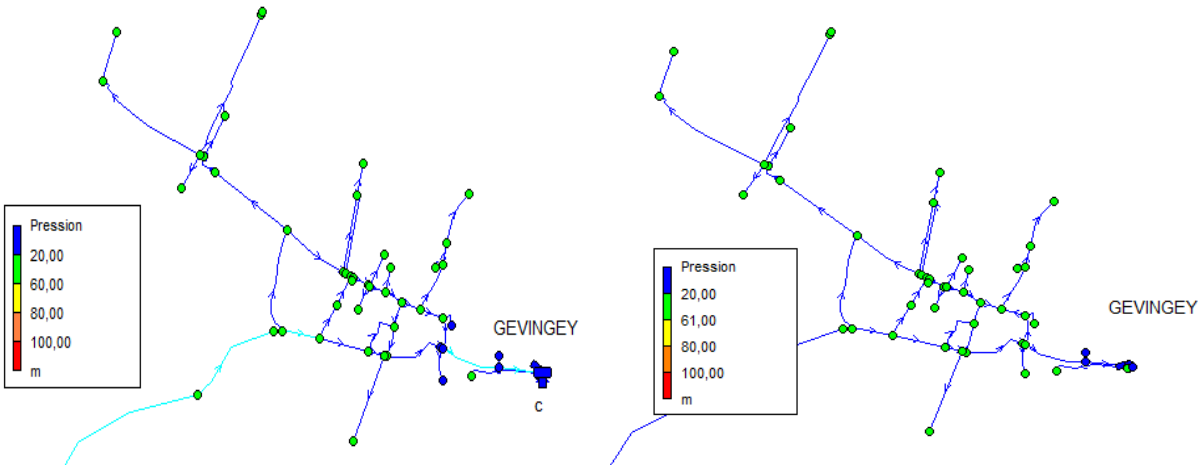


Figure 35 : Pressions à Gevingey avec le réservoir (à gauche) et sans (à droite)

Le réservoir de Gevingey alimentait auparavant Gevingey et de temps en temps Cesancey. Les faibles consommations de ces villages n'influent quasiment pas sur le marnage du réservoir de Sainte Agnès qui les alimente alors directement. De plus, cela permettre de réduire énormément le temps de séjour au sein du village [Figure 36].

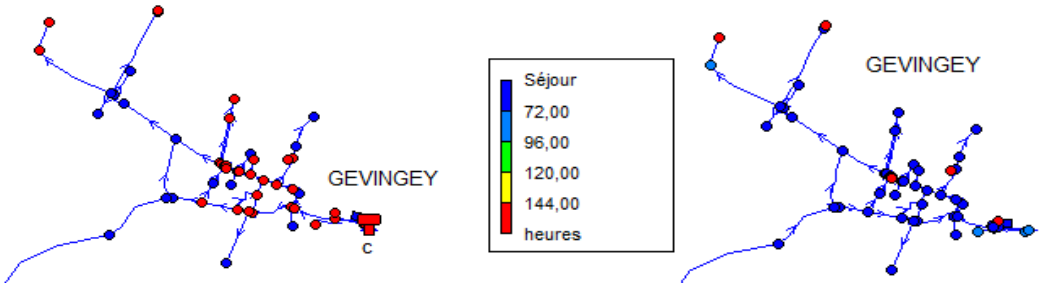


Figure 36 : Temps de séjour à Gevingey avec le réservoir (à gauche) et sans (à droite)

Coût des travaux (priorité 1) : 56 000 € HT (Raccordement du quartier haut : 5 300 € + démontage du réservoir : 50 000 € HT)

✓ ***Scénario 3 :*** *Création d'un réservoir moyen avec réserve incendie*

Le diamètre du réservoir semble extrêmement grand ce qui provoque un temps de séjour très important. La création d'un plus petit réservoir a été envisagée. L'idéal serait de surélever le nouveau réservoir par rapport au réservoir actuel de manière à augmenter un peu la pression sur le haut du village.

De manière à conserver une réserve incendie de 120 m^3, les dimensions du réservoir de 220 m^3 seraient :

- 8 m de diamètre
- 4 m de haut (2,5 m pour la RI et 1 m pour les consommations des deux villages)

Une vanne altimétrique entre Cesancey et Gevingey serait également à prévoir. Si la cote du radier du réservoir est située à 304 m ou plus, la pression peut être suffisante sur le haut du village. La connaissance des consommations permettra de régler la vanne de manière à faire marner le réservoir 1 fois par jour. Cependant, pour les mêmes raisons qu'actuellement, le temps de séjour sera assez grand soit de 7 jours environ.

Coût des travaux : 260 000 € HT (Chiffrage nouveau réservoir (67 000 cuve + 28 000 € chambre + 100 000 € Chambre des vannes et isolation extérieure = 195 000 € HT) + vanne altimétrique (15 000 € HT) + démontage du réservoir : 50 000 € HT)

✓ ***Scénario 4 :*** *Création d'un petit réservoir sans réserve incendie*

La faiblesse des consommations de Gevingey et Cesancey et le volume important de la réserve incendie semblent assez incompatible avec des temps de séjour corrects. Aussi, un scénario a été envisagé pour lequel un petit réservoir serait construit qui assurerait uniquement la consommation de Gevingey (et éventuellement Cesancey).

Un réservoir de 4,6 m de diamètre et 2,5 m de haut soit une quarantaine de mètres cubes est suffisant puisque chaque jour, la consommation de Gevingey provoquerait un marnage de 1,5 m et celle des deux villages de 2,1 m. Le temps de séjour serait alors inférieur à 3 jours (2,7 jours) ce qui assurerait une meilleure qualité de l'eau à Gevingey

Coût des travaux: 244 000 € HT (Chiffrage nouveau réservoir (GC : Cuve 54 000 € + Chambre 25000 € + Chambre des vannes et isolation extérieure 100 000 € = 179 000 €) + Vanne altimétrique : 15 000 € HT + Démontage du réservoir : 50 000 €)

Remarque : Au niveau de Gevingey, quelque soit le scénario, la pression au niveau du poteau incendie situé actuellement juste à l'aval du réservoir est faible. Aussi celui-ci ne semble pas être très fonctionnel, il est conseillé de le déplacer.

Coût des travaux : 500€ HT SADE : dépose et repose d'un poteau existant

ii. Bonnaud

En ce qui concerne le réservoir de Bonnaud, il ne marne actuellement pas car sa régulation est assurée par le biais d'un robinet à flotteur ce qui maintient son niveau haut. L'installation d'une vanne altimétrique, juste à l'amont du réservoir, permet de faire marner ce réservoir tout en gardant une hauteur d'eau minimale de 2,5 m pour la réserve incendie [Figure 37]. En réglant cette vanne de manière à ce que la différence entre les niveaux haut et bas (de fermeture et d'ouverture de la vanne) soit de 2 m au maximum, il est possible de faire descendre le temps de séjour largement sous le seuil des trois jours préconisé. Ainsi, le temps de séjour à Bonnaud est également amélioré ainsi qu'au niveau du secteur du Péron [Figure 37].

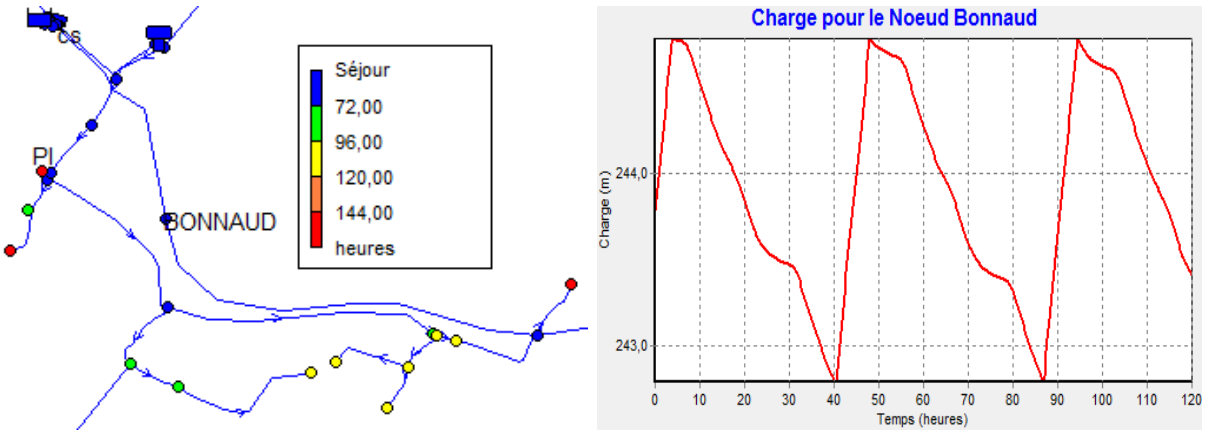


Figure 37 : Temps de séjour et marnage du réservoir après ajout d'une vanne altimétrique juste à l'amont

Coût des travaux (priorité 1) : 12 000 € HT (Vanne altimétrique DN 80 : 3 100 € + Pose : 8 600 €)

iii. Beaufort

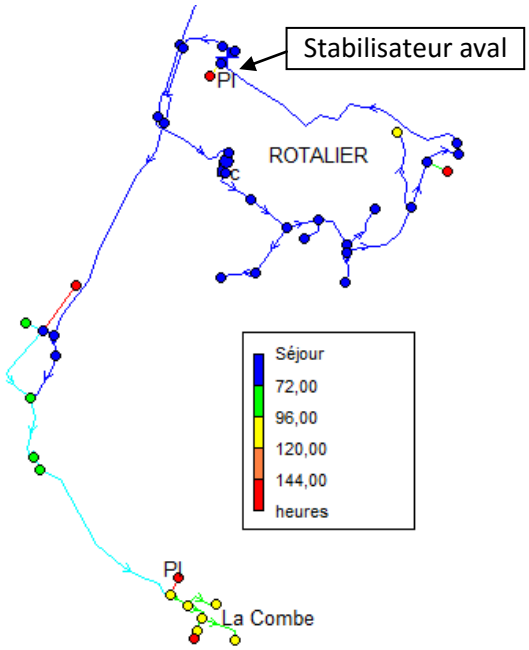
En ce qui concerne le réservoir de Beaufort, une solution testée serait de remplacer la vanne réglée sur les horaires par une vanne altimétrique ou de fermer plus souvent la vanne existante. Par contre, ces solutions ne provoquent pas une diminution suffisante du temps de séjour du réservoir et du secteur aval pour justifier des travaux.

Au vu des résultats du modèle et de la campagne de mesures, une rechloration à une concentration de 0,2 mg/L à ce niveau est plutôt préconisée de manière à assurer une bonne qualité de l'eau sur le secteur de Beaufort mais aussi, plus à l'aval, de Maynal et de ses hameaux

Coût des travaux (priorité 1) : 15 000 € HT

iv. Rotalier

Les deux réservoirs de Rotalier présentent des temps de séjour importants et le réservoir bas, dont le rôle essentiel est de briser la charge pour La Combe, nécessite des travaux importants. En effet, il présente d'importantes traces d'humidité sur les murs intérieurs. Son étanchéité extérieure nécessiterait donc d'être refaite et ses organes vétustes semblent à changer. Sa suppression a donc été envisagée, ce qui permettrait d'éviter les travaux d'une part et, plus important, de réduire les temps de séjour au niveau de la Combe et même du réservoir haut.



La suppression du réservoir bas nécessite la mise en place d'un stabilisateur de pression préconisé après le PI situé vers le château Gréa afin que la pression au PI soit assez grande. Cependant bien que ceci réduise les temps de séjour, ils sont toujours compris entre 5 et 6 jours ce qui est déjà mieux au niveau de la Combe.

Figure 38: Temps de séjour à Rotalier après suppression des deux réservoirs

La suppression des deux réservoirs permet d'obtenir des temps de séjour inférieurs à 4 jours [Figure 38]. Ceci implique de diminuer légèrement la HMT du surpresseur. L'existence des réservoirs de Rotalier n'est pas une nécessité car la consommation moyenne annuelle de ce village est de 25 m^3/jour. Cependant, le surpresseur ne peut pas fonctionner en continu, aussi il a été préféré de ne supprimer que le réservoir bas.

Coût des travaux (priorité 1) : 22 000 € HT (contournement du réservoir : 7000 € + fourniture et pose d'un stabilisateur DN 125 : 15 000 €)

Coût des travaux (priorité 2) : 50 000 € HT (Démontage du réservoir)

v. Savigny

Le temps de séjour du réservoir de Savigny est de 3,5 jours, il nécessiterait éventuellement d'être légèrement amélioré en jouant sur les temps de fonctionnement des pompes ou en diminuant un peu le niveau haut.

vi. Maynal

Différents scénarios ont été comparés d'un point de vue technique et économique.

✓ ***Scénario 1 :*** *Modifier la hauteur de marnage du réservoir bas*

Il apparait que le temps de séjour élevé au niveau du village de Maynal est en partie dû au temps de séjour important dans le réservoir bas. En diminuant de 2m la hauteur d'eau dans ce réservoir ce qui signifie que la cote de l'eau qui oscillait entre 308,44 et 308,49m oscille actuellement entre 306,44 m et 306,49 m, une nette amélioration des temps de séjour est observée.

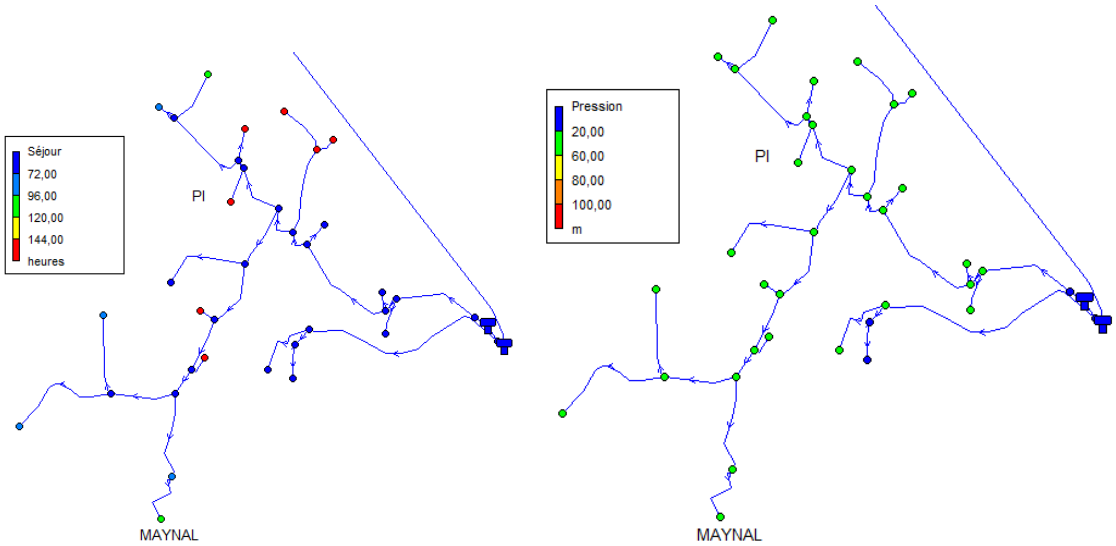
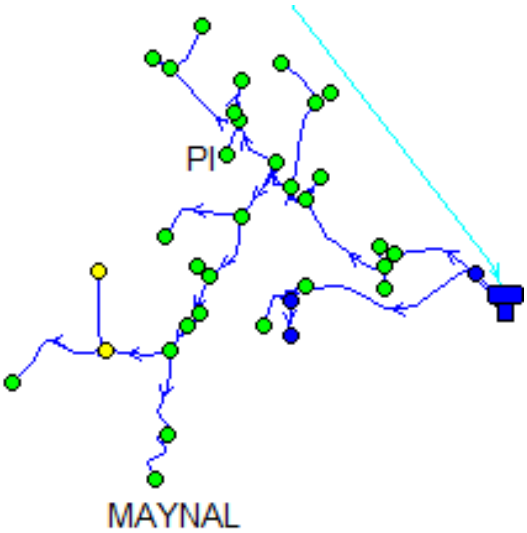


Figure 39 : Temps de séjour et pressions à Maynal après diminution de 2 m du niveau de l'eau dans le réservoir bas

✓ ***Scénario 2 :*** *Supprimer le réservoir bas*



Ce réservoir étant assez ancien, une suppression a été simulée. Celle-ci est possible mais elle créé de légère surpression sur le bas du village (bien que les pressions soient toujours inférieure à 6,5 bar). Le temps de séjour est alors bien diminué mais n'est toujours pas inférieur aux trois jours préconisés car l'eau provient en partie du réservoir de Beaufort au sein duquel le temps de séjour est long. La chloration préconisée au niveau de Beaufort permettra d'améliorer la qualité de l'eau à Maynal en même temps.

Figure 40 : Pressions à Maynal après suppression du réservoir bas

Cependant, comme ce réservoir est actuellement l'unique réserve incendie du village, sa suppression n'est pas envisageable actuellement.

Coût des travaux : 62 000 € HT (démontage du réservoir : 50 000 € HT+ Raccord 12 000 € HT)

✓ ***Remarque***

A Maynal, quelque soit le scénario présenté précédemment, les pressions au niveau de l'Eglise sont toujours légèrement faibles. Un surpresseur à cet endroit serait à envisager si le scénario 3, envisageant la création d'un réservoir plus haut, n'est pas retenu.

D'un point de vue des pressions, il semble préférable d'envisager ce raccordement dans une situation où le réservoir bas de Maynal serait supprimé cependant le volume du réservoir haut est assez faible. En effet, ce réservoir ne fait que 30 m^3 et la consommation du bourg de Maynal atteint parfois 10 m^3/jour et celle d'Augea 60 m^3/jour notamment en hiver lorsque le bétail est rentré.

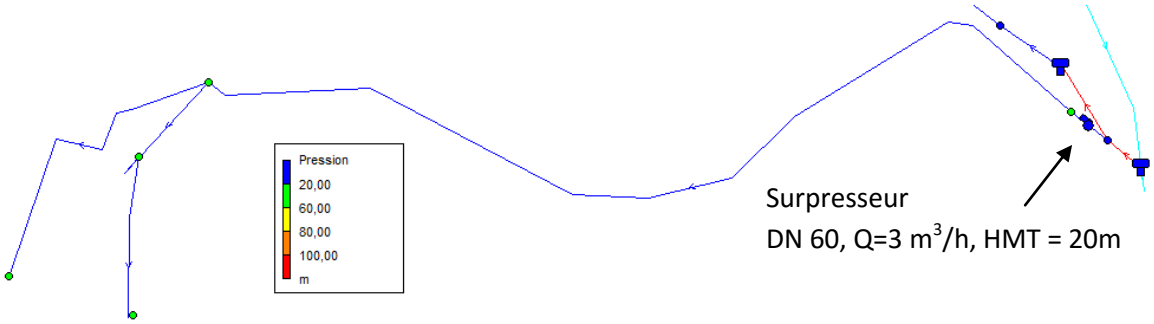


Figure 41 : Pressions au niveau du quartier de l'Eglise de Maynal après ajout d'un surpresseur

Coût des travaux : 50 000 € HT (Surpresseur DN 60, Q=0,2 m3/h, HMT = 20 min à chiffrer (7000 KSB (50 000 € avec GC ou 25 000 sans (si on le met dans le réservoir)))

✓ ***Scénario 3 :*** *Création d'un nouveau réservoir à Maynal*

De manière à palier au problème des faibles pressions au niveau du quartier de l'église et à permettre un jour d'autonomie du réservoir de Maynal en cas de raccordement d'Augea (Cf : Raccordement de la commune d'Augea p 59), une option serait de créer un nouveau réservoir plus haut et plus grand que le réservoir haut actuel. En construisant un réservoir dont la cote du radier serait à 325 m et d'une hauteur de 2 m, la pression est suffisante partout cependant de légère surpressions apparaissent au niveau du Bourg [Figure 42].

