



**HAL**  
open science

# Modélisation du réseau d'eau potable du Syndicat des Eaux du Nord de l'Aisne et études annexes

Julien Pinteaux

► **To cite this version:**

Julien Pinteaux. Modélisation du réseau d'eau potable du Syndicat des Eaux du Nord de l'Aisne et études annexes. Sciences de l'ingénieur [physics]. 2014. dumas-03564995

**HAL Id: dumas-03564995**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03564995>**

Submitted on 10 Feb 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.

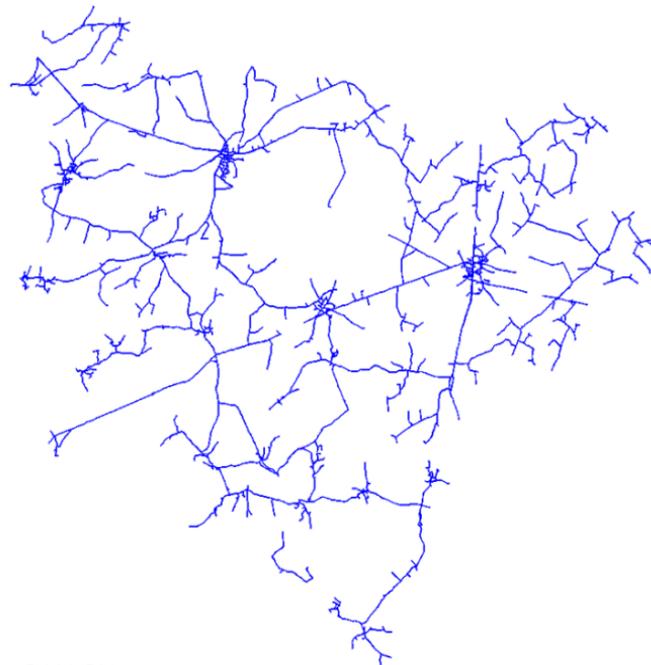
L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

**MEMOIRE DE FIN D'ETUDES**

***Modélisation du réseau d'eau potable du Syndicat  
des Eaux du Nord de l'Aisne et études annexes***

**Julien PINTEAUX  
Promotion Nijmegen**

*Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur de l'ENGEES*





## Remerciements

Au terme de ce projet de fin d'étude, je voudrais remercier tous ceux qui m'ont aidé et permis sa réalisation dans de bonnes conditions.

Mes remerciements s'adressent tout d'abord à Mr GALLOY Olivier, chef de secteur, qui a été mon maître d'apprentissage et Mme JULLIEN Christelle qui est ma tutrice école.

Mlle GERARD Maelle, expert hydraulique et Mlle MARTIN Stéphanie qui m'ont encadré au cours de la modélisation et des études d'aménagement du réseau.

Je remercie également l'ensemble du personnel avec lequel j'ai pu collaborer pendant la réalisation du modèle et des études :

- Le chef d'équipe et exploitant du réseau : M PARISOT Didier
- Les techniciens d'exploitation du service de Guise qui m'ont accompagné sur le terrain
- Le personnel du centre de Compiègne et de Magny-le-Hongre

## Résumé

### *Modélisation du réseau d'eau potable du syndicat des Eaux du Nord de l'Aisne et études annexes*

La société SAUR a été mandatée par le syndicat des Eaux du Nord de l'Aisne pour réaliser une modélisation du réseau d'eau potable qui comprend environ 447 km de canalisations et 6 722 abonnés répartis dans 31 communes.

La création du modèle macro du réseau a nécessité la réalisation d'une collecte de données et d'une campagne de mesure des pressions, la précision des différentes informations recueillies a permis la construction d'un modèle fiable.

L'objectif de ce modèle a été de mettre en évidence les zones de dysfonctionnement du réseau en terme de pression, de vitesse et de temps de séjour. Il a aussi permis la réalisation de pré-étude visant à montrer les capacités de la modélisation. Ces pré-études ont été basées sur des évolutions futures du réseau envisagées par le Syndicat des Eaux du Nord de l'Aisne. Les deux pré-études qui ont été abordées concernent la sécurisation de la commune du Nouvion-en-Thiérache et de ses industriels par la suppression d'Esqueheries et l'alimentation de la bache de la Capelle par la suppression de Froidestrées.

La modélisation du réseau d'eau a permis, après l'accord du syndicat, la création d'un modèle dit « Défense Incendie » qui sera utilisé dans le cadre de l'étude de défense incendie avec le Service Départemental d'Incendie et de Secours de l'Aisne.

## Abstract

### ***Network modelling of drinking water of the « Syndicat des Eaux du Nord de l'Aisne » and additional studies***

The company SAUR was commissioned by the « Syndicat des Eaux du Nord de l'Aisne » to create a model of the drinking water network that includes about 447 km of pipelines and 6 722 subscribers in 31 municipalities.

The creation of macro network model required the realisation of a data collection and a measurement campaign of pressure, the precision of various informations collected have permit the construction of a reliable model.

The objective of this model was to identify areas of a dysfunction of the network in terms of pressure, velocity and age. It also allowed the achievement of preliminary study to show the capabilities of modeling. These preliminary studies were based on future developments envisaged by the « Syndicat des Eaux du Nord de l'Aisne ». The two preliminary studies that have been realised are the securing of the municipality of « Nouvion-en-Thièrache » and its industrial by the overpressure of Esqueheries and the supply of the tank of « Capelle » by the overpressure of Froidestrees.

The network modelling of drinking water have permit, after the agreement of the Union, the creation of a model called « Defence Fire » that will be used during the study of fire defence with the «Service Départemental d'Incendie et de Secours de l'Aisne ».

## Sommaire

Table des tableaux.....	2
Table des figures.....	3
Index.....	5
Introduction.....	6
1 Présentation de la société.....	7
1.1 Présentation du groupe SAUR.....	7
1.2 La région Grand-Est.....	7
1.3 Centre Picardie-Artois-Flandre.....	8
2 Présentation du syndicat.....	9
2.1 Le syndicat.....	9
2.2 Le réseau.....	10
2.3 Bilan de l'activité.....	14
3 Les outils de modélisation.....	18
3.1 Historique.....	18
3.2 Les outils.....	18
3.3 Formule de calcul utilisée sous Epanet.....	20
4 La modélisation.....	22
4.1 La collecte des données.....	22
4.2 La création du modèle.....	23
4.3 Renseignement des consommations.....	27
5 Le calage du modèle.....	29
5.1 La campagne de mesure.....	29
5.2 La corrélation du modèle et de la réalité.....	31
5.3 Analyse de la précision du modèle.....	33
6 Etudes.....	36
6.1 Diagnostic du réseau.....	36
6.2 Etude d'aménagement du réseau.....	44
6.3 Etude de défense incendie.....	51
Conclusion.....	56
Bibliographie.....	57
Annexes.....	58

## Table des tableaux

Tableau n°1:	Descriptif des canalisations .....	10
Tableau n°2:	Caractéristiques des pompes de la station d'Englancourt .....	10
Tableau n°3:	Descriptif des ouvrages de stockage .....	11
Tableau n°4:	Descriptif des stations de surpression et de reprise .....	11
Tableau n°5:	Pression de consigne des stations de surpression du réseau .....	11
Tableau n°6:	Réservoir et règle d'asservissement des stations de reprise du réseau .....	12
Tableau n°7:	Caractéristiques des stabilisateurs de pression .....	12
Tableau n°8:	Communes desservies par les réservoirs .....	14
Tableau n°9:	Volumes produits sur les cinq dernières années.....	14
Tableau n°10:	Nombres de branchements et volumes consommés par commune .....	15
Tableau n°11:	Volumes consommés par les gros consommateurs.....	16
Tableau n°12:	Volume des ventes d'eau en 2013 .....	16
Tableau n°13:	Qualification de rendement du réseau .....	16
Tableau n°14:	Rendement du réseau du SENA .....	17
Tableau n°15:	Qualification de l'indice linéaire de perte du réseau .....	17
Tableau n°16:	Historique de la modélisation .....	18
Tableau n°17:	Formule de calcul des pertes de charge sous Epanet .....	21
Tableau n°18:	Coefficient de perte de charge pour différents matériaux .....	21
Tableau n°19:	Coefficient de perte singulière pour différents organes du réseau .....	21
Tableau n°20:	Les données nécessaires à la création d'un modèle .....	23
Tableau n°21:	Indicateurs utilisés pour l'analyse du modèle .....	36
Tableau n°22:	Tableau estimatif des coûts de réalisation.....	47