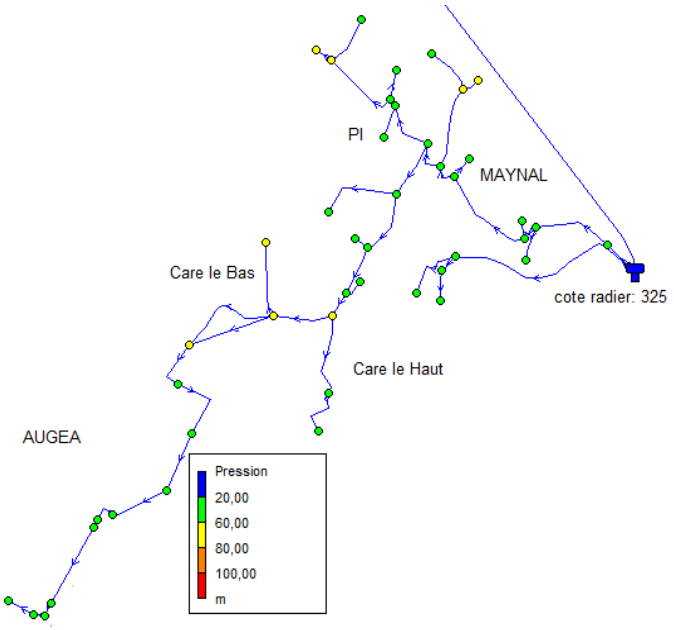
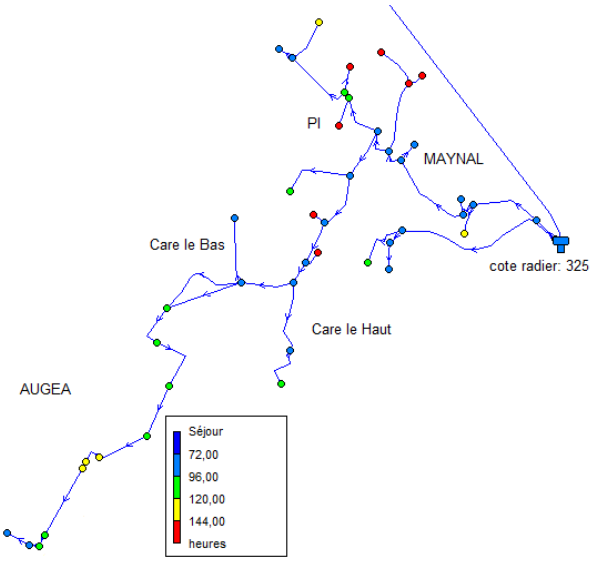


Figure 42 : Pressions à Maynal et Augea avec le nouveau réservoir plus haut

Un réservoir de 190 m^3 a été simulé ce qui aurait permis d'avoir une réserve incendie de 120 m^3 et une réserve de consommation d'un jour à Maynal bourg et Augea. Ceci provoque des temps de séjour compris entre 5 et 6 jours, ce qui n'est pas très bon pour la qualité de l'eau. Cependant, si la rechloration a lieu à Beaufort comme préconisé, ceci peut être envisagé.



Un réservoir de 70 m^3 a été simulé qui permet de contenir la réserve nécessaire à un jour de consommation dans les deux villages. Les temps de séjour sont alors meilleurs puisqu'excepté aux endroits aux consommations faibles ou nulles, ceux-ci sont inférieurs à 4 jours [Figure 43].

Figure 43 : Temps de séjour observés après création d'un nouveau réservoir

Coût des travaux (priorité 2) :

- **Scénario 1 : réservoir de 70 m^3 : 284 000 € HT** (Génie civil : Cuve : 59 000 € HT + Chambre : 25 000 € HT + 100 000 € HT pour la chambre des vannes) + 100 000 € HT destruction des deux réservoirs existants
- **Scénario 2 : réservoir de 190 m^3 : 299 000 € HT** (Génie civil : Cuve : 71 000 € HT + Chambre : 28 000 € HT + 100 000 € HT pour la chambre des vannes) + 100 000 € HT destruction des deux réservoirs existants

c. La défense incendie

Les dispositions standard applicables en vue de la lutte contre les incendies étaient précisées dans la circulaire interministérielle du 10 décembre 1951 dont les principales prescriptions étaient les suivantes :

- Les tronçons alimentant un appareil d'incendie devront être dimensionnés pour véhiculer un débit de 60 m3/h pendant 2 heures et avec une pression au sol d'au moins 10 mCE.
- Les appareils utilisés par les pompiers sont soit des bouches d'incendie, soit des poteaux d'incendie. Les appareils auront un rayon d'action de 150 m et seront donc espacés de 200 m à 300 m les uns des autres suivant l'importance des risques à défendre. Toutefois, si le risque est particulièrement faible, la zone de protection de certaines bouches d'incendie pourra être étendue à 400 m.
- L'appareil normalisé est la bouche d'incendie de Ø 100 ou Ø 150 mm.

Cette législation a récemment évoluée avec la publication du Décret n°2015-237 du 27 février 2015 relatif à la défense extérieure contre l'incendie. En effet « *La défense extérieure contre l'incendie communale n'est plus définie à partir de prescriptions nationales : les règles sont fixées, par arrêté préfectoral, au niveau départemental après concertations locales* ». Au niveau du syndicat de Beaufort, cet arrêté n'a pas encore été diffusé aussi ce rapport ne propose pas de disposition particulière à prendre d'autant que la défense incendie est maintenant une compétence communale.

Cependant, à Maynal, il n'y a actuellement aucun poteau incendie. Il serait bon d'envisager d'en placer au moins 2 lorsque les premiers travaux de renouvellement de conduite y auront lieu.

Coût des travaux (priorité 1) : 1 000 € HT

d. Amélioration de la qualité

Les temps de séjour importants présentés précédemment [Figure 17] laissent présager une qualité de l'eau distribuée assez moyenne à certains endroits. Pour palier à ce phénomène, il pourrait aussi être préconisé d'effectuer des chlorations secondaires. Une chloration au niveau du réservoir de Beaufort semble être une priorité pour augmenter la qualité à Beaufort et Maynal. Ensuite, si le marnage du réservoir du Bonnaud n'est pas amélioré rapidement, une chloration dans ce réservoir permettrait d'augmenter la qualité à Mallerey, Bonnaud, Bonnaisod et le Péron et ses environs. Concernant le réservoir de Gevingey, si des travaux plus importants ne sont pas prévus rapidement, une chloration pourrait également être envisagée. Finalement, pour améliorer la qualité de l'eau à La Combe de Rotalier, une rechloration dans le réservoir bas est préconisée si d'autres travaux ne sont pas retenus.

Coût des travaux (priorité 1) : 4 x 15 000 € = 60 000 € HT

4. Raccordement de la commune d'Augea

Comme la commune d'Augea va bientôt rejoindre le syndicat, son raccordement au SIEA Beaufort au niveau de Maynal a été simulé. De plus, ce raccordement permettrait une sécurisation de l'alimentation au niveau d'Augea où, en cas de fortes pluies, la ressource devient turbide.

a. Option 1 : Raccordement d'Augea par le haut du village

Au vu des résultats du modèle, il semble possible de raccorder Augea à Maynal en créant une canalisation d'1 km et de 80 mm de diamètre, liant Care le Bas à la conduite de refoulement distribution actuelle au niveau du réservoir d'Augea [Figure 44 et Figure 45]. Ce raccordement a été tout d'abord modélisé en supprimant le réservoir d'Augea et en plaçant sur le tracé des points dont les altitudes ont été extraites de géoportail [11].

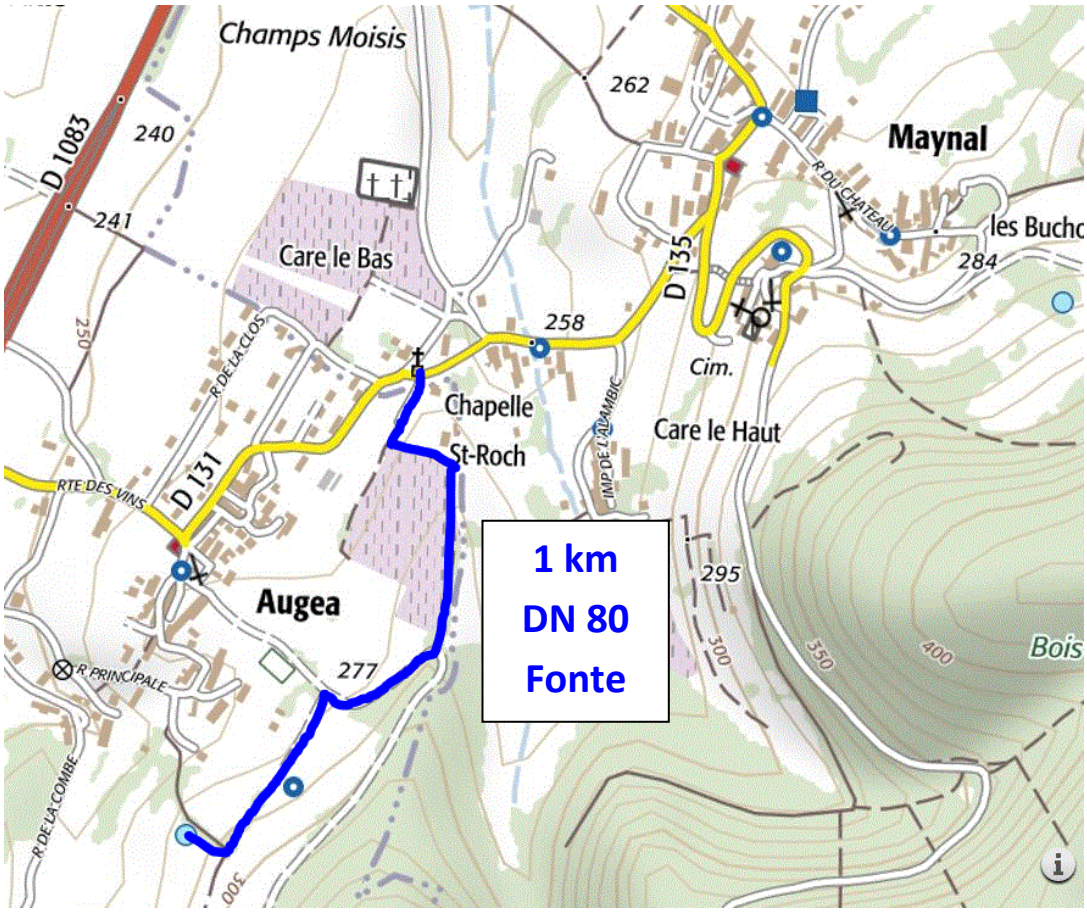


Figure 44 : Tracé de la conduite envisagée pour le raccordement d'Augea

Son raccordement a été modélisé dans le cas où le réservoir bas de Maynal ne serait pas supprimé, ceci permet d'arriver en un point situé au niveau du réservoir avec une charge comprise entre 2 et 3 bars.

En supprimant le réservoir bas de Maynal, la pression au niveau du point évoqué précédemment est comprise entre 3 et 4 bars ce qui assure une marge permettant de palier aux incertitudes du modèle [Figure 46]. Dans ce cas, les surpressions observées précédemment lorsque le réservoir bas était supprimé disparaissent. Un modèle a également été réalisé dans cette configuration avec un diamètre de 100 mm reliant le réservoir de Maynal à point précédent. La pression au point final est alors proche des 4 bars [Figure 46].

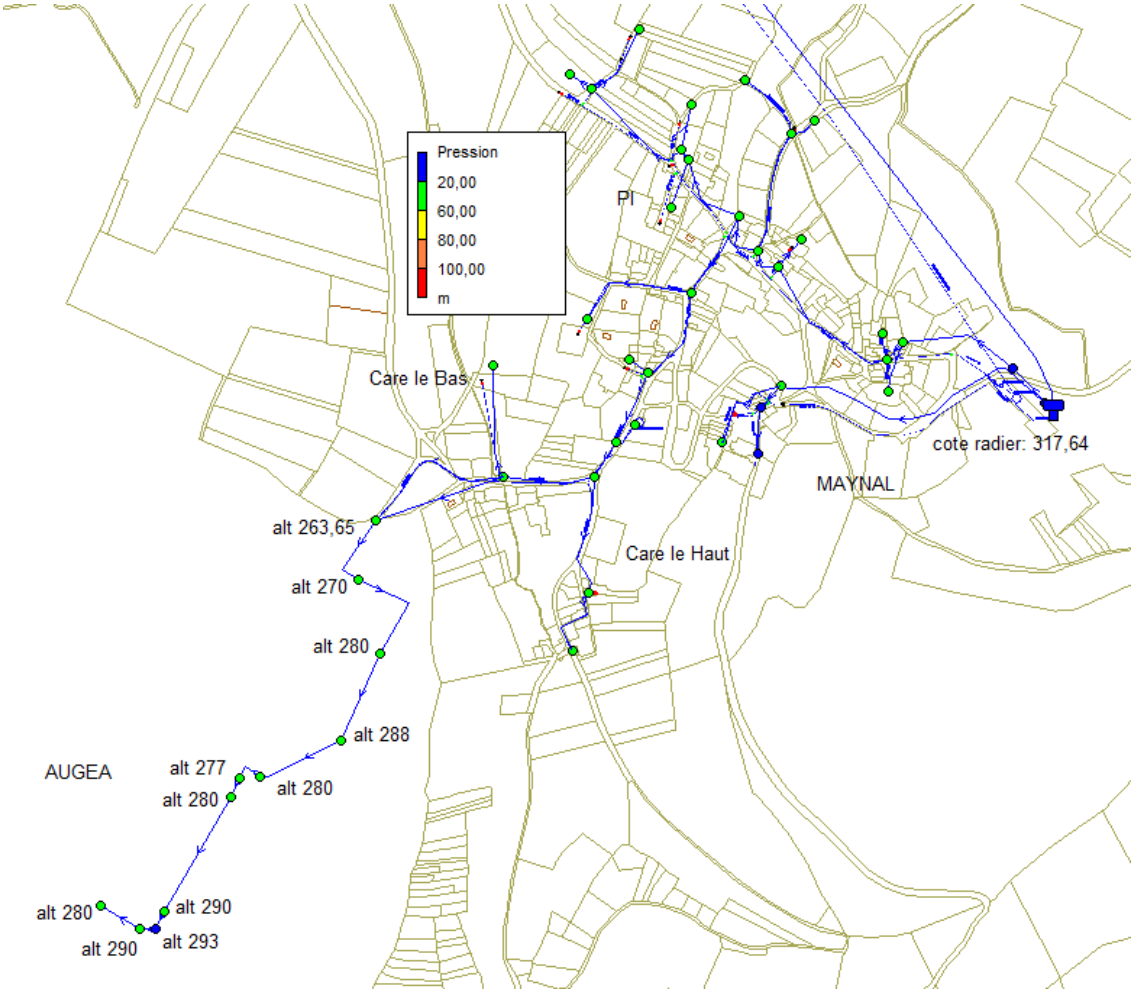


Figure 45 : Pressions observées et altitudes le long du tracé envisagé sans le réservoir bas de Maynal

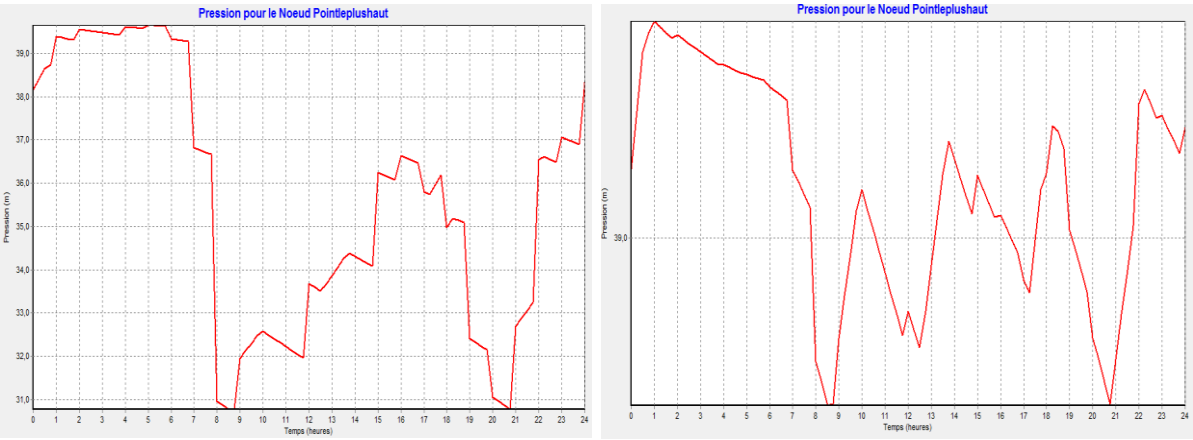


Figure 46 : Pressions observées au niveau du point haut d'Augea pour un raccordement en DN80 (gauche) et DN100 (droite)

Le raccordement a également été modélisé en conservant le réservoir d'Augea dont la cote du radier modélisé est de 290 m. Ceci est possible à condition de changer légèrement les temps d'ouverture de la vanne de Beaufort sinon ce réservoir se vide et celui de Maynal également. Une vanne altimétrique serait alors à mettre en place pour faire marner ce réservoir. La pression en sortie de réservoir est alors comprise entre 1,3 et 1,4 bar ce qui est un peu faible. Ce raccordement permet de réduire les temps de séjour à Maynal [Figure 49].

Coût des travaux (priorité 2) 135 000 € HT (2km PVC DN90 + bypass dn80 : 110 000 € + Vanne altimétrique DN80 : 25000 €)

b. Option 2 : Raccordement d'Augea par le sud

Le raccordement d'Augea a également été envisagé depuis la bâche de la station de pompage de Maynal jusqu'à la bâche de la station de pompage d'Augea. La station de pompage de Maynal est à la cote 232 m et celle d'Augea 223 m. Ce tracé de 2 km nécessite la traversée de 3 confluents du ruisseau de le Grande Fontaine [Figure 47]. Le départ de ce piquage se ferait entre un niveau bas et un niveau très bas de la bâche de la station de Maynal de manière à ce que l'extrémité du tuyau soit toujours en charge. Au vu de la topographie du tracé, il semble possible d'alimenter la station d'Augea en gravitaire. Une vanne fermée serait à prévoir, que la commune ouvrirait en cas de turbidité. 3 diamètres extérieurs ont été simulés : 125 mm ; 90 mm et 75 mm en PVC qui fonctionnent tous, même pour une grosse consommation de 60 m^3/jour.