## Table des figures

Figure n°1:	Carte des directions régionales .....	7
Figure n°2:	Photo du Siège à Maurepas.....	7
Figure n°3:	Carte de la zone Nord – Ile de France -Normandie .....	8
Figure n°4:	Carte de localisation du Syndicat des Eaux du Nord de l'Aisne .....	9
Figure n°5:	Repérage des vannes fermées sur le logiciel Net&Gis .....	12
Figure n°6:	réseau du syndicat avec ses installations .....	13
Figure n°7:	Schéma de la loi des nœuds .....	20
Figure n°8:	Schéma de la loi des mailles .....	20
Figure n°9:	Image Aquasoft de tronçons mal ou non renseignés.....	23
Figure n°10:	Schéma de mise à l'échelle macro du réseau .....	25
Figure n°11:	Courbe modulation d'un réservoir conique de 1200 m <sup>3</sup> (réservoir de Foucommé).....	26
Figure n°12:	Courbe de pompe de la surpression de Froidestrées .....	26
Figure n°13:	Exemple de Boué pour l'attribution des consommations.....	27
Figure n°14:	Courbe du débit sur 5 jours du compteur de sectorisation de Bergues-sur-Sambre et Fesmy-le-Sart.....	28
Figure n°15:	Courbe de débit journalier de Bergues-Sur-Sambre et Fesmy-le-Sart.....	28
Figure n°16:	Courbe de modulation des besoins horaires de Bergues-Sur-Sambre et Fesmy-le-Sart.....	29
Figure n°17:	Photo des metrolog/logger .....	29
Figure n°18:	Emplacement des loggers.....	30
Figure n°19:	Courbe de marnage et de débit extraite de GEREMI .....	30
Figure n°20:	Courbe de calage de pression du logger Rocquigny.....	31
Figure n°21:	Courbe de corrélation des débits du compteur de sectorisation de la Haie Payenne..	32
Figure n°22:	Courbe de corrélation du marnage du réservoir de Leschelle .....	33
Figure n°23:	Schéma de fonctionnement de la surpression d'Esqueheries sous Epanet.....	34
Figure n°24:	Courbe de fonctionnement des débits de la surpression d'Esqueheries.....	34
Figure n°25:	Courbe de calage des débits de la surpression d'Esqueheries.....	34
Figure n°26:	Courbe de calage de la pression à l'aval de la surpression d'Esqueheries.....	35
Figure n°27:	Courbe de calage de la pression à l'amont de la surpression d'Esqueheries.....	35
Figure n°28:	Répartition des pressions minimales sur le réseau .....	36
Figure n°29:	Répartition des pressions minimales sur les communes de La Haie Payenne et de Clairfontaine.....	37

Figure n°30: Répartition des pressions maximales sur le réseau .....	38
Figure n°31: Répartition des pressions maximales sur les communes de Fesmy, Bergues sur Sambre et Barzy en Thiérache .....	39
Figure n°32: Répartition des pressions maximales sur les communes de Marly les Gomont et Saint Algis.....	39
Figure n°33: Répartition des pressions maximales sur les communes de Boué et du Nouvion en Thiérache.....	40
Figure n°34: Temps de séjour moyen de l'eau dans le réseau .....	41
Figure n°35: Les vitesses maximales dans le réseau.....	42
Figure n°36: Schéma d'aménagement du réseau.....	44
Figure n°37: Carte des réseaux d'alimentation du Nouvion-en-Thiérache .....	45
Figure n°38: Courbe des pressions en sortie de surpression.....	45
Figure n°39: Courbe de débit de la station de surpression .....	46
Figure n°40: Courbe de marnage de la bêche.....	46
Figure n°41: Plan de la zone surpressée .....	48
Figure n°42: Schéma de l'aménagement futur.....	49
Figure n°43: Courbes des pressions au niveau de la cité de la Croix Bossue.....	49
Figure n°44: Courbe de marnage du réservoir de Froidestrées .....	50
Figure n°45: Courbe des vitesses et des temps de séjour après l'aménagement .....	50
Figure n°46: Carte de localisation des poteaux incendies .....	52
Figure n°47: Plan des réseaux de Sorbais et localisation des hydrants sous ArcMap .....	53
Figure n°48: Carte de conformité des hydrants de la commune de Sorbais.....	54
Figure n°49: Carte des zones de conformité de la commune de Sorbais .....	54
Figure n°50: Carte de conformité des bâtiments et des parcelles pour la commune de Sorbais .....	55

## Index

**AEP** : adduction d'eau potable

**CPO** : Centre de Pilotage Opérationnel

**DECI** : Défense Extérieure Contre les Incendies

**EPA** : Environmental Protection Agency

**GEREMI** : système de GEstion des REseaux par Moyens Informatique de Saur

**HMT** : Hauteur Manométrique Totale

**mCE** : mètre de colonne d'eau

**Net&Gis** : Network and Geographic Information System

**NGF** : Nivellement Général de la France

**NIN** : Nord – Ile de France – Normandie

**PE** : Polyéthylène

**PEHD** : Polyéthylène haute densité

**PVC** : PolyChlorure de Vinyle

**RAD** : Rapport annuel du délégataire

**SAUR** : Société d'Aménagement Urbain et Rural

**SDIS** : Service Départemental d'Incendie et de Secours

**SENA** : Syndicat des Eaux du Nord de l'Aisne

**SIG** : Systèmes d'Information Géographique

## Introduction

Les exploitants d'un réseau d'eau potable assurent le service 24h/24. Ils doivent faire face aux problématiques que pose l'alimentation en eau des abonnés : garantir une bonne qualité d'eau, assurer un débit d'alimentation suffisant et une continuité de service.

Afin de répondre à ces objectifs, des logiciels de modélisation des réseaux d'eau potable ont été développés. La modélisation de réseau est un outil de diagnostic et de prédiction du fonctionnement du réseau, il permet de tester des aménagements futurs et de déterminer les impacts d'une évolution future.

La modélisation du réseau du Syndicat des Eaux du Nord de l'Aisne et les diverses études sont réalisées dans le cadre d'une étude mandatée par le syndicat. Le modèle informatique est réalisé avec les logiciels AQUASOFT et EPANET.

## 1 Présentation de la société

### 1.1 Présentation du groupe SAUR

SAUR est un groupe de services aux collectivités dont le métier historique est l'adduction d'eau potable et le traitement des eaux usées. Le groupe intervient principalement en France mais aussi à l'international (Pologne, Arabie Saoudite, Espagne, Ecosse) et emploie 13 000 salariés [1].

Le siège de SAUR situé à Saint Quentin en Yvelines assure une couverture nationale du territoire grâce à 3 directions régionales, 6 Centres de Pilotage Opérationnels (CPO) et 22 centres opérationnels d'exploitation (dont 2 dans les DOM) qui sont en charge de la bonne exécution des contrats.

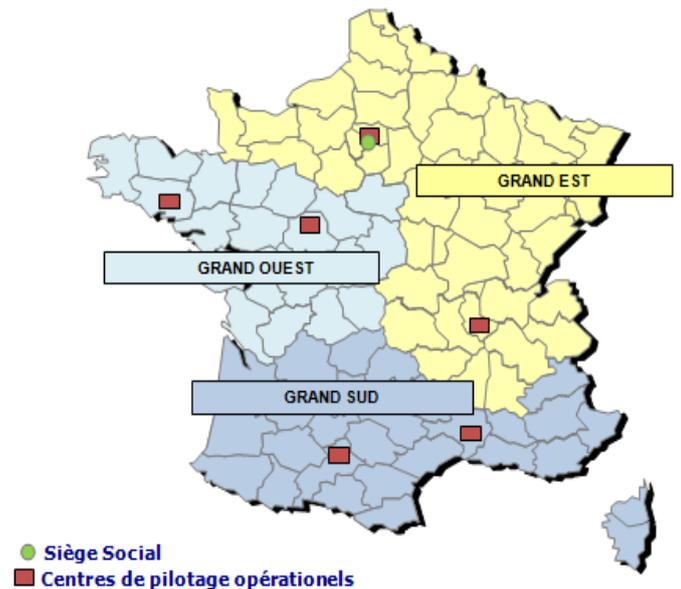


Figure n°1: Carte des directions régionales  
(SAUR, Rapport annuel du délégataire – Exercice 2013)[1]

### 1.2 La région Grand-Est

La région Grand-Est dont je fais partie se compose de :

- 6 centres d'exploitations,
- Des services opérationnels permettant d'apporter au terrain une aide et une assistance dans l'accomplissement des missions des collaborateurs de « terrain »,
- Des services fonctionnels administratifs tels que : clientèle, comptabilité, ressources humaines.

Le Siège de la zone Nord (NIN : Nord-Ile de France-Normandie) est basé à Maurepas (78). Il définit et met en œuvre la politique de la région dans les différents domaines de la société.

Figure n°2: Photo du Siège à Maurepas



Afin de mener à bien ces missions, la zone Nord dispose de trois centres opérationnels d'exploitations :

- Le centre Picardie-Artois-Flandre, basé à Compiègne (60)
- Le centre Normandie, basé à Grentheville (14)
- Le centre Ile de France, basé à Magny le Hongre (77)

Afin d'assurer un soutien auprès des agents de « terrain », la région possède un Centre de Pilotage Opérationnel situé à Magny-le-Hongre. L'objectif de ce centre est d'améliorer la performance technique et la traçabilité grâce à :

- des outils de mobilité pour les équipes d'interventions,
- une organisation plus réactive et efficace (meilleure planification des interventions),
- une centralisation des données du terrain.

Le CPO dispose également d'un personnel spécialisé dans le suivi du renouvellement des équipements, le suivi des résultats d'analyse, la modélisation des réseaux et leur optimisation.