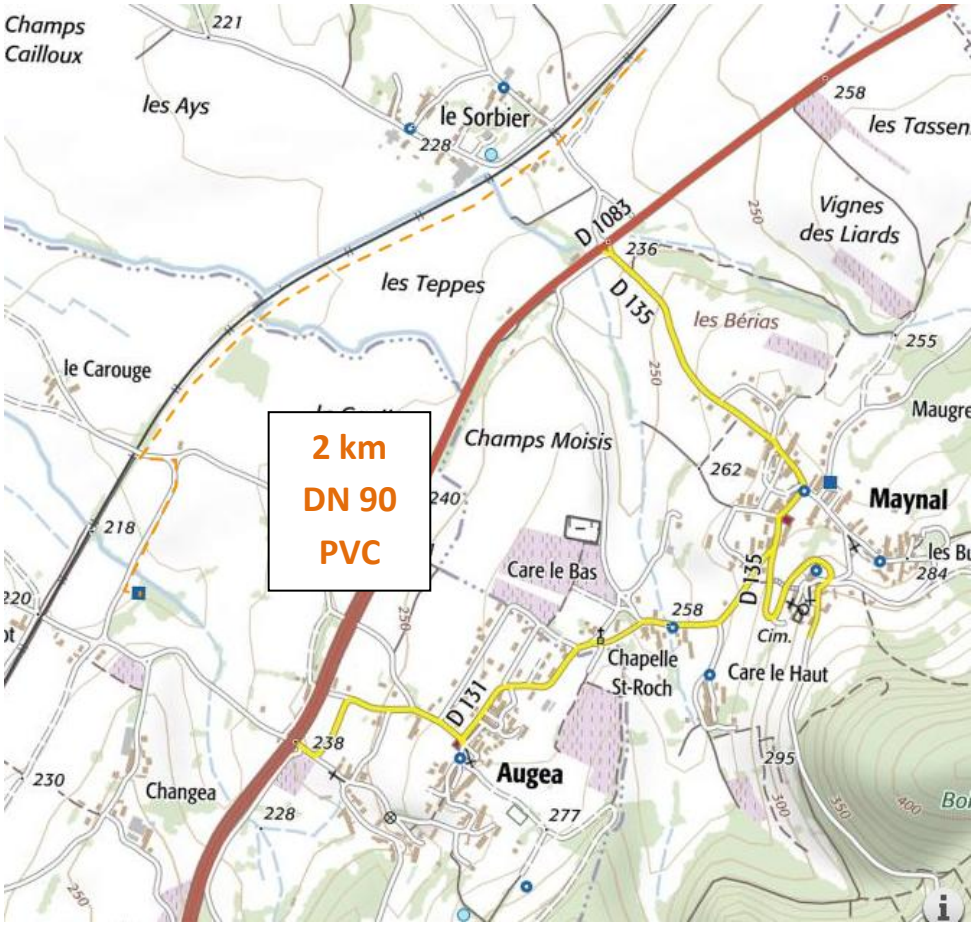


Figure 47 : Tracé du raccordement par le sud d'Augea à la station de Maynal

Dans cette situation également, il est nécessaire d'ouvrir un peu plus la vanne de Beaufort. Les pressions le long de la conduite créée et à l'arrivée en un nœud situé près de la station seraient comprises entre 2 et 9 bar [Figure 48] ce qui est assez élevé pour les valeurs maximales mais ne pose pas de problème car l'arrivée dans la bâche brisera la charge.

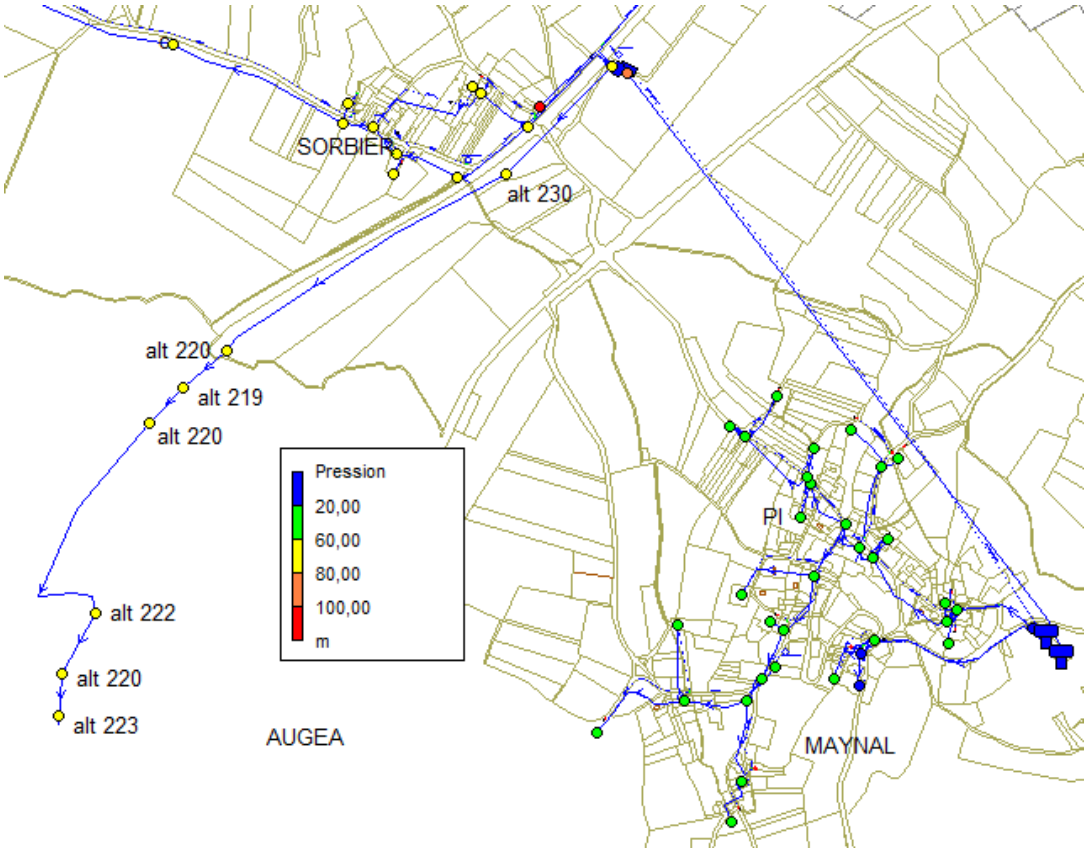


Figure 48 : Pressions le long de la conduite de raccordement créée

Ce scénario a l'avantage de permettre, contrairement au scénario pour lequel Augea est raccordé depuis le réservoir de Maynal, d'obtenir des temps de séjour inférieur à 3 jours à l'arrivée d'Augea contre un temps situé entre 3 et 4 jours dans l'autre cas [Figure 49].

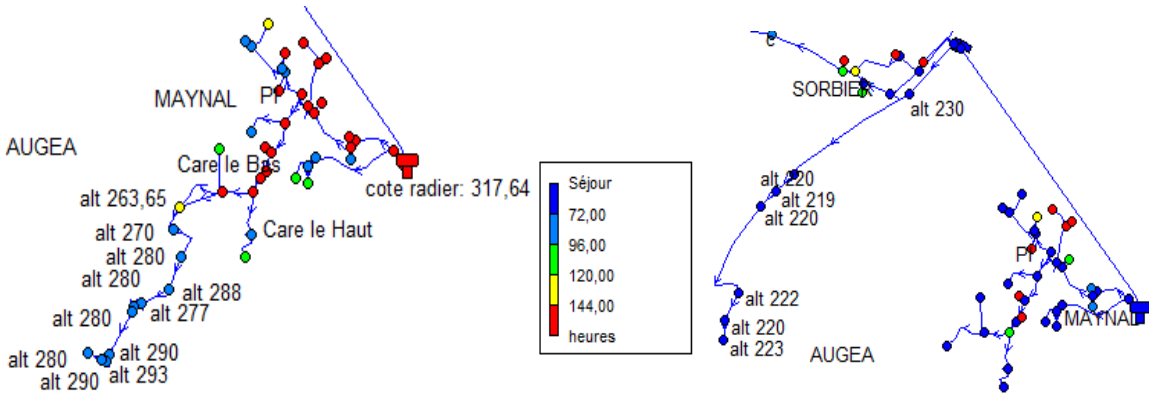


Figure 49 : Temps de séjour à Maynal et à l'arrivée d'Augea dans le cas du raccordement de cette commune

Coût des travaux (priorité 2) : 250 000 € HT

En conclusion, il serait donc possible d'envisager un raccordement d'Augea soit de manière permanente par Maynal soit de manière ponctuelle en cas de turbidité de manière à conserver la source d'Augea qui est la plupart du temps de bonne qualité. En cas de turbidité, ce raccordement ponctuel pourrait consister soit à stopper l'alimentation du réservoir d'Augea par sa source et alimenter directement le village par le biais du réservoir de Maynal; soit à alimenter la bâche de reprise d'Augea depuis la station de pompage de Maynal par le bas. Dans la première situation, il serait nécessaire de vider le réservoir d'Augea avant de le bypasser de manière à éviter d'avoir un temps de séjour trop long de l'eau.

5. Sécurisation des sites

Pour assurer la sécurité des ouvrages de stockage, conformément au plan Vigipirate, la mise en place de clôtures et d'alarmes anti-intrusion est préconisée. Actuellement, seul le réservoir de Saint Agnès dispose d'une clôture et aucun des 9 réservoirs ne possède de clôture ni d'alarme et la porte du réservoir de Maynal bas est très vétuste.

De plus, pour faciliter l'entretien des cuves et garantir la sécurité du personnel, de rampes seraient à installer, les échelles de tous les réservoirs sont soit à changer car elles ne sont pas aux normes de sécurité, soit à reprendre car les échelles à crinolines sont montées à l'envers (arceaux à l'intérieur). A la station de pompage, une alarme est également à prévoir.

Réservoir	Alarme à prévoir	Clôture à prévoir	Porte à changer	Echelles	Rampes
Sainte Agnès	oui			A reprendre	Extérieure à prévoir
Gevingey	oui	oui		A reprendre	
Rotalier haut	oui	oui		A changer	Intérieures à changer
Rotalier bas	oui	oui		A changer	
Beaufort	oui	oui		Fait	
Maynal haut	oui	oui	oui	A changer	
Maynal bas	oui	oui	oui	A changer	
Savigny	oui	oui		A reprendre	
Bonnaud	oui	oui		A reprendre	

Tableau 18 : Etat actuel des réservoirs

Travaux	Prix	Quantité	Coût total H.T.
Mise en place d'une clôture de 2 m en panneaux soudés	55 €/ ml	1 350 m (9 x 150 m)	74 250 €
Fourniture et pose d'un portail	2000 € / U	9	18 000 €
Fourniture et pose de téléalarme	3000 €/ U	10	30 000
Fourniture et pose d'une porte anti effraction voir prix de huber	5 222 € / U	2	10 444 €
Coût des travaux (Priorité 1)			**132 694 €**

Fourniture et pose d'échelles d'accès sécurisées	17 810		17 810 €
Reprise d'échelles d'accès sécurisées	500 €/U	4	2 000 €
Installation d'une rampe intérieure	**2 555 € / U**	1	2 555 €
Installation d'une rampe extérieure	500 € /U	1	500 €
Coût des travaux (Priorité 2)			**22 865 €**

Tableau 19 : Coûts des travaux préconisés
Sources : Moyenne sur les prix de 4 entreprises ayant répondu à un appel d'offre de BEREST (juin 2016) et consultation d'une responsable commerciale chez HUBER TECHNOLOGY

Une passerelle a été récemment installée au réservoir de Beaufort ce qui permet de sécuriser l'accès à la cuve et aux vannes.

6. Pérennisation des ouvrages

Les étanchéités extérieures des réservoirs de Rotalier haut et bas, Maynal haut et Bonnaud sont à reprendre.

Coût des travaux (priorité 2) : 4 x 10 000 = 40 000 € HT

De plus, en raison de traces de salpêtres ou autres indicateurs d'humidité, une ventilation est à prévoir dans les réservoirs de Sainte Agnès, Gevingey et Rotalier haut et bas. L'acrotère du réservoir de Gevingey ainsi que ses escaliers endommagés sont à réhabiliter.

Coût des travaux (priorité 2) : 4 x 554 = 2 216 € HT (Ventilations)
Coût des travaux (priorité 2) : 4 500 € HT (Acrotère : 3 000 € HT + Escaliers : 1 500 €)

7. Connaissance du réseau

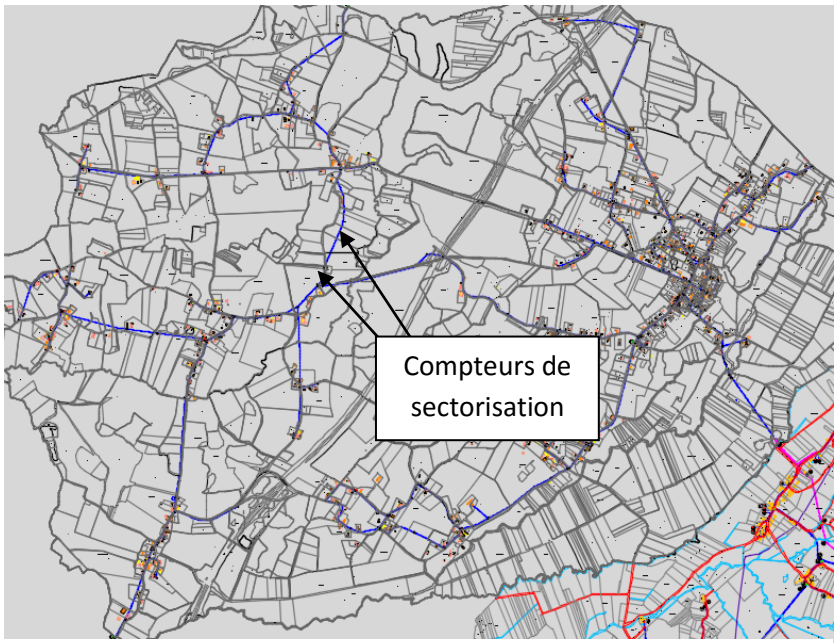


Figure 50 : Positions des compteurs à installer

Actuellement, le réseau compte 25 compteurs de sectorisation ce qui permet de suivre de manière assez correcte le fonctionnement du réseau. Cependant, dans le cadre d'une amélioration de la gestion du réseau, il est préconisé au niveau des hameaux de Savigny d'ajouter deux compteurs. Notamment au niveau de la Chaux : un en direction des Claies (DN125) et l'autre en direction des Chavannes et de Vériat (DN125) [Figure 50].

Coût des travaux (priorité 1) : 2 x 12 000 = 24 000 € HT

8. Gestion du patrimoine, plan de renouvellement des conduites

En 2014, le taux moyen de renouvellement du réseau du syndicat était de 0,37 % par an. Le syndicat renouvelle actuellement en priorité la conduite principale. Au niveau de Beaufort, ce renouvellement sur 250 m d'une conduite de 175 mm en 150 mm prévu en 2016 a été modélisé. Ceci ne présente presque aucune modification au niveau des pressions et une légère augmentation des vitesses au sein de cette conduite (de 0,19 à 0,23 m/s).

Le syndicat a pour projet de changer également la conduite en fonte de 175 mm située entre le réservoir de Sainte Agnès et Beaufort. Un diamètre de 150 mm permet de diminuer légèrement les pressions situées sur ce tracé et qui sont actuellement très importantes. Les vitesses augmentent alors légèrement mais sont toujours inférieures à 0,4 m/s. En ce qui concerne le temps de séjour, celui-ci est alors légèrement diminué. En passant cette conduite en DN 200, les pressions augmentent légèrement, les vitesses diminuent légèrement et le temps de séjour augmente un peu, ce qui n'est pas judicieux étant donné que ceux-ci sont déjà importants au niveau du réservoir de Beaufort et de Maynal. Le diamètre de 150 mm est donc à préférer.

Les critères suivants sont préconisés au syndicat pour l'aider dans son ordre de renouvellement des conduites :

- L'âge des canalisations avec de ce fait le renouvellement des conduites de Maynal qui ont plus de 110 ans en priorité
- La fréquence des fuites
- La programmation de la réfection des voiries

Si la durée de vie moyenne d'une conduite est supposée être de 50 ans, le renouvellement de 2% du réseau chaque année devrait être atteint. Le réseau mesure actuellement 120 km, ce sont donc 2,4 km qui sont à renouveler chaque année

Il est primordial que ces travaux de renouvellement prennent en compte les autres types de travaux prévus comme les travaux d'assainissement ou de réfection de voirie par exemple. Ainsi, les coûts pourront être optimisés puisque c'est le terrassement qui représente la plus grosse part du coût. De plus, rouvrir une tranchée accélère sa dégradation. Ainsi, le renouvellement des conduites permettra de ramener les réseaux passant en terrain privé, sous la voie publique ce qui facilitera les interventions en cas de casse.

Le coût du renouvellement des conduites est basé sur les prix ci-dessous. Il a été considéré que la moitié des canalisations renouvelées seraient situées en milieu urbain et l'autre moitié en milieu périurbain. Pour le taux de renouvellement de 2% souhaité ceci représente 516 000 € /an. Après concertation avec le syndicat, ce taux de renouvellement a été ajusté à 1 % soit 260 000 € HT /an.

Travaux	Prix
Coût moyen estimé pour la pose de canalisation en milieu urbain (y compris branchements)	250 € / ml
Coût moyen estimé pour la pose de canalisation en milieu périurbain	180 € / ml

Tableau 20 : Coûts moyens des travaux de renouvellement de conduites

Coût des travaux (priorité 1) : 1 185 000 € HT

Coût des travaux (priorité 2) : 1 185 000 € HT

Coût des travaux (priorité 3) : 2 370 000 € HT

V. Aspects économiques

L'ensemble des travaux d'amélioration et de renouvellement s'élève à 6 714 272 € HT répartis en 3 tranches sur 20 ans en fonction de leur priorité [Planche 1]. Aussi, le cout est de 1 905 250 € HT entre 2016 et 2020 et également entre 2021 et 2025 et 3 080 000 € HT entre 2026 et 2035 [Planche 2 et Planche 3].

Le taux de subvention est de 80% et la capacité d'autofinancement moyenne estimée sur les 5 dernières années est de100 000 € HT

Par la suite, l'impact sur le prix de l'eau sur les 20 années à venir sera calculé.

Dossier 39.1001.13.1.8

SIEA de Beaufort Sainte Agnès et environs

Programme de travaux

Catégorie	Localisation	Description	Prix unitaire H.T.	Quantité	Coût total H.T.	Tranche	Amélioration attendue
Amélioration du fonctionnement hydraulique	Réservoir de Gevingey	Création d'un petit réservoir	194 000 €	1 u	**194 000 € H.T.**	1	Diminution du temps de séjour : augmentation de la qualité de l'eau à Gevingey
	Réservoir de Bonnaud	Vanne de régulation tout ou rien commandée par pilote flotteur séparé DN 80 mm	12 000 €	1 u	**12 000 € H.T.**	1	Diminution du temps de séjour : augmentation de la qualité de l'eau à Mallerey, Bonnaud et le Péron et environs
	Résevoirs de Rotalier	Contourner le réservoir et installer un stabilisateur de pression	22 000 €	1 u	**22 000 € H.T.**	1	Obtenir des temps de séjour satisfaisant au niveau de Rotalier
	Résevoirs de Maynal	Création d'un réservoir unique de 190 m3 à Maynal	199 000 €	1 u	**199 000 € H.T.**	1	Diminution du temps de séjour : augmentation de la qualité de l'eau à Maynal
	Réservoirs de Beaufort	Mise en place d'un système de chloration secondaire dans le réservoir	15 000 €	1 u	**15 000 € H.T.**	1	Amélioration de la qualité de l'eau de Beaufort, Maynal et leurs hameaux et Mallerey, Bonnaud, Bonnaisod et le Préon et ses environs
	Vincelles - Rue des Fontaines	Mise en place d'un réducteur de pression	14 000 €	1 u	**14 000 € H.T.**	1	Réduction des pressions au sud de Vincelles et à Grusse
	Sainte Agnès - Croisement entre le chemin des vignes et le chenmin de la criox rouge	Mise en place d'un stabilisateur aval de pression	14 000 €	1 u	**14 000 € H.T.**	1	Réduction des pressions au nord ouest de Sainte Agnès et aux Machurés
	Station de traitement de Savigny	Mise en place d'un pilote de traitement du fer et du manganèse	22 000 €	1 u	**22 000 € H.T.**	1	Amélioration de la qualité de l'eau distribuée
Sécurisation de l'alimentation	Augea	Raccordement de la commune d'Augea	135 000 €	1 u	**135 000 € H.T.**	2	Sécurisation de l'alimentation d'Augea + diminution des temps de séjour à Maynal
	Maynal	Mise en place d'hydrants	500 €	2 u	**1 000 € H.T.**	1	Assurer la sécurité incendie
	Liaison entre la station de Savigny et Paisia	Conduite sous la route de Longeverne, la route de Rieland et la RD 44 - DN 150 mm sur 4100 ml	122 €	4 100 m	**500 000 € H.T.**	3	Alimentation assurée si casse sur la conduite de remplissage du réservoir de Saint Agnès - Réduction des débits et des pressions sur cette même conduite - Légère diminution des
Pérennisation des ouvrages	Réservoir de Rotalier haut, Rotalier bas, Maynal haut, Bonnaud	Etanchéités extérieures	10 000 €	4 u	**40 000 € H.T.**	2	Pérennisation des ouvrages
	Réservoir de Rotalier haut et bas, Sainte Agnès et Gevingey	Fourniture et installation de systèmes de ventillation	554 €	4 u	**2 216 € H.T.**	2	Pérennisation des ouvrages
Connaissance du réseau	Hameaux de Savigny en Revermont	Installation et fourniture de compteurs avec télérelève	12 000 €	2 u	**24 000 € H.T.**	2	Amélioration du suivi du réseau
Sécurisation des ouvrages	Réservoirs	Mise en place clôture de 2 m en panneaux soudés	55 € /ml	1 350 m	**74 250 € H.T.**	1	Limitation de l'accès aux ouvrages - Plan vigipirate
		Fourniture et pose d'un portail	2 000 €	9 u	**18 000 € H.T.**	1	
		Fourniture et pose d'une alarme anti-intrusion	3 000 €	10 u	**30 000 € H.T.**	1	
		Fourniture et pose d'une porte extérieure de réservoir (Maynal haut et bas)	5 221 €	2 u	**10 442 € H.T.**	2	Sécurisation du personnel exploitant
		Réfection de l'acrotère et des escaliers d'accès (Rotalier)	4 500 €	1 u	**4 500 € H.T.**	2	
		Fourniture et pose d'échelles d'accès sécurisées	17 809 €	1 u	**17 809 € H.T.**	2	
		Reprise d'échelles d'accès sécurisées	500 €	4 u	**2 000 € H.T.**	2	
		Fourniture et pose d'un garde corps intérieur (Rotalier haut)	2 555 €	1 u	**2 555 € H.T.**	2	
		Fourniture et pose d'un garde corps extérieur (Sainte Agnès)	500 €	1 u	**500 € H.T.**	2	
		Destruction du réservoir bas de Rotalier	50 000 €	1 u	**50 000 € H.T.**	2	Sécurisation des riverains
		Destruction des réservoirs de Maynal	50 000 €	2 u	**100 000 € H.T.**	2	
		Destruction du rséervoir de Gevingey	50 000 €	1 u	**50 000 € H.T.**	2	
Renouvellement des canalisations	A Beaufort - taux de renouvellement souhaité	Renouvellement des canalisations avec décallage sous la voie publique	215 € /ml	6 000 m	**1 290 000 € H.T.**	1	Réduction de la fréquence des fuites
			215 € /ml	6 000 m	**1 290 000 € H.T.**	2	
			215 € /ml	12 000 m	**2 580 000 € H.T.**	3	

SOUS TOTAUX par ordre de tranche	**1 905 250 € H.T.**	1	entre 2016 et 2020
SOUS TOTAUX par ordre de tranche	**1 729 022 € H.T.**	2	entre 2021 et 2025
SOUS TOTAUX par ordre de tranche	**3 080 000 € H.T.**	3	entre 2026 et 2035
TOTAL GENERAL	**6 714 272 € H.T.**		

Dossier
39.1001.13.1.8

SIEA de Beaufort

PRIORITE 1 : Synthèse financière avec impact sur le prix de l'eau

Consommation d'eau actuelle facturée en m3/an (moy 2009 - 2014): 676000
Taux d'emprunt : 2,0%

Nombre d'abonné : 2 907 abonnés
Durée d'emprunt : 20 ans

Prix de l'eau moyen : 1,23 €/m³
Capacité d'autofinancement : 100 000 €

Description		2016	2017	2018	2019	2020
Précautions vigipirate	Alarmes	3 000		15 000	6 000	9 000
	Clôtures et portails		20 500			71 750
Travaux d'amélioration du réseau (fonctionnement hydraulique, qualité, ...)	Mise en place d'une électrovanne au réservoir de Bonnaud			12 000		
	Supression du réservoir de Maynal bas et raccordement du réseau du bas au réservoir haut			99 500	99 500	
	Création d'un petit réservoir à Gevingey	97 000	97 000			
	Coutournement du réservoir de Rotalier bas et mise en place d'un stabilisateur	22 000				
	Mise en place d'un système de chloration secondaire au niveau du réservoir de Beaufort	15 000				
	Mise en place d'un stabilisateur de pression à Sainte Agnès					14 000
	Mise en place d'un réducteur de pressions à Vincelles					14 000
	Mise en place d'un surpresseur à Maynal					22 000
	Mise en place d'un pilote de traitement du fer et du manganèse	22 00				
	Mise en place de deux comteurs de sectorisation à Savigny					
	Renouvellement des conduites	259 000	258 000	258 000	258 000	258 000
Total investissement		**396 000**	**375 500**	**384 500**	**363 500**	**388 750**

Dossier
39.1001.13.1.8

SIE de Beaufort

PRIORITES 2 et 3 : Synthèse financière avec impact sur le prix de l'eau

Consommation d'eau actuelle facturée en m3/an (moy 2009 - 2014): 676000
Taux d'emprunt : 2,0%

Nombre d'abonné : 2 907
Durée d'emprunt : 20 ans

Prix de l'eau moyen : 1,23 €/m³
Capacité d'autofinancement : 100 000 €

	Description	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
Travaux priorité 2	Etanchéités et ventilations des réservoirs		10 554	30 554												
	Compteurs de sectorisation	12 000	12 000													
	Sécurisation des ouvrages			22 684	7 561	7 561										
	Renouvellement conduites	258 000	258 000	258 000	258 000	258 000										
	Destruction des réservoirs de Maynal	50 000	50 000													
	Destruction du réservoir bas de Rotalier				50 000											
	Destruction du réservoir de Gevingey					50 000										
	Raccordement de la commune d'Augea	27 000	27 000	27 000	27 000	27 000										
P3	Liaison Savigny Paisia						50 000	50 000	50 000	50 000	50 000	50 000	50 000	50 000	50 000	50 000
	Renouvellement de conduites						258 000	258 000	258 000	258 000	258 000	258 000	258 000	258 000	258 000	258 000
Total investissement		**347 000**	**357 554**	**338 238**	**342 561**	**342 561**	**308 000**	**308 000**	**308 000**	**308 000**	**308 000**	**308 000**	**308 000**	**308 000**	**308 000**	**308 000**

Conclusion

La réalisation de ce schéma directeur a permis de mettre en évidence le fonctionnement du réseau, ses atouts et ses limites.

Il s'avère que l'un des problèmes majeurs du réseau est la présence de fortes pressions sur l'axe principal Nord Sud entre Sainte Agnès et Beaufort ce qui peut endommager le matériel des abonnés et accélère la dégradation des conduite. Une autre limite du réseau, qu'il est nécessaire de gérer plus rapidement, est l'importance des temps de séjour du réseau dus aux grandes tailles des réservoirs. Ces deux aspects ont été analysés en priorité.

Actuellement, l'eau distribuée par le syndicat souffre également de fortes concentrations en fer et manganèse. Cet aspect n'a pas été traité dans ce rapport puisque le syndicat expérimente en ce moment un pilote pour palier à ce problème.

Le modèle réalisé semble bien représentatif du fonctionnement du réseau et a permis d'identifier les limites de celui-ci notamment en situation de pointe. Il a donc été utilisé pour analyser l'impact de casses et des travaux envisagés.

Le programme de travaux proposé sur 20 ans permettra au syndicat d'améliorer le fonctionnement du réseau vis-à-vis des défauts observés mais également de renouveler son patrimoine afin d'augmenter son rendement. Ceci permet également de lisser les couts de manière à influer sur le prix de l'eau de manière plus douce.

J'ai énormément apprécié ce stage durant lequel j'ai appris énormément tant sur des points techniques variés que sur le fonctionnement d'un bureau d'études. J'ai notamment été amenée pour la première fois à réaliser des chiffrages détaillés de travaux et des calculs économiques. J'ai également eu des échanges avec des clients afin d'obtenir des informations sur le réseau mais aussi économiques et pour leur présenter le travail réalisé, ce qui a été une très bonne expérience.

Bibliographie

[1] INSEE (Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques). **Evolution et structure de la population ; Population légale 2013** [En ligne] 2013 [Consulté le 16/01/2016] <http://www.insee.fr/fr/ppp/bases-de-donnees/recensement/populations-legales/ >

[2] IGN (Institut National de l'Information Géographique et Forestière) **Serveur de fiches géodésiques** [En ligne] SAINT-MANDÉ, 2016 [Consulté le 17/02/2016] < http://geodesie.ign.fr /fiches/index.php?module=e&action=visugeod >

[3] ROSSMAN Lewis A. **EPANET 2.0 Simulation Hydraulique et Qualité pour les Réseaux d'Eau sous Pression : manuel de l'utilisateur**. Générale des eaux, 2003. 222 p.

[4] Matthieu DUFRESNES et José VAZQUEZ, **Hydrostatique et hydraulique en charge** [En ligne] ENGEES, MAJ 08/12 [Consulté le 17/02/2016] <https://docs.google.com/a/engees.eu/file/ d/0B_co9LWcaC97X0ZpY0xPelJIbVU/edit>.

[5] Heinrich canalisation, **L'eau maitrisée**, 2013. p 41 : Tuyaux Polyéthylène.

[6] MOTRALEC. **Pompes de relevage** [En ligne] 2016 [Consulté le 07/03/2016] < http://www.motralec.com/pompe_de_relevage_flygt_salmson_wilo_ksb_grundfos.htm >

[7] LEGIFRANCE. **Décret n° 2012-1078 du 24 septembre 2012 relatif à la facturation en cas de fuites sur les canalisations d'eau potable après compteur** [En ligne] J.M. Herault,24 septembre 2012 [Consulté le 13/04/2016] <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte =JORFTEXT000026417603&categorieLien=id >

[8] Saint-Gobain PAM ; **Adduction & distribution d'eau** ; Systèmes de canalisations en fonte ductile pour l'adduction et la distribution d'eu potable, l'irrigation et les applications spécialisées ; Edition 2010, version 2; 728 p ; p68

[9] Bayard ; **Tarifs Janvier 2013** ; 11/2012 ; 10000 ex. – D12004. Imprimé en France

[10] LACROIX Sofrel. **Solution de communication radio sans licence** [En ligne] 2016 [Consulté le 14/06/2016] < http://www.lacroix-sofrel.fr/>

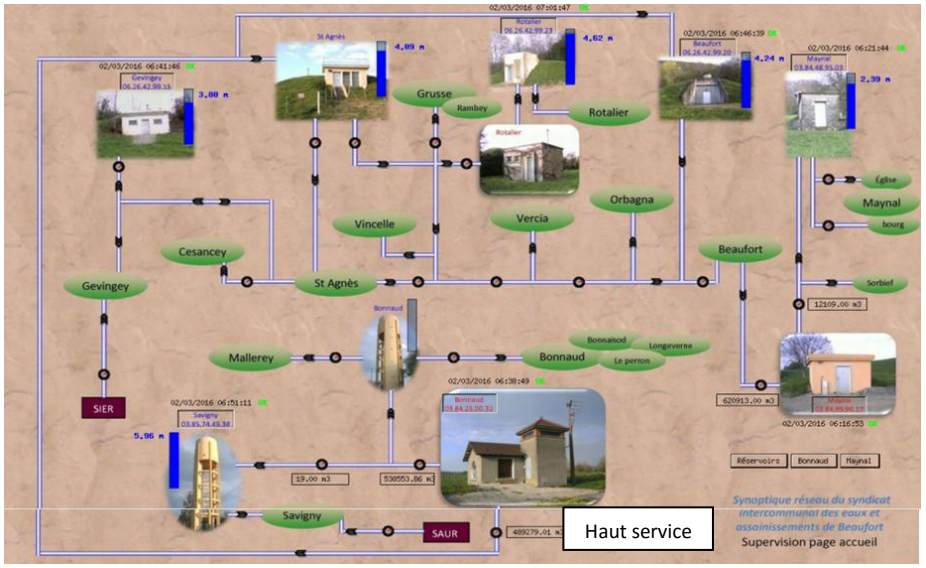
[11] IGN (Institut National de l'Information Géographique et Forestière) Cartes [En ligne] MAJ 2016 [Consulté le 12/04/2016] <http://tab.geoportail.fr/>

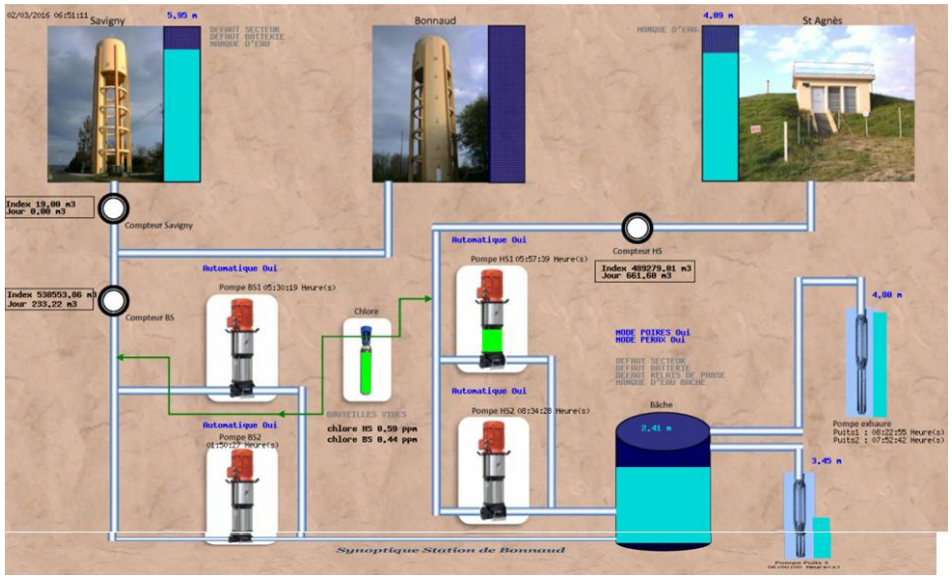
Annexes

Annexe 1 : Evolution démographique

EVOLUTION DEMOGRAPHIQUE *(données INSEE)*						
Année	**1968**	**1975**	**1982**	**1990**	**1999**	**2013**
Beaufort	781	779	896	936	965	1 071
Bonnaud	43	43	41	33	30	51
Cesancey	255	252	315	312	334	404
Gevingey	405	369	379	384	417	458
Grusse	127	125	145	137	147	186
Mallerey	63	55	45	65	59	65
Maynal	362	356	328	312	280	348
Orbagna	157	140	165	169	166	214
Rotalier	157	167	166	181	163	172
Sainte Agnès	224	209	240	301	287	351
Savigny en Revermont	1 017	922	951	957	921	1 173
Vercia	252	229	246	229	244	314
Vincelles	279	257	271	356	362	387
SIEA Beaufort Ste Agnès Environs	**4 122**	**3 903**	**4 188**	**4 372**	**4 375**	**5 194**

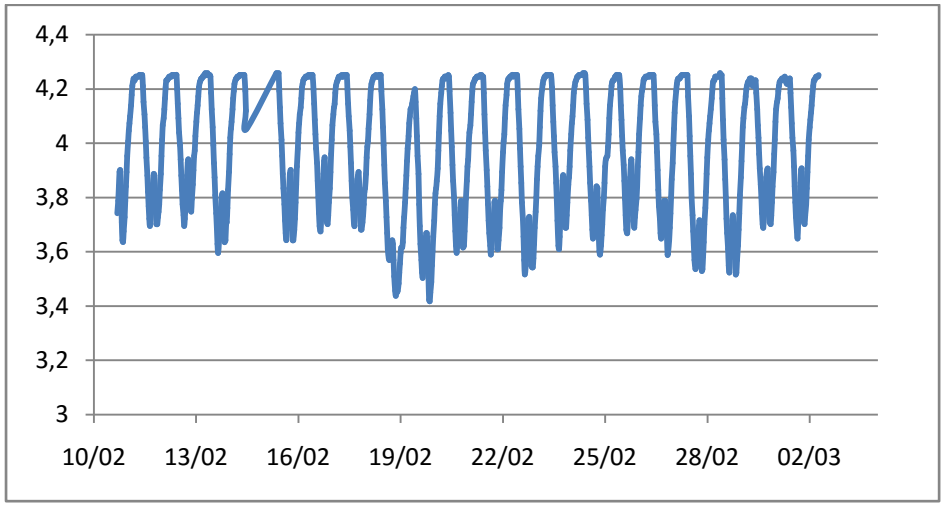
Annexe 2 Synoptiques issu du logiciel de télégestion