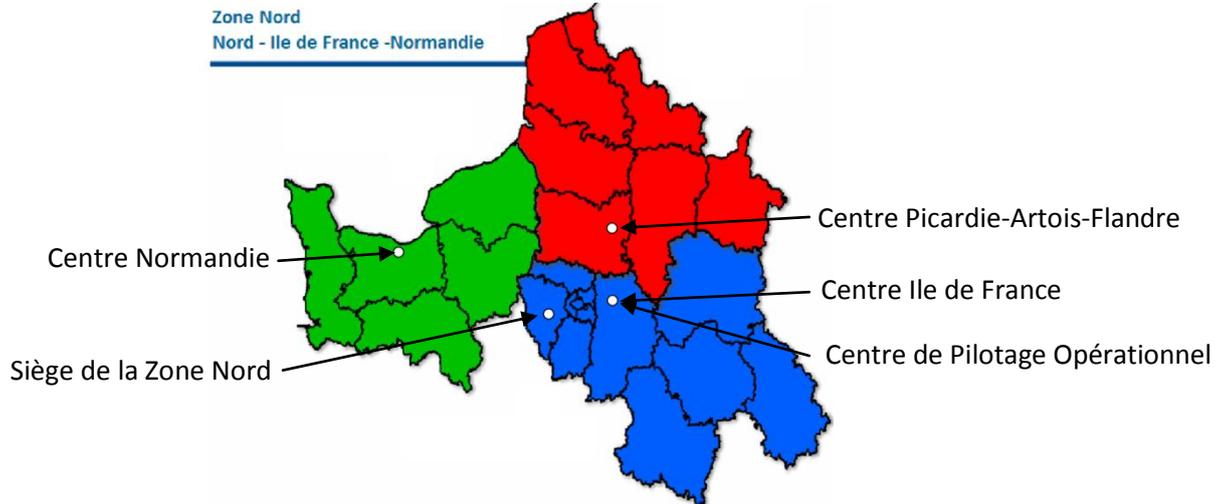


Figure n°3: Carte de la zone Nord – Ile de France -Normandie

### 1.3 Centre Picardie-Artois-Flandre

Le centre est responsable des activités Eau et Assainissement sur le territoire Picardie-Artois-Flandre (*Voir figure n°3, zone en rouge sur la carte*). Il assure les relations avec les différents interlocuteurs (collectivités, syndicats, Agence de l'Eau), la communication avec le Direction Régionale basée au Siège et le Centre de Pilotage Opérationnel.

Afin d'assurer ses obligations, le centre s'appuie sur 148 collaborateurs répartis dans les domaines suivants :

- |   |  |
|---|--|
| - Direction   | - Service Relation Clientèle             |
| - Service Exploitation                                  | - Pôle secrétariat                       |
| - Service Production, Traitement et Gestion des réseaux | - Service administratif                  |
| - Service Maintenance, Travaux                          | - Service Qualité Sécurité Environnement |
| - Service Logistique                                    | - Service de Cartographie informatisée   |

Pour faciliter l'exécution de ces obligations, le territoire Picardie-Artois-Flandre est divisé en deux secteurs. Le secteur Artois Picardie où je suis basé, dispose de locaux à Guise et à Corbeny (02) afin d'assurer une bonne exploitation des installations et des réseaux au quotidien.

## 2 Présentation du syndicat

### 2.1 Le syndicat

#### 2.1.1 Localisation

Le syndicat du SENA se situe en Picardie dans le nord de l'Aisne (02).

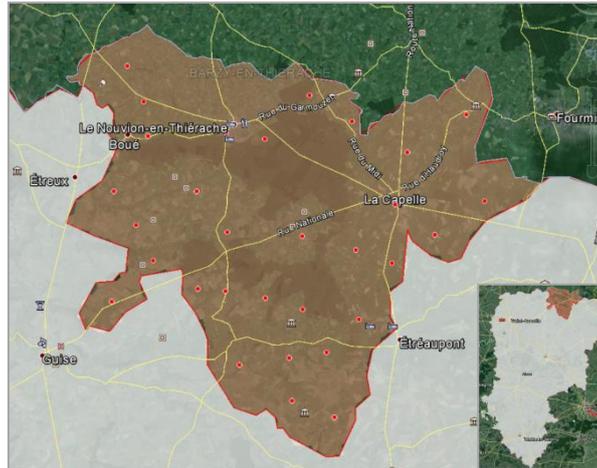


Figure n°4: Carte de localisation du Syndicat des Eaux du Nord de l'Aisne

#### 2.1.2 Historique

Le Syndicat des Eaux du Nord de l'Aisne, initialement appelé Syndicat d'adduction d'Eau des communes du Nord de l'Aisne, a été créé en 1960, il regroupait alors 31 communes réparties sur les cantons de La Capelle, du Nouvion, de Vervins et de Guise.

Quelques années plus tard, les communes de Fesmy et Le Sart fusionnent pour former Fesmy-Le-Sart et la commune de Villers-lès-Guise intègre le syndicat.