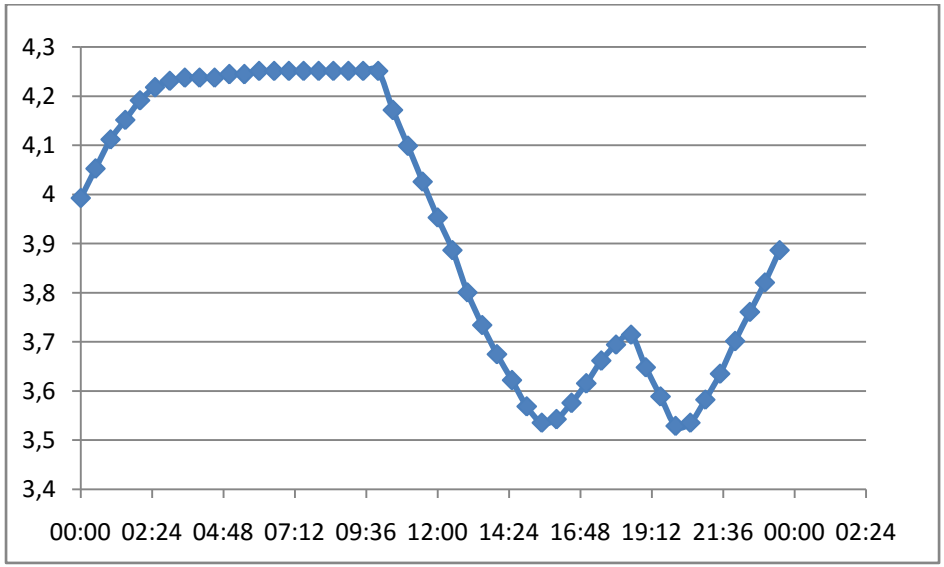




Annexe 3 : Courbes de marnage des réservoirs

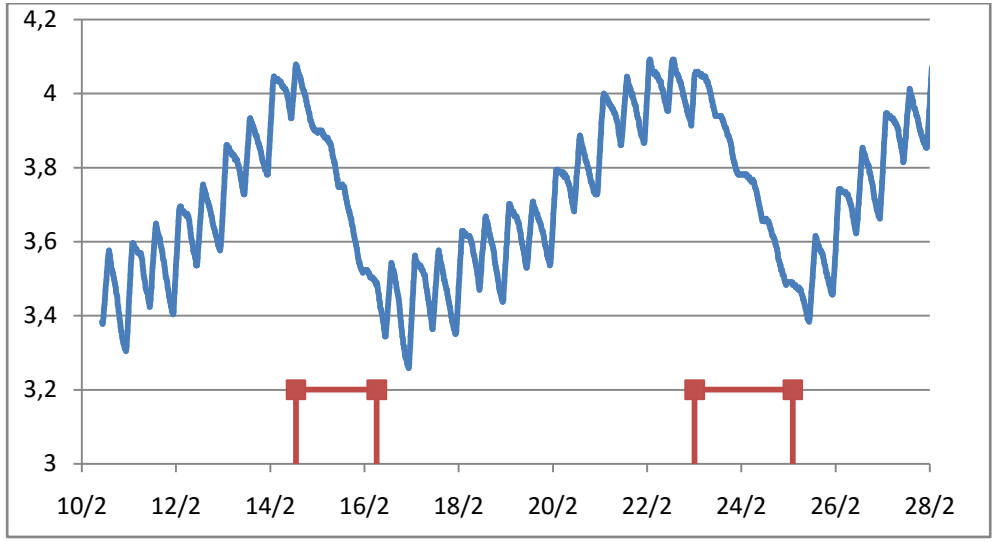
1. Réservoir de Beaufort



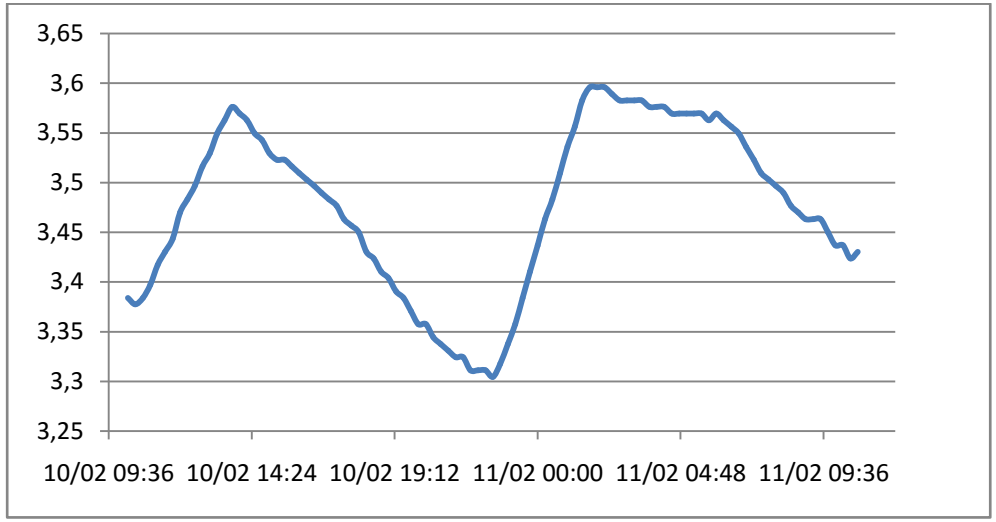


Marnage du 27/02/16

2. Réservoir de Gevingey

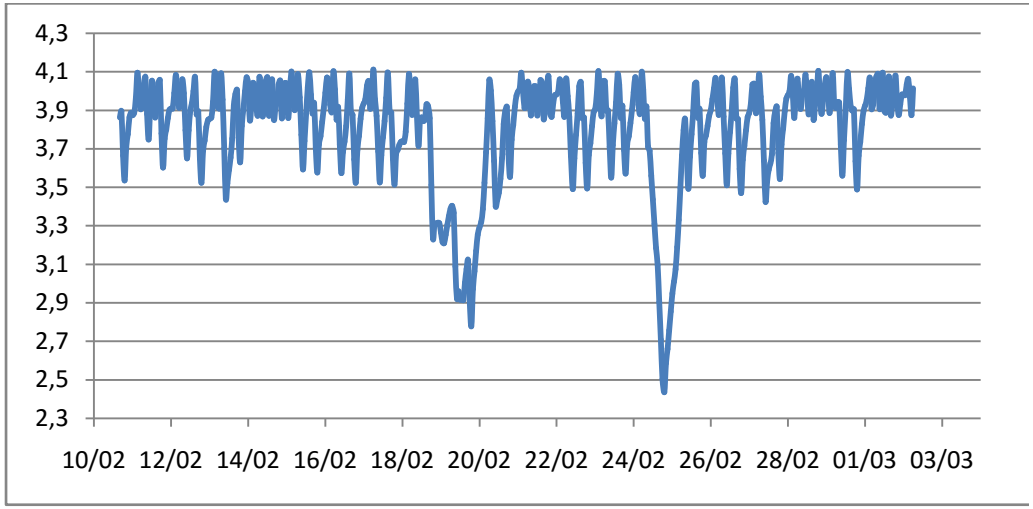


Influence de la vanne altimétrique

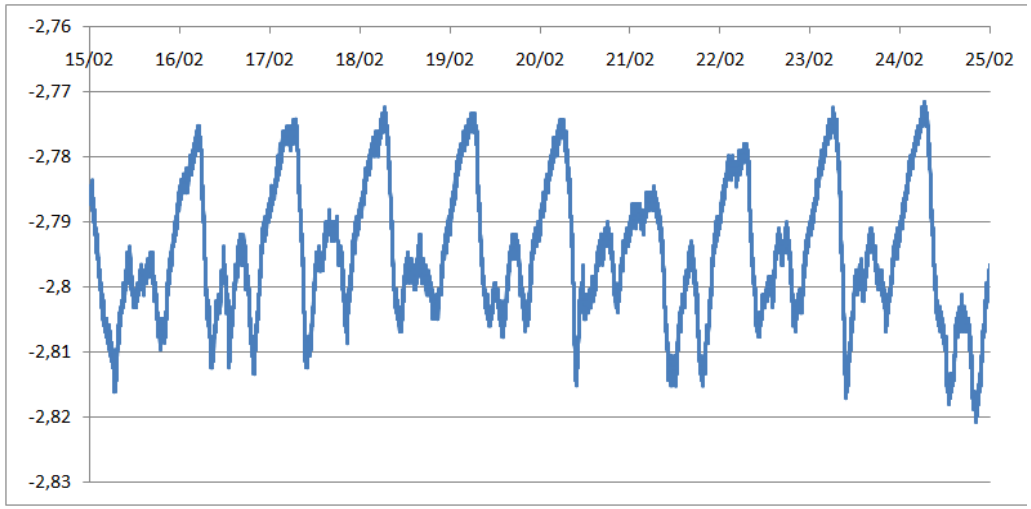


Influence de la vanne programmée sur une journée

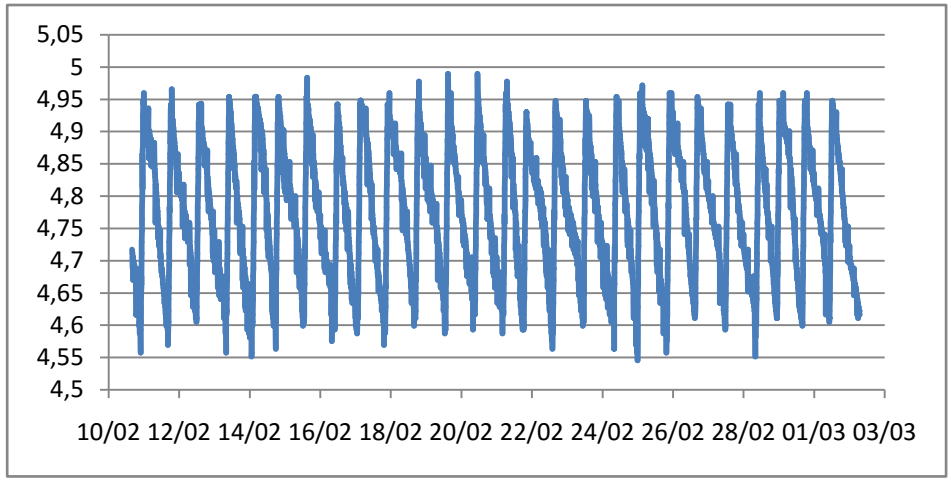
3. Réservoir de Sainte-Agnès



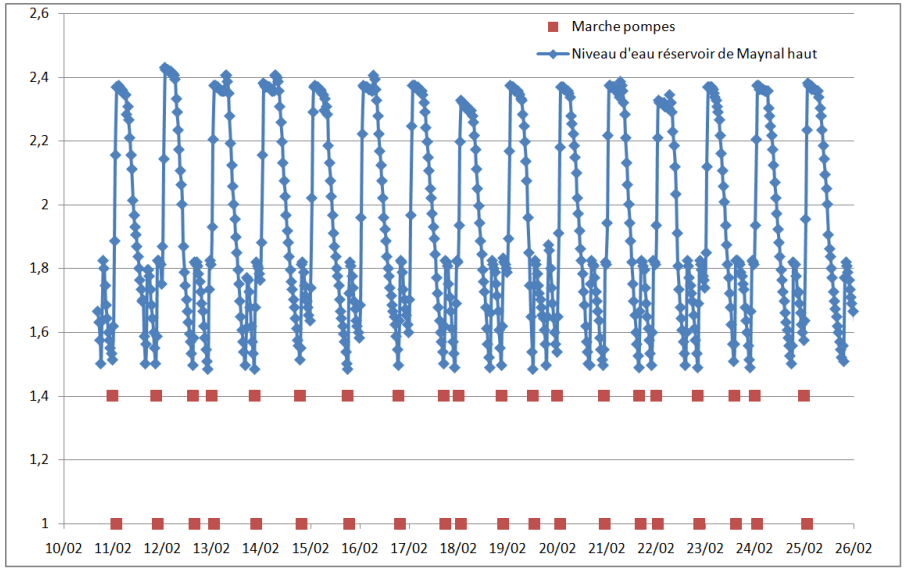
4. Réservoir de Rotalier bas



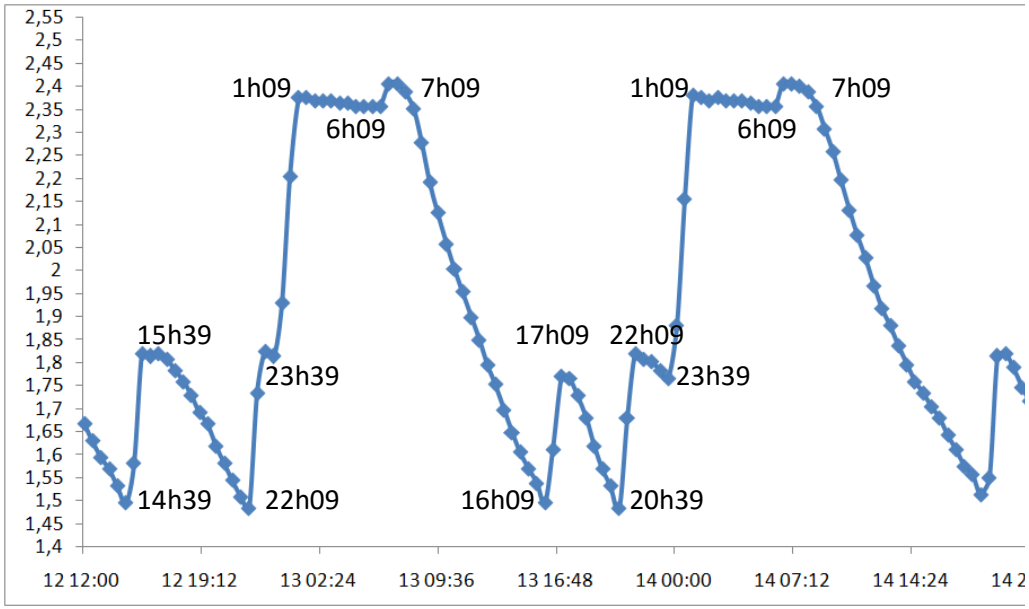
5. Réservoir de Rotalier haut



6. Réservoir de Maynal haut

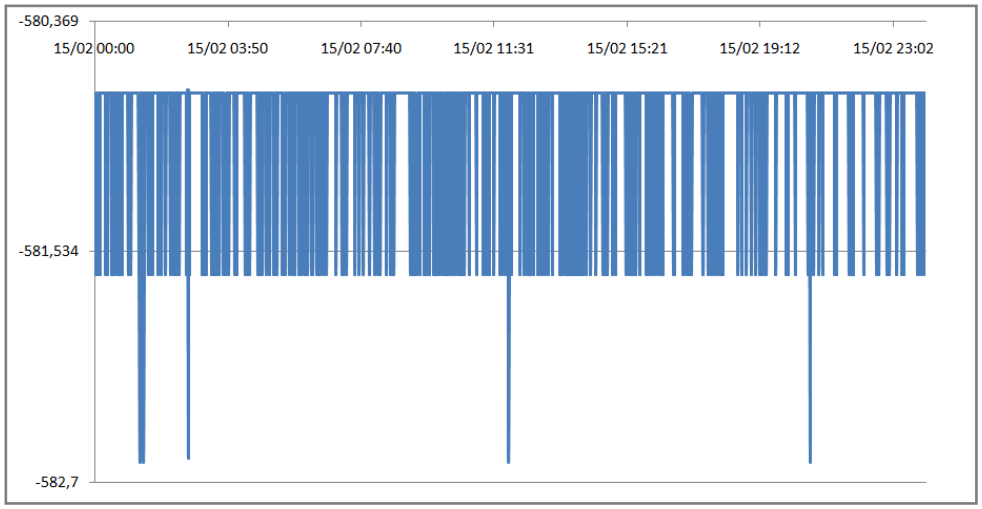


Marnage du réservoir et fonctionnement des pompes



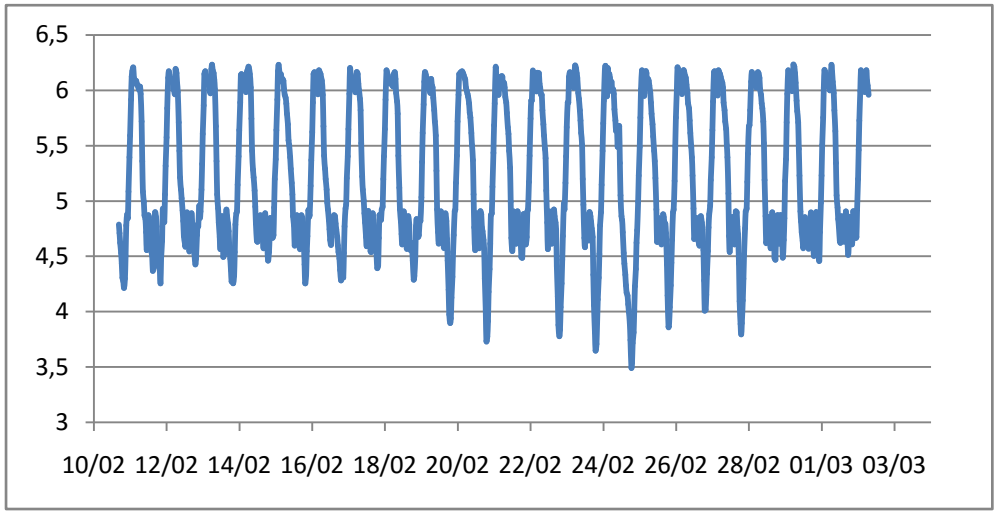
Fonctionnement programmé des pompes (Maynal), niveaux de jour et de nuit

7. Réservoir de Bonnaud

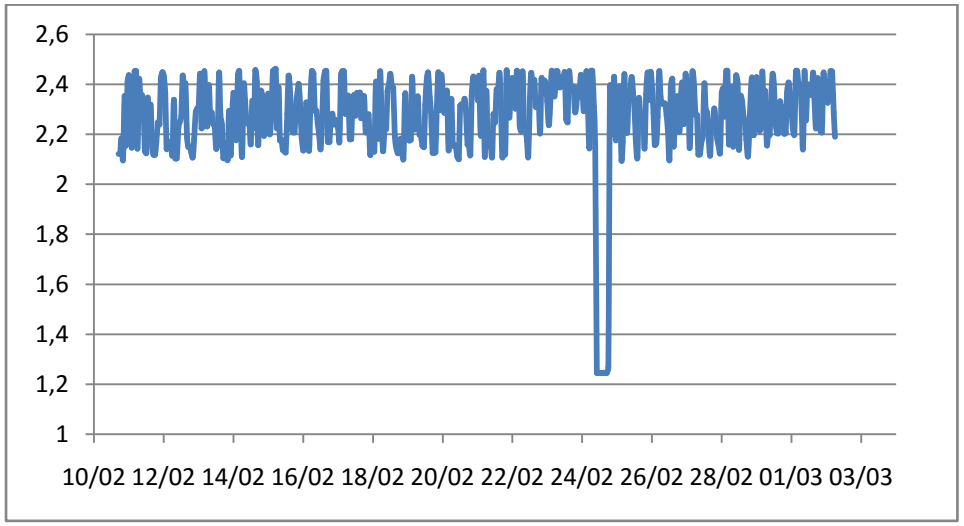


Variation de niveau sur une journée

8. Réservoir de Savigny



9. Bâche de Bonnaud



Annexe 4 : Pressions statiques mesurées

LOCALISATION	Nom du PI	*Référence carte Autocad*	*Tests*	
			Heure	*Pression (bar)*
Etandonne (Beaufort)	PI 01 002	1	16h45	8,8
Beaufort	PI 01 000	4	14h	3,3
	PI 01 010	5	16h40	5,8
	PI 01 020	6	14h15	6,4
Maynal	Vanne impasse de l'alambic	2	17h	3,2
Orbagna	PI 06 000	7	14h25	7
	PI 01 003	8	14h30	6,5
Grusse	PI 2	9	13h40	5,2
	PI 4	10	13h45	6,4
Vincelles	PI 003	11	15h30	9,7
	PI 006	12	13h30	8,9
	PI 009	13	13h25	7,3
Vercia	PI 09 016	14	14h40	7,8
Paisia (Vercia)	PI 09 003	15	15h15	8,8
	PI 09 001	16	15h20	9,2
La combe de Rotalier	PI 001	17	14h50	5,8
Rotalier	PI 002	18	15h10	3,8
	PI 008	19	15h	3,2
St Agnès	PI 002	20	13h20	7,8
	PI 005	21	13h15	8,7
Les Machurés (Saint Agnès)	PI 008	26	13h10	8,1
Cesancey	PI 001	22	13h	4,7
	PI 006	23	12h55	3,4
Gevingey	11PI 12	24	12h35	1,1
	11PI 13	25	12h45	4,5
Bonnaud	PI 001	27	15h40	3,7
Savigny	PI 7	28	15h50	3,7
	PI 3	29	15h55	3,2
Villevaudrey	PI 16	30	16h30	4,4
Chavannes	PI 13	31	16h15	2,6
Les Claies	Pi 26	a	15h40	3,5
Veriat	Pi 14	b	14h40	2,7
Les Gobards	Pi 18	c	14h15	4

Tableau 21 : Résultats des tests de pressions statiques

Annexe 5 : Débits mesurés lors de la campagne

REF	Date	16/2	17/2	18/2	23/2	24/2	25/2	Volume moyen par 24h (m3)	Débit moyen (m3/h)
	Localisation	m^3/j							
3	**Saint Agnès** Pour Vincelles	493,4	558,9	500,5	480,8	485,9	535,5	**509,2**	**21,2**
4	**Saint Agnès** Pour Saint Agnès-Cesancey	169,2	172,3	205,0	174,0	130,6	108,0	**159,9**	**6,7**
5	**Saint Agnès** Pour Cesancey	112,5	118,4	153,8	121,0	78,2	60,0	**107,3**	**4,5**
6	**Cesancey** Vers Gevingey	46,8	56,8	92,4	54,6	13,7	4,6	**44,8**	**1,9**
8	**Vincelles** Vers Rotalier	32,8	25,0	20,0	31,5	19,6	31,5	**26,7**	**1,1**
9	**Vincelles** Vers Grusse	41,4	32,9	35,2	35,4	34,3	31,5	**35,1**	**1,5**
11	**Paisia**	299,5	359,0	321,0	308,5	330,6	376,7	**332,5**	**13,9**
12	**Vercia** Vers Orbagna	249,0	315,0	249,4	241,6	265,2	321,5	**273,6**	**11,4**
13	**Orbagna** Vers Beaufort	224,3	261,0	245,0	220,6	240,0	301,1	**248,6**	**10,4**
16	**Beaufort** Etandonne	63,0	69,9	66,4	61,0	60,5	73,4	**65,7**	**2,7**
17	**Maynal** Pour Sorbier	18,0	17,8	19,8	23,0	21,3	31,1	**21,8**	**0,9**
18	**Maynal** Pour Seillères	10,0	9,7	9,3		10,7	8,5	**9,6**	**0,4**
20	Réservoir de Maynal	20,5	17,8	19,6	27,0	18,0	15,3	**19,7**	**0,8**
21	**Savigny** Vers Villevaudrey	Problème de mesure			82,0	78,9	80,4	**80,4**	**3,4**
24	**Bonnaud** Vers Bonnaud	44,0	46,7	48,0	46,0	52,0	53,1	**48,3**	**2,0**
25	**Bonnaud** Vers Le Peron			36,7	43,0	39,8	40,7	**40,1**	**1,7**

Tableau 22 : Mesures de débits par suivi d'index

Lorsque cela était possible, des têtes émettrices ont été placées sur les compteurs, ce qui permet d'avoir un suivi sur 9 jours en continu.

N°	Date (février)	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	Volume moyen par 24h (m3)	Débit moyen (m3/h)
	Localisation	m^3/j											
7	**Réservoir Gevingey**	1,76	1,42	1,26	1,3	1,4	2,1	2,2	2,2	2	1,8	1,7	0,07
10	**Rotalier**	20,7	20,7	38,5	19,2	20,5	21	38,7	20	20	19,3	23,8	0,02
14	**Petit Rambey**	1,2	1,4	1,4	1,6	1,4	1,2	1,2	1,3	1	1,2	1,3	0,06
15	**Orbagna** Rambey	3,3	2,8	2,8	3,0	3,1	3,0	2,9	2,9	3	2,9	3,0	0,1
22	**Rés. Bonnaud** Pour Mallerey	57,3	55	57	57,9	58,5	61,6	61,1	63	60	42,2	57,4	2,4
23	Bonnaud +Peron	105,7	101,5	103,1	95,9	98,7	98	103,5	105	113,7	118	104,3	4,3

Tableau 23 : Mesures de débits par têtes émettrices

Annexe 6 : Concentration en chlore mesurées lors de la campagne de mesures

LOCALISATION	*Ref*	*Date*	*Test 1*		*Test 2*		*Test 3*	
			H	***Chlore libre (mg/l)***	***H***	***Chlore libre (mg/l)***	***H***	***Chlore libre (mg/l)***
Etandonne	1	18-févr	10h45	0,3	14h20	0,05	17h40	0,08
Maynal	2	18-févr	10h10	0,02	14h05	0,03	17h30	0,03
	3	18-févr	10h30	0,02	14h10	0,04	17h35	0,02
Beaufort	4	18-févr	11h05	0,16	14h30	0,03	17h45	0,09
	5	18-févr	10h55	0,03	14h25	0,15	17h40	0,11
	6	18-févr	11h10	0,28	14h40	0,2	17h50	0,22
Orbagna	7	18-févr	11h20	0,37	14h45	0,18	17h55	0,21
	8	18-févr	11h25	0,33	14h50	0,75	18h	0,44
Grusse	9	17-févr	10h40	0,53	14h40	0,69	17h45	0,49
	10	17-févr	10h50	0,02	14h50	0,06	17h55	0,07
Vincelles	11	16-févr	9h15	0,17	13h	0,15	16h30	0,26
	12	16-févr	9h30	0,25	13h15	0,26	16h15	0,24
	13	16-févr	9h25	0,27	13h10	0,26	16h10	0,24
Vercia	14	16-févr	9h	0,19	12h45	0,17	17h30	0,22
	15	16-févr	8h30	0,22	12h15	0,21	16h45	0,24
	16	16-févr	8h45	0,23	12h30	0,38	16h30	0,15
Rotalier	17	16-févr	9h05	0,04	12h50	0,04	17h15	0,05
	18	16-févr	8h15	0,02	12h	0,03	16h45	0,02
	19	16-févr	8h	0,14	11h45	0,19	17h	0,06
St Agnès	20	17-févr	10h10	0,38	14h20	0,32	17h35	0,32
	21	17-févr	10h05	0,04	14h30	0,26	17h30	0,21
Cesancey	22	17-févr	9h50	0,22	14h15	0,38	17h15	0,25
	23	17-févr	9h45	1,22	14h10	0,55	17h10	0,76
Gevingey	24	17-févr	9h15	0,04	13h55	0,2	16h50	0,13
	25	17-févr	9h30	0,18	14h	0,19	16h55	0,18
Les Machurés	26	17-févr	10h	0,02	13h40	0,13	17h20	0,15
Bonnaud	27	18-févr	9h20	0,26	15h30	0,2	18h25	0,19
Savigny	28	18-févr	8h55	1,01	15h20	0,35	18h20	0,37
	29	18-févr	8h45	0,77	15h15	0,27	18h15	0,31
Villevaudrey	30	18-févr	9h05	0,41	15h05	0,22	18h10	0,21
Chavannes	31	24-févr	9h50	0,51	13h20	0,18	17h	0,15

Tableau 24 : Concentrations en chlore libre au niveau des PI

Annexe 7 : Les équations d'EPANET

1. Diagramme de Moody et équations d'interpolation

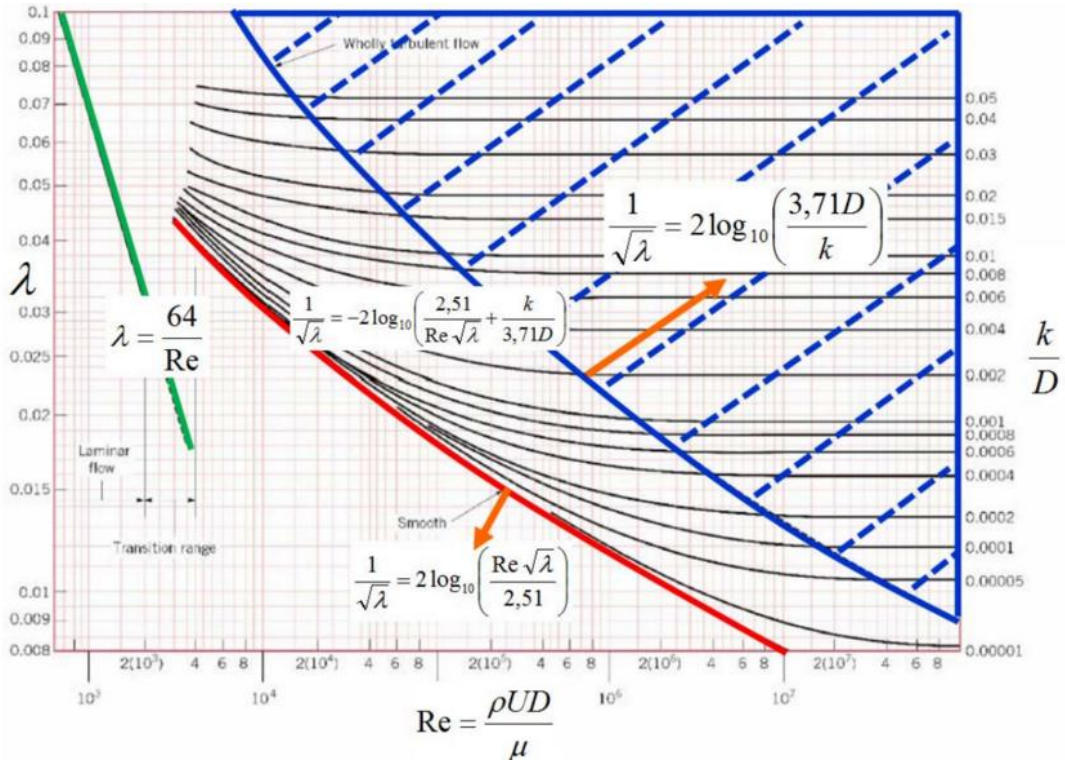


Figure 51 : Diagramme de Moody [4]

Sur ce diagramme, les équations présentées précédemment pour Re < 2000 et Re > 4000 sont retrouvées avec le facteur de friction noté λ. Le facteur de friction pour les nombre de Reynolds compris entre 2000 et 4000 est calculé dans EPANET grâce à une interpolation cubique de ce graphique. [

Équation 5]

$$f = \left(\mathrm{X1} + \mathrm{R}\left(\mathrm{X2} + \mathrm{R}(\mathrm{X3} + \mathrm{X4})\right)\right)$$

Avec :

$$\mathrm{R} = \frac{\mathrm{Re}}{2000} \text{ et}$$
$$\mathrm{X1} = 7\mathrm{FA} - \mathrm{FB};$$
$$\mathrm{X2} = 0.128 - 17\mathrm{FA} + 2.5\mathrm{FB};$$
$$\mathrm{X3} = -0.128 + 13\mathrm{FA} + 0.5\mathrm{FB}$$
$$\mathrm{X4} = \mathrm{R}(0.032 - 3\mathrm{FA} + 0.5\mathrm{FB})$$

Où :

$$\mathrm{FA} = (\mathrm{Y3})^{-2}$$
$$\mathrm{FB} = \mathrm{FA}\left(2 - \frac{0.00514215}{\mathrm{Y2} \times \mathrm{Y3}}\right)$$

Et :

$$\mathrm{Y2} = \frac{\mathrm{k}}{3.7\mathrm{D}} + \frac{5.74}{\mathrm{Re}^{0.9}}$$
$$\mathrm{Y3} = -0.86859 \ln\left(\frac{\mathrm{k}}{3.7\,\mathrm{D}} + \frac{5.74}{4000^{0.9}}\right)$$

Équation 5 : Equations de l'interpolation cubique du diagramme de Moody

2. Pour l'évaluation de la qualité

- **Transport convectif dans les tuyaux**

$$\frac{\partial C_i}{\partial t} = -u_i \frac{\partial C_i}{\partial x} + R(C_i)$$

Avec : - C_i la concentration dans le tuyau i en à la distance x et au temps t
- u_i la vitesse d'écoulement
- R la vitesse de réaction (mass/volume/temps)

- **Mélange aux jonctions des tuyaux ε**

$$C_{i|x=0} = \frac{\sum_{j\varepsilon I_k} Q_j C_{j|x=L_j} + Q_{k,ext} C_{k,ext}}{\sum_{j\varepsilon I_k} Q_j + Q_{k,ext}}$$

Avec : - i un arc dont le flux sort au nœud k
- I_k les arcs aux flux dirigés vers k
- L_j et Q_j la longueur et le débit de l'arc j
- $Q_{k,ext}$ et $C_{k,ext}$ le débit et la concentration provenant de l'extérieur qui entrent au nœud k
- $C_{i|x=0}$ et $C_{i|x=L}$ la concentration au début et à la fin de l'arc i

- **Réactions dans la masse d'eau : expression générale**

$$R = k_b C^n$$

Avec : - C la concentration
- k_b une constante de réaction
- n l'ordre de la réaction

Cette expression peut être légèrement modifiée si la concentration atteint une valeur limite.

- **Réactions aux parois**

$$R = \frac{4 k_w k_f C}{d(k_w + k_f)}$$

Avec : - k_w la constante de vitesse de réaction
- d le diamètre du tuyau
- k_f le coefficient de transfert de masse tel que $k_f = Sh\frac{D}{d}$

où Sh représente le nombre de Sherwood qui est calculé :

✓ En laminaire avec la relation d'Edwards et al (1976)
✓ En turbulent avec la corrélation de Notter et Sleicher (1971)

- **Mélange dans les réservoirs**

$$\frac{\partial (V_s C_s)}{\partial t} = \sum_{i\varepsilon I_s} Q_i C_{i|x=L_i} - \sum_{j\varepsilon O_s} Q_j C_s + R(C_s)$$

Avec : - V_s et C_s le volume et la concentration occupé à l'instant t
- I_s et O_s respectivement l'ensemble des arcs qui apporte et évacuent l'eau

Annexe 8 : Années de pose des conduites

Village	Année de pose
Gevingey	1969
Cesancey	1957
Saint Agnès	1956
Vincelles	1955
Grusse	1961
Vercia Paisia	1957
Rotalier	1975
Orbagna	1957
Beaufort	1955
Maynal + Sorbier	1904
Seillères	1980
Savigny	1958
Les hameaux de Savigny	1973-1977

Annexe 9 : Informations sur les réservoirs

a. Caractéristiques des réservoirs

Nom	Volume (m^3)	Diamètre (m)	Cote radier (m)	Niveau min (m)	Niveau max (m)	Niveau initial (m)	Source
Maynal haut	30	4,4	314,64	1,4	2,5	2,35	Télégestion
Maynal bas	200	10	305,94	2	2,5	2,5	Télégestion
Beaufort	400	11,8	301,95	3,6	4.25	4,2	Télégestion
Rotalier Haut	300	9	346,18	4,53	4,98	4,7	Télégestion
Rotalier Bas	220	4,6	323,12	0,45	0,57	0,5	Paperi
Savigny	300	7,7	248,47	4,2	6,3	6	Télégestion
Saint Agnès	2x300	12,75	309	3,5	4,1	3,9	Télégestion
Bonnaud	300	8,25	239,78	5	5,41927	5,41835	Paperi
Gevingey	500	13	302,2	3,2	4,1	3,6	Télégestion

b. Commandes renseignées dans le modèle

Ex : Commande de simulation de la vanne horaire vers Beaufort depuis Orbagna (Tuyau 132)

LINK 132 CLOSED AT CLOCKTIME 10.15 AM
LINK 132 OPENED AT CLOCKTIME 3.20 PM
LINK 132 CLOSED AT CLOCKTIME 5 PM
LINK 132 OPENED AT CLOCKTIME 8 PM

Ex : Commande de simulation de la vanne asservie au niveau de Gevingey (arc 347)

LINK 347 CLOSED IF TANK Gevingey ABOVE 4.08
LINK 347 OPENED IF TANK Gevingey BELOW 3.6

Annexe 10 : Informations sur les pompes

a. Tableau descriptif des pompes

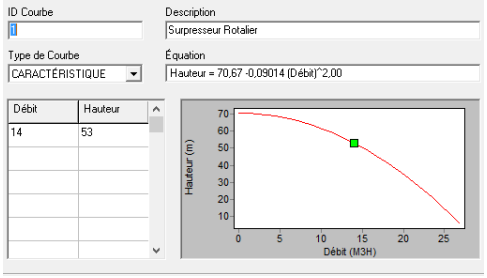
N° de la courbe caractéristique du modèle	Organe		Caractéristiques	Débit (m^3/h)	Cote (m nGF)	HMT
1	Surpresseur de Rotalier		Lowara SV 808 F40T 130 646 305 CI : F 18 55	14	287	53
2	Pompe de reprise Rambey		Flygt **LM 100 130 646 255** RB 14/330 IP 55 Classe F	8	380	41
3	Surpresseur de Gevingey		P1 Jeumont Schneider 32FV7 1.3kW JSAL80LX2A9 804703	3	300	59
4	Station pompage Maynal		Flygt **PXR211**T **102571111** N° 404326 2900 tr/min - 5.5 kW	6-14	232	137-73
5	Station de reprise crève cœur		Lowara SV 416 F301 102540661 N° 0 1652 - 2900 tr/min - 3kW	2.4-8	285	136-41
6	Station pompage Savigny	HS	Lowara 2011 04 26 N°252 **SV 66 05** F300T **102704141** 2900 tr/min	30-85	195	140-88.5
7		BS	lowara 33 SV 041 25A6075T **101570091** 2012 04 14 – 00041 27.5 kW - 8.91kW	15-40		78.8-47.8

Tableau 25 : Caractéristiques des pompes et surpresseurs

b. Courbes caractéristiques des pompes

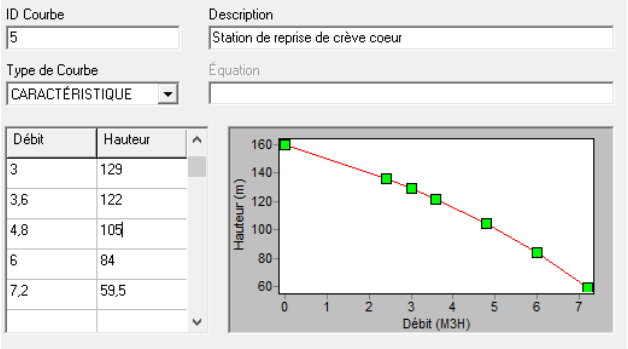
- ***Surpresseur de Rotalier***

TYPE de POMPE	PUISSANCE		Q = DEBIT											
			l/min	0	20	30	40	50	60	80	100	120	150	200	233	3(
			m³/h	0	1,2	1,8	2,4	3	3,6	4,8	6	7,2	9	12	14	1
	kW	HP	H = HAUTEUR D'ELEVATION TOTALE EN METRES DE C													
SV808F40	4	5,5	110							103	99	95	87,5	69	53	



- ***Surpresseur à la station de reprise de Crève Cœur***

TYPE de POMPE	PUISSANCE		Q = DE									
			l/min	0	20	30	40	50	60	80	100	120	150
			m³/h	0	1,2	1,8	2,4	3	3,6	4,8	6	7,2	9
	kW	HP	H = HAUTEUR D'ELEVATION TOTALE										
SV416F30	3	4	160					136	129	122	105	84	59,5



- *Station de pompage de Savigny en Revermont*

Bas Service

SÉRIES 33, 46SV
TABLEAU DE PERFORMANCES HYDRAULIQUES À 50 HZ, 2 PÔLES

TYPE POMPE	PUISSANCE NOMINALE kW	PUISSANCE NOMINALE CV	Q = DÉBIT l/min 0	250	300	367	417	500	583	667	750	900	1000
			m³/h 0	15	18	22	25	30	35	40	45	54	60
			H = HAUTEUR MANOMÉTRIQUE TOTALE EN MÈTRES DE COLONNE D'EAU										
335V1/1A	2,2	3	17,4	16,2	15,7	15	14	12,2	9,8	6,7			
335V1	3	4	23,8	21,7	21,2	20	20	17,8	15,5	12,7			
335V2/2A	4	5,5	35,1	34,1	33,3	32	30	27	22,4	16,6			
335V2/1A	4	5,5	40,8	38,8	37,9	36	35	32	27,5	22,3			
335V2	5,5	7,5	47,8	45	44,1	43	41	39	35	29,9			
335V3/2A	5,5	7,5	57,7	55,2	53,8	51	49	44	38	29,6			
335V3/1A	7,5	10	64,5	61,3	60	58	56	51	45	37			
335V3	7,5	10	71,5	67,4	66,0	64	62	58	52,0	44,6			
335V4/2A	7,5	10	82	78,8	77	74	72	66	58	47,2			

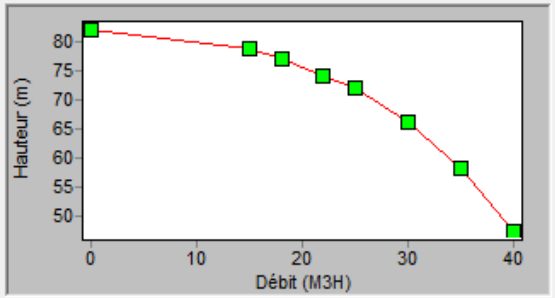
D Courbe: 7

Description: Pompe vers le bas service (Bonnaud, Savigny)

Type de Courbe: CARACTÉRISTIQUE

Équation:

Débit	Hauteur
0	82
15	78,8
18	77
22	74
25	72
30	66



Haut Service

SÉRIES 66, 92, 125SV
TABLEAU DE PERFORMANCES HYDRAULIQUES À 50 HZ, 2 PÔLES

66SV5/2A	30	40	139,1	127,5	124	120	118	111	106	92	83	70,4		
66SV5/1A	30	40	145,6	134	131	127	125	118	112	99	91	79,5		
66SV5	30	40	152	140,4	137	133	131	125	119	107	99	88,5		

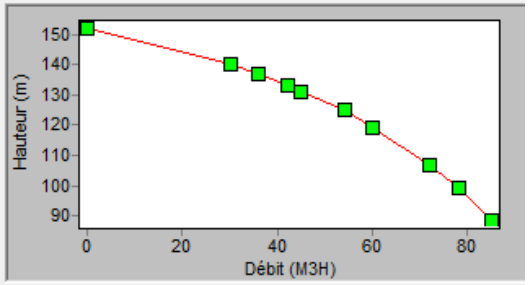
ID Courbe: 6

Description: Pompes vers Réservoir de Saint Anges (haut service)