Le 1 janvier 1996, le syndicat passe avec SAUR un contrat de délégation de service public pour une durée de 20 ans.

## 2.2 Le réseau

En passant un contrat de délégation avec le syndicat, SAUR prend en charge l'exploitation et l'entretien du réseau d'adduction ainsi que les installations et équipements.

### 2.2.1 Les canalisations

Le réseau d'adduction d'eau potable est caractérisé par 446,5 km linéaires de conduite dont 46,1% sont en Amiante ciment et 34,4% en PVC.

Matériaux	Pourcentage
Acier	2,6%
Amiante ciment	46,1%
Fonte	13,5%
Plomb	0,0%
Polyéthylène	0,8%
PVC	34,4%
Inconnu	2,6%

Tableau n°1: Descriptif des canalisations

### 2.2.2 Les installations

Le réseau du syndicat est équipé d'installations (station de production, surpression, réservoir) qui permettent son bon fonctionnement.

#### 2.2.2.1 Les stations de production

L'eau mise en distribution sur le réseau provient des stations de production d'Englancourt et de la Capelle.

- **La station de production d'Englancourt**

La station de production d'Englancourt reçoit l'eau d'une station d'exhaure qui capte l'eau dans la rivière Oise et du forage de St Algis. Le forage est équipé de deux pompes immergées de 150 m<sup>3</sup>/h. Une fois traitée l'eau est envoyée vers les trois réservoirs/bâches de tête (Le Boujon, Leschelle et Erloy) à l'aide de pompes dont les caractéristiques sont les suivantes :

Pompes	Débit	Pressions de consigne
Le Boujon	230 m <sup>3</sup> /h	160 mCE
Leschelle	250 m <sup>3</sup> /h	130 mCE
Erloy	60 m <sup>3</sup> /h	95 mCE

Tableau n°2: Caractéristiques des pompes de la station d'Englancourt

- **La station de production de la Capelle**

La station de production de la Capelle reçoit l'eau d'un forage équipé de deux pompes immergées de 38 m<sup>3</sup>/h. l'eau traitée est envoyée dans la bache de la Capelle.

### 2.2.2.2 Les ouvrages de stockage

Le réseau compte 19 ouvrages de stockage dont les caractéristiques sont les suivantes :

Désignation	Volume (m3)	TP (mNGF)	Radier (mNGF)
Réservoir du Boujon	800	253	245,8
Réservoir de Leschelle	800	227,2	220
Réservoir du haut Bugny	300	239,5	233
Réservoir de Clairfontaine	300	261	255
Réservoir du Nouvion-en-Thiérache	500	221	214,7
Réservoir de la Malassise	500	222,2	214,7
Réservoir de Foucommé	1200	214	205
Réservoir de Froidestrées	500	246	239
Réservoir de la Haie Payenne	300	249,7	243,7
Réservoir de la Capelle	280	243,7	239
Réservoir de Solmont	300	226	219,9
Réservoir de Villers-lès-Guise	60	168,1	165,5
Bâche d'Erloy	500	197	193
Bâche de reprise de la capelle	400	225,4	222,1
Bâche de reprise de Solmont	150	167,8	164,8
Bâche de reprise de Clairfontaine	150	228	225
Bâche de reprise de la Haie Payenne	150	230,5	227,5
Bâche n°1 de la station d'Englancourt	500	-	-
Bâche n°2 de la station d'Englancourt	2000	-	-

Tableau n°3: Descriptif des ouvrages de stockage

### 2.2.2.3 Les stations de reprise et de surpression

Le réseau compte quatre stations de reprise et quatre stations de surpression dont les caractéristiques sont les suivantes :

désignation	Débit nominal m <sup>3</sup> /h	HMT en mCE
Surpression du Nouvion-en-Thiérache	15	64
Surpression d'Esqueheries	105	35
Surpression de Froidestrées	28	20
Surpression de Buironfosse	62,5	22,5
Reprise de la Haie Payenne	50	26
Reprise de Clairfontaine	40	35
Reprise de Solmont	40	78,5
Reprise de la Capelle	38	17

Tableau n°4: Descriptif des stations de surpression et de reprise

Le mode de fonctionnement des stations de reprise et de surpression sont les suivants :

Surpression	Pression de consigne
Esqueheries	2,4 bar minimum à l'amont
Buironfosse	4,7 bar à l'aval
Le Nouvion	4,5 bar minimum à l'aval / 5,5 bar maximum à l'aval
Froidestrées	5,4 bar à l'aval

Tableau n°5: Pression de consigne des stations de surpression du réseau

Reprise	Réservoir d'asservissement	Règle d'asservissement
La Haie Payenne	Réservoir de La Haie Payenne	Robinet à flotteur
Clairfontaine	Réservoir de Clairfontaine	Robinet à flotteur
Solmont	Réservoir de Solmont	Robinet à flotteur
La Capelle	Réservoir de La Capelle	Robinet à flotteur

Tableau n°6: Réservoir et règle d'asservissement des stations de reprise du réseau

#### 2.2.2.4 Les vannes fermées et les clapets anti-retour

Le positionnement des vannes fermées et des clapets anti-retour sur le réseau est repéré grâce au logiciel Net&Gis, il est complété grâce à la connaissance du réseau par les exploitants.