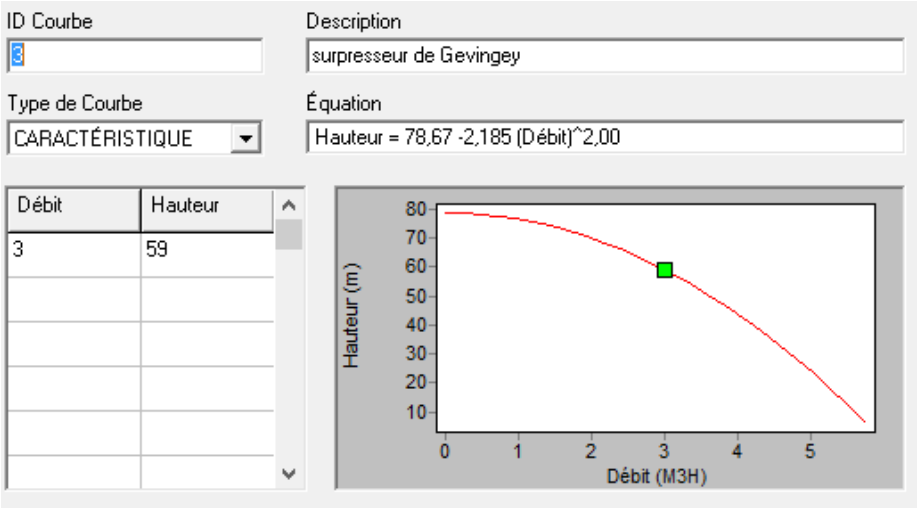
Type de Courbe: CARACTÉRISTIQUE

Équation:

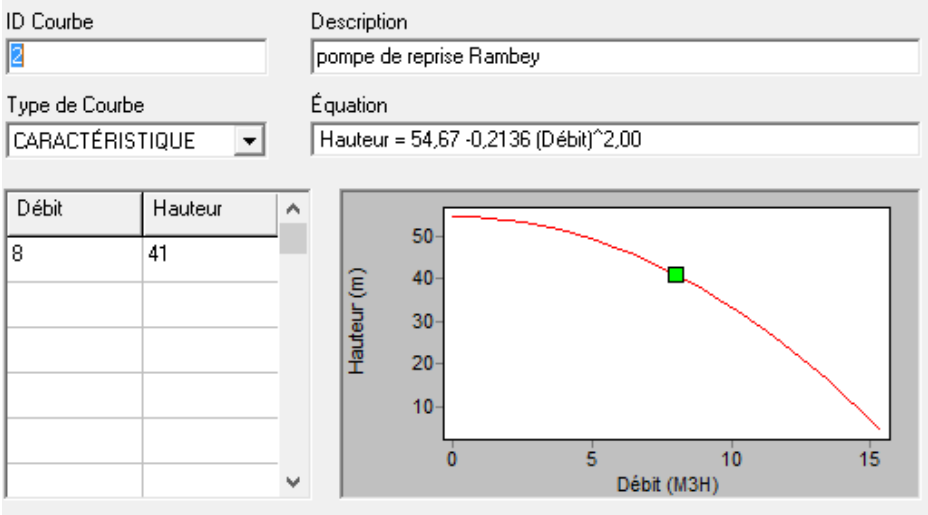
Débit	Hauteur
0	152
30	140,4
36	137
42	133
45	131
54	125



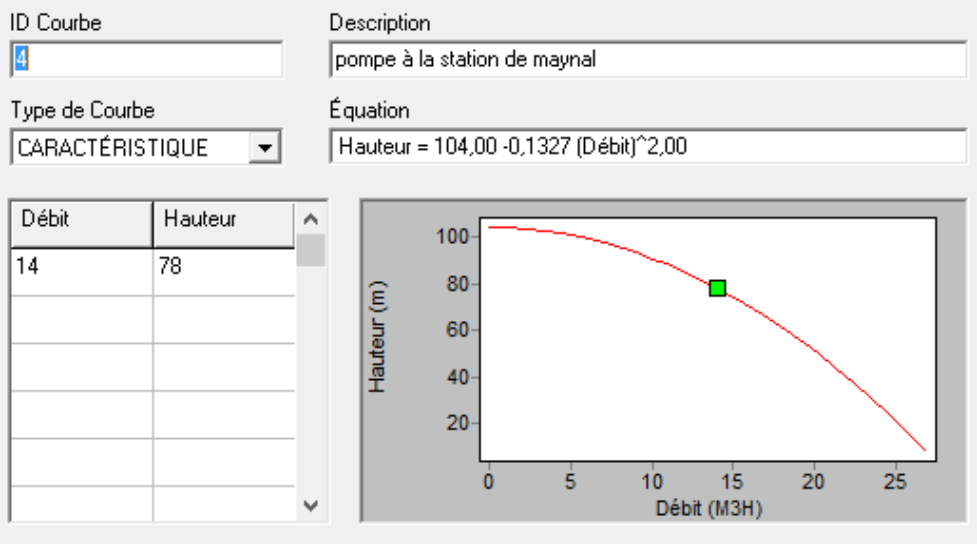
- ***Gevingey***



- ***Station de reprise de Rambey***



- ***Station de pompage de Maynal***



c. Exemples de commandes des pompes

Ex : Asservissement des pompes de la station de Savigny en fonction du niveau dans le réservoir de Rotalier Haut

```
PUMP 175 CLOSED IF TANK RotalierHaut ABOVE 4.96
PUMP 175 OPENED IF TANK RotalierHaut BELOW 4.56
```

Ex : Asservissement des pompes de la station de Savigny à différents niveaux dans le réservoir de Savigny en fonction des horaires (Cf § *Marnage des réservoirs***)**

```
RULE 1
IF SYSTEM CLOCKTIME > 10 PM
AND SYSTEM CLOCKTIME < 1 AM
AND TANK Savigny LEVEL BELOW 6.18
THEN PUMP 541 STATUS IS OPEN
RULE 2
IF SYSTEM CLOCKTIME > 10 PM
AND SYSTEM CLOCKTIME < 1 AM
AND TANK Savigny LEVEL ABOVE 6.18
THEN PUMP 541 STATUS IS CLOSED
RULE 3
IF SYSTEM CLOCKTIME >= 0 AM
AND SYSTEM CLOCKTIME < 6 AM
AND TANK Savigny LEVEL ABOVE 6.18
THEN PUMP 541 STATUS IS CLOSED
RULE 4
IF SYSTEM CLOCKTIME >= 0 AM
AND SYSTEM CLOCKTIME < 6 AM
AND TANK Savigny LEVEL BELOW 5.97
THEN PUMP 541 STATUS IS OPEN
RULE 5
IF SYSTEM CLOCKTIME >= 6 AM
AND SYSTEM CLOCKTIME < 11 AM
AND TANK Savigny LEVEL ABOVE 4.56
THEN PUMP 541 STATUS IS CLOSED
RULE 6
IF SYSTEM CLOCKTIME >= 11 AM
AND TANK Savigny LEVEL BELOW 4.56
THEN PUMP 541 STATUS IS OPEN
RULE 7
IF SYSTEM CLOCKTIME >= 11 AM
AND TANK Savigny LEVEL ABOVE 4.88
THEN PUMP 541 STATUS IS CLOSED
```

Annexe 11 : Edition des consommations

a. Listes des gros consommateurs : > 500 m³/an

	Noms	Adresse	Volume (m3 2014)	Volume (m3 2015)	N° nœud EPANET
Beaufort	Earl Blanchard Eric	2 Longeverne	1297	1421	197
	Com. Com. Sud Revermont	10 Grande Rue	534	596	563
	Cédric Guerre	Impasse du verger		518	504
	Garage Dumont	8 Route nationale	736	1054	571
	Jailllet Eric (Agriculteur)	4 Route de Flacey Le perron	994	1174	179
	Speichim processing	Usine le Honry Rue Gabriel Gentet	4717	8867	507
	Konig Nadine	Rue du château		644	520
	EARL des Cordières Varenne Sébastien	10 Longeverne	2050	2016	193
Cesancey	Aux Serres	Route nationale	1173	1739	339
Gevingey	Syrame Jean-Paul	2 Route de Lons	2146	2398	275
	Chambre des métiers du jura	23 Route de Lons		3044	279
	Commune de Gevingey	9 Rue du château		822	302
	Commune de Gevingey	19 Rue du château		808	303
Maynal	Gaec les Jardins de Theia	4 Route de la chapelle		906	645
	Gaec de la planche	4 Route des chavannes	6677	8075	600
Orbagna	GAEC de crève coeur	13 Hameau de crève cœur		790	472
Ste Agnès	Forest Guy Ferme « Le muguet »	18 Les Machurés	2577	2728	222
	Gaec de Savardine	7 Chemin des vignes	3019	3186	228
	OPH du jura	Rue de ronde		553	231
Savigny	Garage Arandel	Bois de Ban	1672	73	40
	Badot Didier	Les Magniens	770	929	95
	Commune	Ecole de garçons	1430	640	21
	Coulon Marion AERL du bois de ban	Bois de Ban	693	1977	40
	Gaec Andermatt	Les Sutils	2173	2593	98
	Gaec des fortes terres	Vériat	2932	3137	118
	Gilles René	Vernay	1500	3050	4
	Emmett Smith Zoé	1543 Route de Sagy		608	61
	Hoarau Léonus	1550 Route de Beauvernois		1092	70
	Earl de la terre au vent	Les Sutils		564	98
Vincelles	Ardan et Destournelles	2 Quartier de la minoterie		3947	430
	Andermatt Johan	104 Route de Bonnaud		549	159

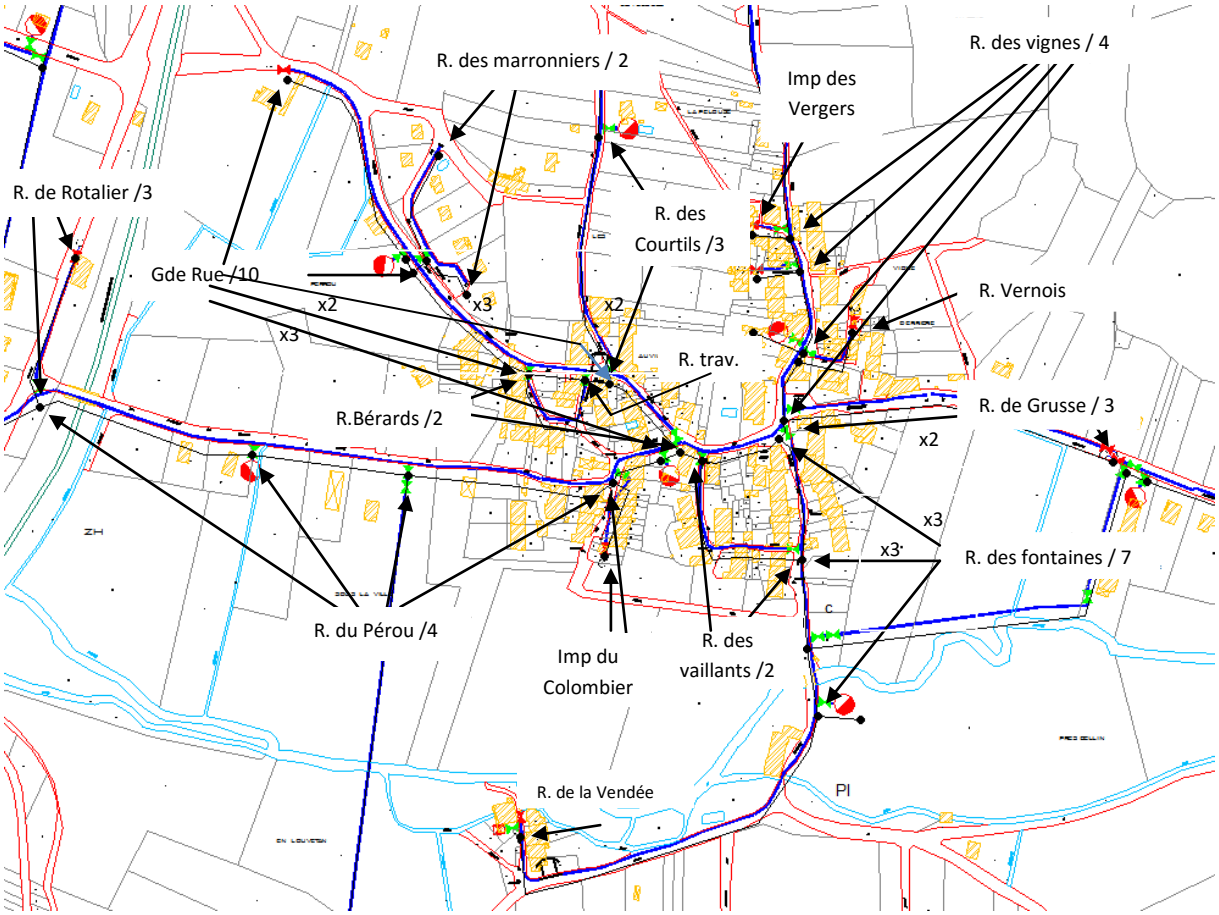
b. Groupement des consommations par rues

- *A Beaufort*

Adresse	Nombre d'abonnés	Consommation moyenne (m^3/an)	Nœud	Nom
Place de la mairie	12	45.273		
Place de l'hôtel de ville	3	39		
Route de Maynal	17	80.647		
Route d'Auvergne	20	80.4		
Rue du commerce	7	62.43		
Rue de la Burille	15	38.87		
Rue des boulistes	7	48.86		
Grande rue	43	75.33		
Impasse du tilleul	6	64.83		
Place du 11 novembre	8	82.75		
Rue Fauvet	8	48.5		
En Boinans	2	90		
Route nationale	1 gros	1054	571	Garage Dumont
Route nationale	53	82.35		
Rue du champ Bouvier	24	76.375		
L'étandonne	15	68.47		
Rue Jacques de Beaulieu	6	86		
Chemin du Vannet	1	133		
Les bois de Beaufort	1	69		
Rue des Nayards	4	34.75		
Rue de la tuilerie	3	55.33		
Avenue de la gare	27	59		
Rue de la Cressonière	7	102.29		
Rue du repos	2	24.5		
Rue Gabriel Gentet	1 gros	8510	507	Speichim processing
Place Claire Pernet	5	50.6		
Impasse du Honry	7	79.43		
Impasse Jeannin	3	66		
Rue de Bonneville	16	49		
Rue du Lavoir	8	59.5		
Rue du château	1 gros	644	520	Konig Nadine
Rue du château	37	53.60		
Rue de la Chanée	15	86.53		
Rue du presbytère	9	31.44		
Rue traversière	5	36.8		
Route d'Augisey	30	57.67		
Petit Rambey	3	58		
Grand Rambey	9	35.44		
Rue de la Coutouse	6	87.17		
Place du champ de foire	3	35		
Rue de Bonneville	1	0		
Rue des Grevots	8	70.29		
Les Grevots	1	76		
Le Perron	3	14.5		
Route de Flacey	1 gros	1238	179	Jaillet Eric
Route de Flacey	22	74.10		
Rue de la mare	3	47.67		
Rue du soleil couchant	6	114.33		
Rue des mouilles	3	167.67		
Rue de la tuilerie	5	53		
Moulin du Croz	1	145		

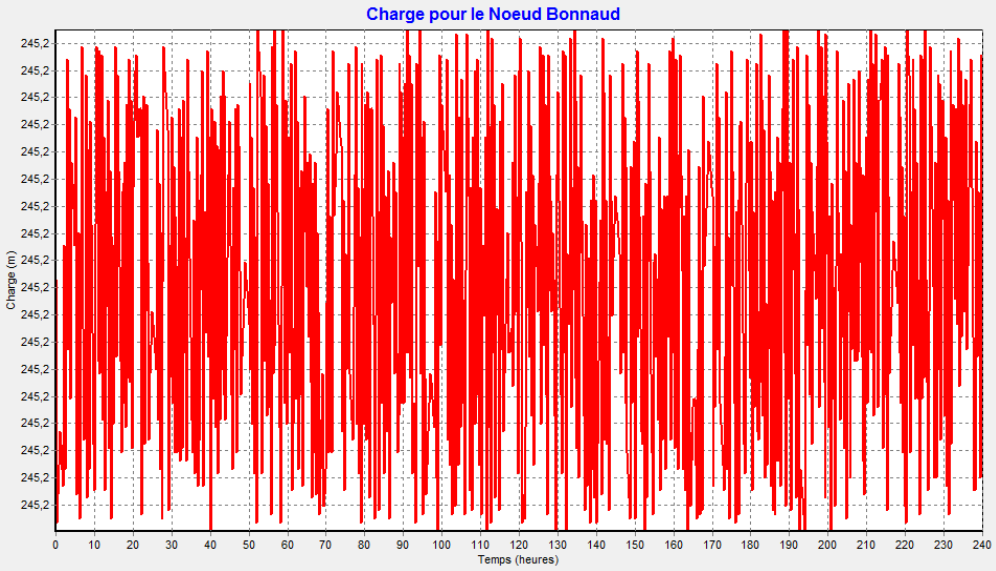
Longeverne	1 gros	2006	193	Earl des cordières
Longeverne	1 gros	1421	197	Earl éric blanchard
Longeverne	18	79.67		
Route de Vercia	1	118		
Rue des hirondelles	25	58.32		
Rue des mésanges	2	32.5		
Impasse du verger	11	110.55		
Chemin des pelles	2	132		
Route d'Orbagna	23	56.13		
Rue du levant	2	53		
Rue du cerisier	6	65.17		
Les Jouffroys	4	24.25		
Rue du coteau	14	84.64		
Rue de la source	7	70.43		
Rue du 19 mars 1962	9	67.33		
Rue du Preillon	8	71.5		
Clos Buzeau	12	77.25		

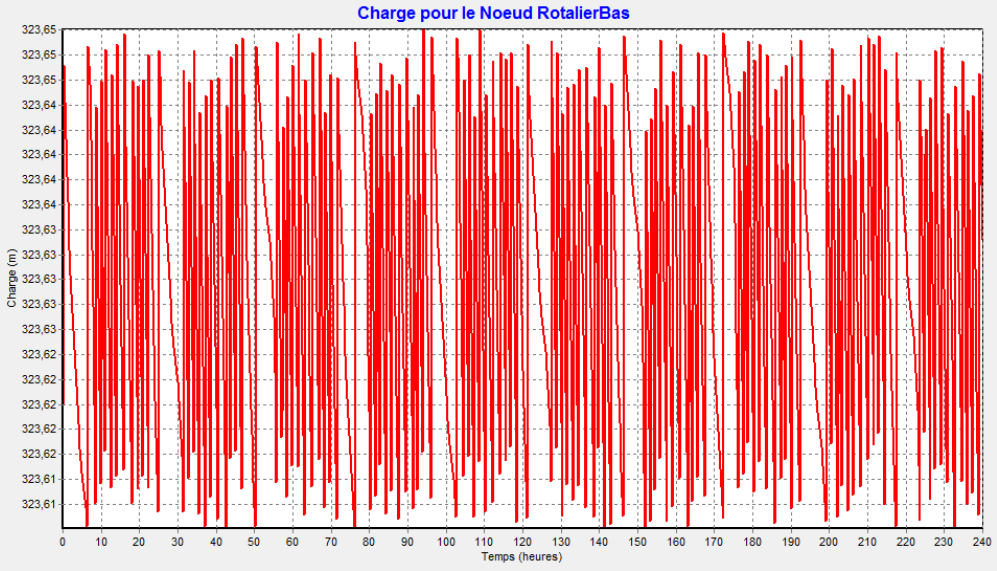
- ***A Vincelles : Distributions des consommations de chaque rue***

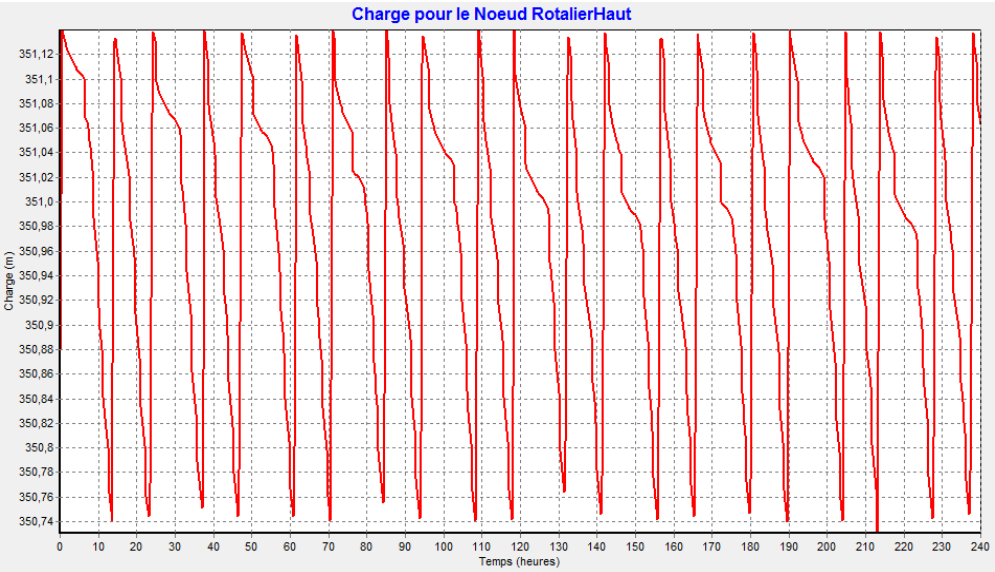


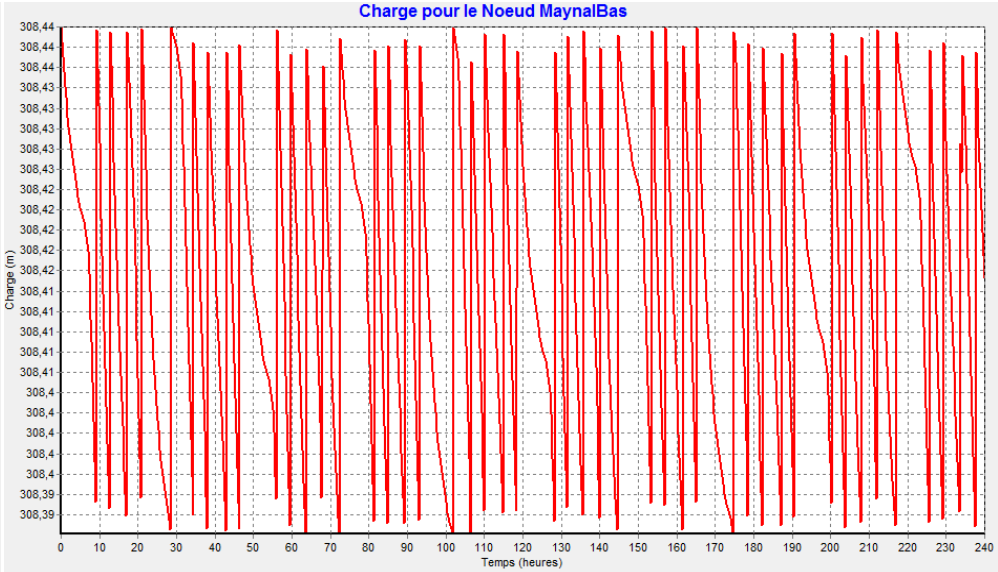
Annexe 12 : Résultats du calage

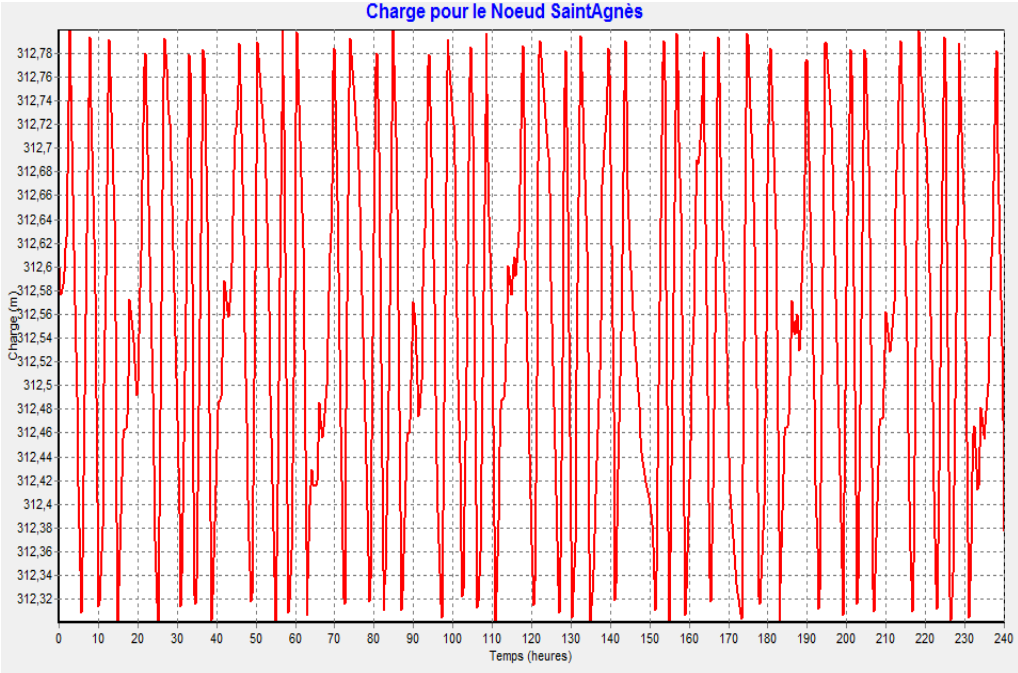
a. Courbes de marnage issues du modèle après calage

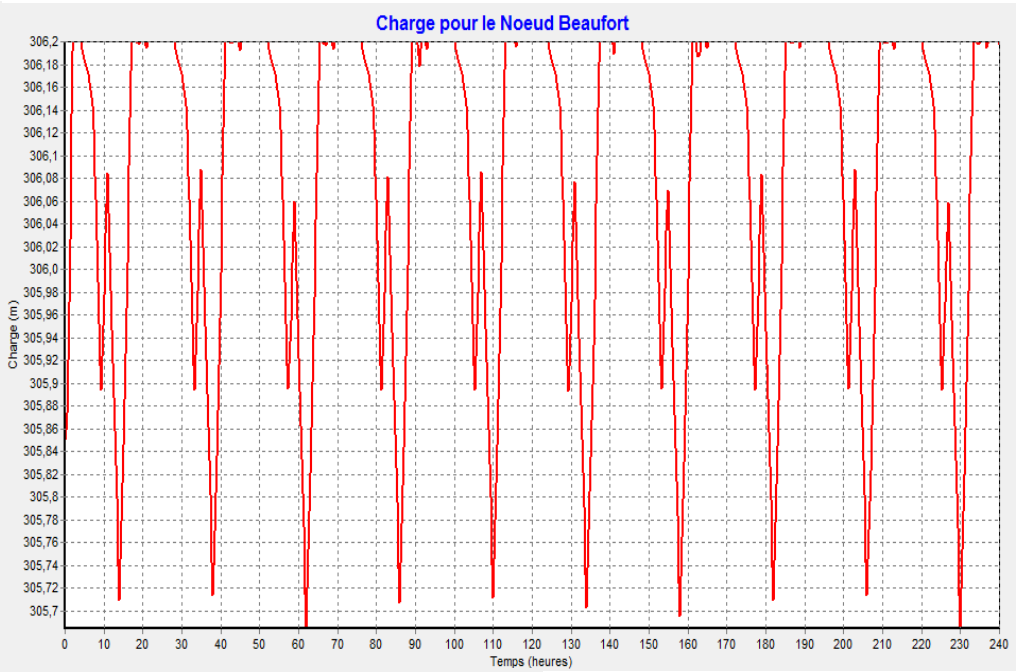


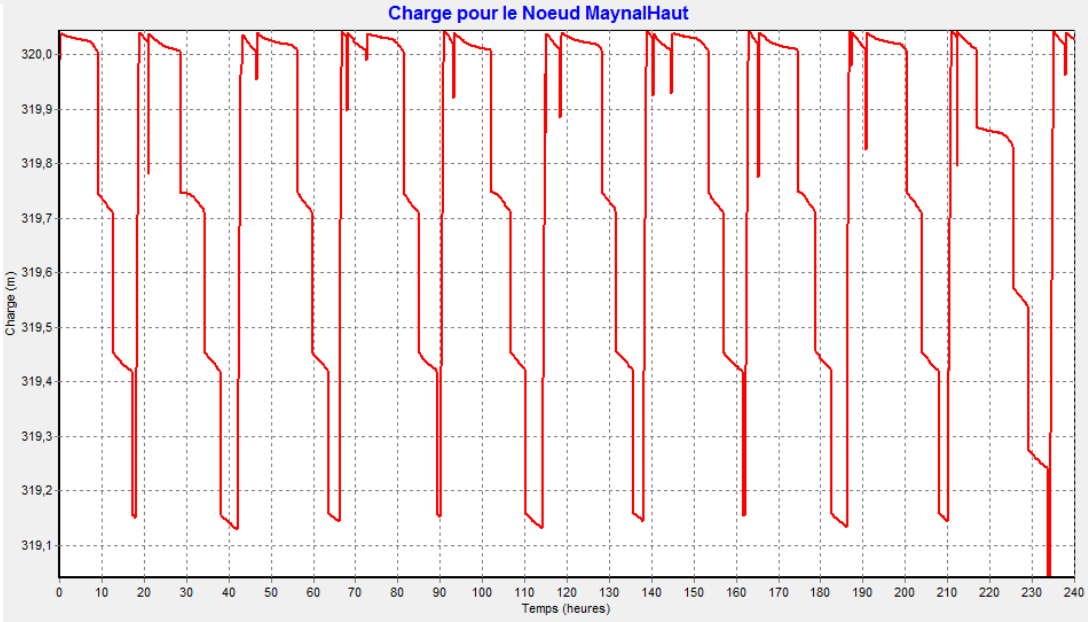







Charge pour le Noeud SaintAgnès
Charge (m)
Temps (heures)


Charge pour le Noeud Beaufort
Charge (m)
Temps (heures)


Charge pour le Noeud MaynalHaut
Charge (m)
Temps (heures)

b. Comparaison des débits

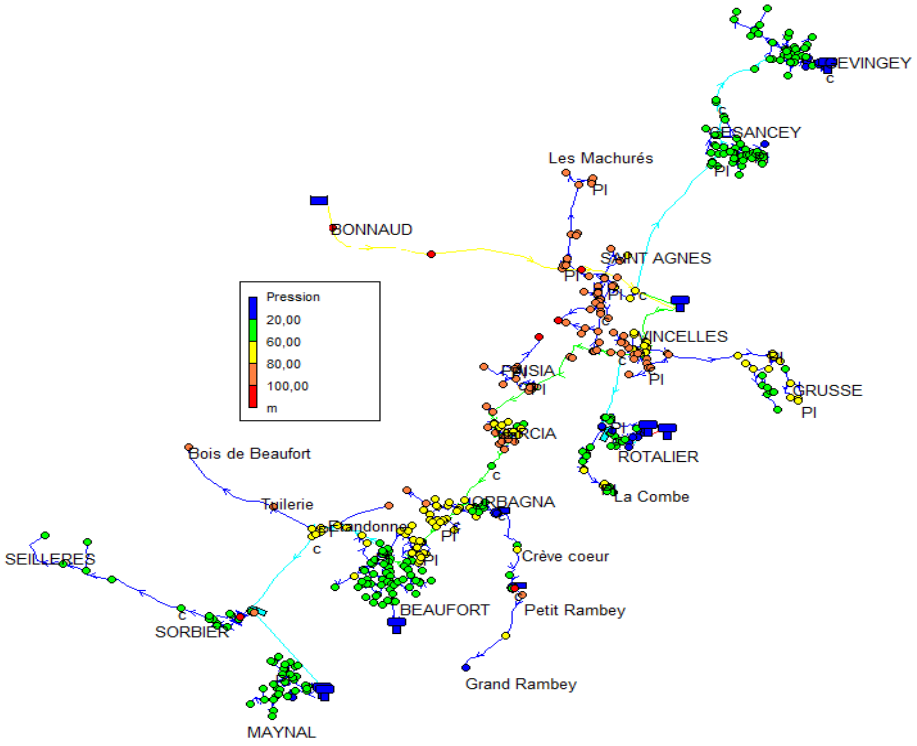
Référence compteur	Débit moyen mesuré (m^3/h)	Débit moyen approximatif du modèle (m^3/h)
3	21,2	22
4	6,7	Entre 6 et 7
5	4,5	Entre 4 et 5
6	1,9	Entre 1,5 et 2
7	0,07	Entre 0,06 et 0,08
8	1,1	1,5
9	1,5	Entre 1,2 et 1,5
10	0,02	1,5
11	13,9	Entre 12 et 16
12	11,4	Entre 10 et 13
13	10,4	Entre 11 et 13
14	0,06	Entre 0,04 et 0,06
15	0,1	Entre 0,1 et 0,3
16	2,7	Entre 2 et 3
17	0,9	Entre 0,5 et 0,8
18	0,4	Entre 0,3 et 0,4
20	0,8	Entre 0,8 et 1
21	3,4	Entre 1,5 et 2,5
22	2,4	Entre 2,3 et 2,7
23	4,3	Entre 3 et 3,5
24	2,0	Entre 2 et 2,5
25	1,7	Entre 1,5 et 2

c. Comparaison des pressions statiques

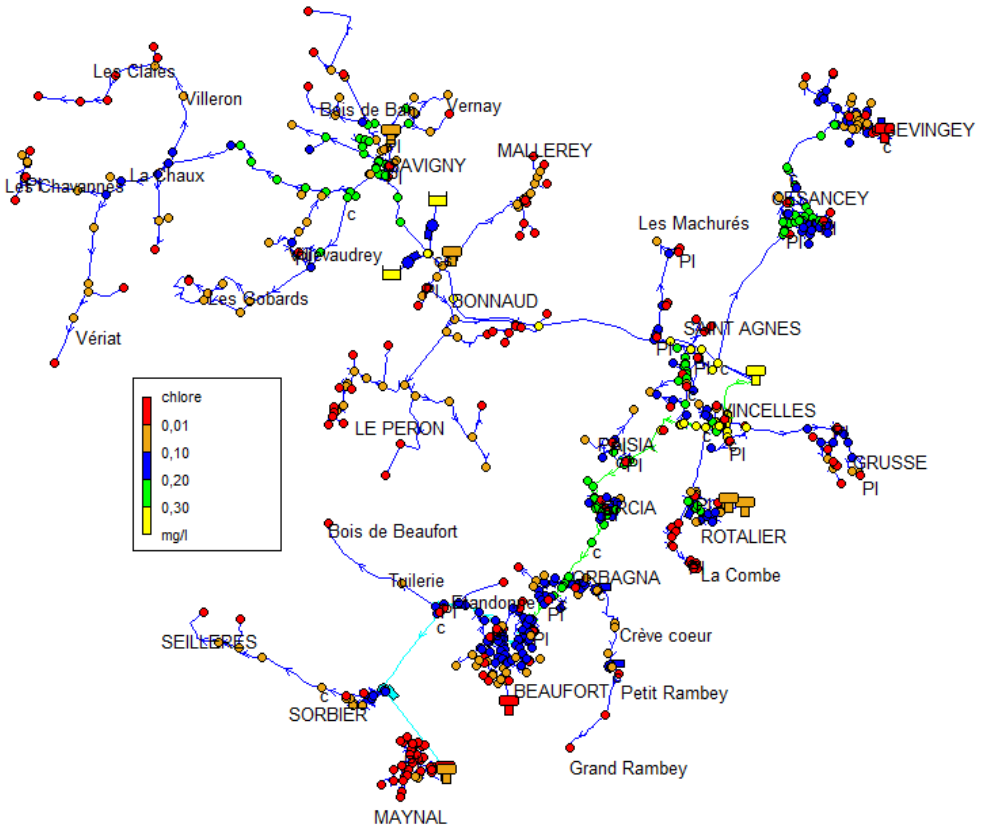
Référence PI	Campagne de mesure		Modèle EPANET	
	Heure	Pression mesurée (bar)	Pression modèle (bar)	Ecart relatif (%)
1	16h45	8,8	8,5	-3,5
4	14h	3,3	3,96	16,7
5	16h40	5,8	5,72	-1,4
6	14h15	6,4	6,44	0,6
2	17h	3,2	3,42	6,4
7	14h25	7	7,2	2,8
8	14h30	6,5	6,53	0,5
9	13h40	5,2	7,13	27,1
10	13h45	6,4	6,88	7,0
11	15h30	9,7	9,86	1,6
12	13h30	8,9	9,31	4,4
13	13h25	7,3	7,45	2,0
14	14h40	7,8	8,22	5,1
15	15h15	8,8	8,49	-3,7
16	15h20	9,2	9,34	1,5
17	14h50	5,8	6,05	4,1
18	15h10	3,8	3,77	-0,8
19	15h	3,2	3,27	2,1
20	13h20	7,8	8,02	2,7
21	13h15	8,7	9,26	6,0
26	13h10	8,1	8,35	3,0
22	13h	4,7	4,91	4,3
23	12h55	3,4	3,73	8,8
24	12h35	1,1	1,12	1,8
25	12h45	4,5	4,75	5,3
27	15h40	3,7	3,71	0,3
28	15h50	3,7	3,4	-8,8
29	15h55	3,2	3,19	-0,3
30	16h30	4,4	4,51	2,4
31	16h15	2,6	4,35	40,2
a	15h40	3,5	4,8	27,1
b	14h40	2,7	4,7	42,5
c	14h15	4	5,6	28,6

Annexe 13 : Exploitation du modèle

1. *Pression du haut service observées en modifiant légèrement les caractéristiques des pompes*



2. *Concentration en chlore en augmentation du taux de traitement en chlore à la station*



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Diplôme d'ingénieur de l'ENGEES

(Ecole Nationale du Génie de l'Eau et de l'Environnement de Strasbourg)

Spécialité GEDEMU

Gestion durable de l'eau en milieu urbain

AUBRY Sophie | 2013-2016

Schéma directeur d'alimentation en Eau Potable

Syndicat Intercommunal des Eaux de Beaufort Sainte-Agnès et environs (Jura)

Nombre de pages : 95 pages de texte et 23 d'annexes
Nombre de références bibliographiques : 11

Structure d'accueil : Bureau BEREST, antenne de Besançon

Maître de stage : Jérémie Rosan

Ce rapport présente le travail réalisé dans le cadre de l'élaboration du schéma directeur d'alimentation en eau potable du syndicat des eaux de Beaufort dans le Jura. L'objectif de cette étude est de présenter le fonctionnement du réseau, l'exploitation de sa modélisation sur EPANET, les travaux envisagés et le calcul de l'impact de ceux-ci sur le prix de l'eau.

Les travaux proposés ont pour but d'améliorer le fonctionnement hydraulique du réseau et en particulier la qualité de l'eau distribuée, de faire respecter le plan Vigipirate, de renouveler le patrimoine régulièrement et également de sécuriser les ouvrages pour garantir la sécurité du personnel lorsque ceux-ci s'y rendent.

Mots clés
Schéma directeur, eau potable, topographie, chlore, incendie, modélisation, EPANET, Jura, BEREST.