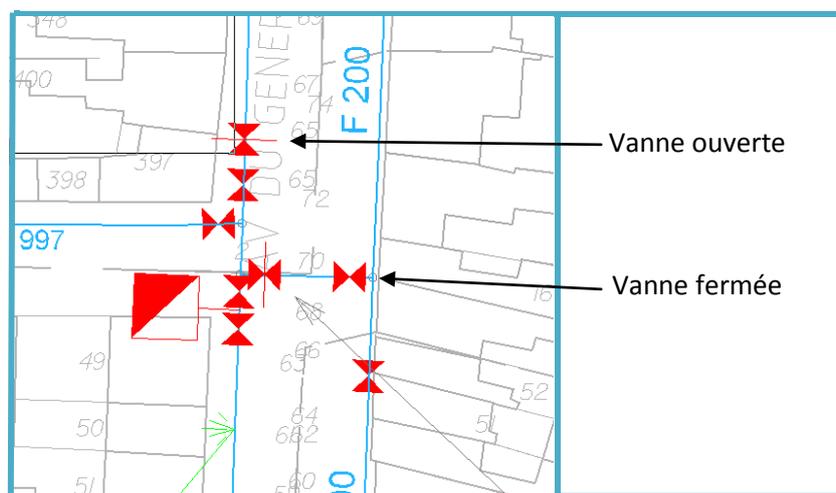


Figure n°5: Repérage des vannes fermées sur le logiciel Net&Gis

#### 2.2.2.5 Les stabilisateurs de pression

Le positionnement des stabilisateurs de pression est repéré grâce au logiciel Net&Gis. Leurs caractéristiques sont les suivantes :

Site	diamètre	Pression amont	Pression aval
Chigny – Rue du Bicentenaire	100	5,4	4,0
Villers les Guise – By-pass réservoir	100	5,5	2,7
Dohis – Liaison réseaux Boujon/Leschelle	100	Non utilisé	
Le Nouvion-en-Thiérache – Rue Paula Audubert	125	6,5	4,0

Tableau n°7: Caractéristiques des stabilisateurs de pression

### 2.2.3 Le fonctionnement du réseau

La distribution d'eau sur le réseau est assurée par la station de production d'Englancourt qui alimente les réservoirs de tête (Réservoir de Leschelle, réservoir du Boujon et bêche d'Erloy) et par la station de production de la Capelle qui alimente la bêche de la Capelle. (*synoptique en annexe 1*)

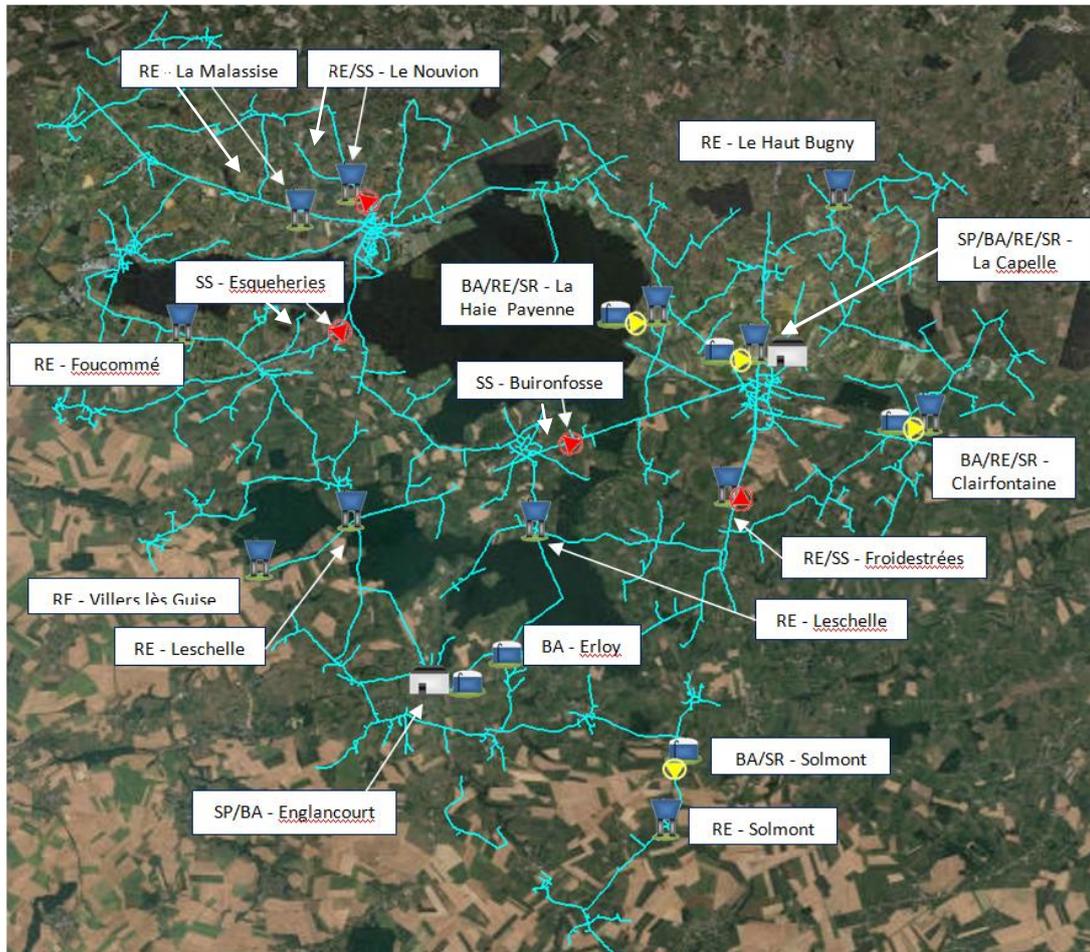


Figure n°6: réseau du syndicat avec ses installations

On distingue 2 stations de production et 19 réservoirs et baches :

- La station de production d'Englancourt est équipée de huit pompes :
  - Trois pompes de refoulement vers le réservoir de Leschelle
    - Le réservoir de Leschelle alimente en gravitaire les réservoirs de Villers-Lès-Guise, Foucommé et en surpression les réservoirs du Nouvion Ancien et de la Malassise.
  - Trois pompes refoulent vers le réservoir du Boujon
    - Le réservoir du Boujon alimente en gravitaire les réservoirs et baches de Froidestrées, Clairfontaine, Malassise, Nouvion Ancien et en surpression le réservoir et la bêche de la Haie Payenne. Le réservoir de la Haie Payenne alimente en gravitaire le réservoir du Haut Bugny. Le réservoir de Froidestrées alimente en surpression la Capelle.

- Deux pompes refoulent vers la bache d'Erloy
  - La bache d'Erloy alimente en gravitaire la bache de Solmont qui refoule ensuite vers le réservoir de Solmont.
- La station de la Capelle alimente la bache de la Capelle qui refoule ensuite vers le réservoir sur tour de la Capelle.

Réservoirs et baches	Communes alimentées
Bache d'Erloy	Erloy, Saint Algis, Marly Gomont, Englancourt, Sorbais, Autrepes
Bache et réservoir de Solmont	Solmont, Haution, Laigny
Réservoir du Boujon	Froidestrées, Lerzy, Buironfosse, le Nouvion-en-Thiérache
Réservoir de Froidestrées	La Capelle
Bache et réservoir de ClairFontaine	Clairfontaine
Bache et réservoir de la Haie Payenne	La Haie Payenne, Papeux, Fontenelle, La Flamengrie, Rocquigny
Réservoir du Haut Bugny	Rocquigny
Réservoir du Nouvion Ancien	Le Nouvion-en-Thiérache
Réservoir de la Malassise	Fesmy, Le Sart, Barzy-en-Thiérache, Bergues-sur-Sambre
Réservoir de Leschelle	Esqueheries, Leschelle, Lavaqueresse, Dorengt, La Neuville-les-Dorengt
Réservoir de Villers-lès-Guise	Villers-lès-Guise
Réservoir de Foucommé	Boué
Bache et réservoir de la Capelle	La Capelle

Tableau n°8: Communes desservies par les réservoirs

## 2.3 Bilan de l'activité

### 2.3.1 Les ressources

#### 2.3.1.1 La production

Au cours de l'année de 2013, 2 245 791 m<sup>3</sup> ont été produits par les deux unités de production.

	2009	2010	2011	2012	2013
<b>Volumes produits (m<sup>3</sup>)</b>	2 142 318	2 115 547	2 225 722	2 303 316	2 336 538
<b>Dont la station d'Englancourt</b>	1 949 509 (91%)	1 948 419 (92,1%)	2 107 759 (94,7%)	2 176 634 (94,5%)	2 189 336 (93,7%)
<b>Dont la station de la Capelle</b>	192 809 (9%)	167 128 (7,9%)	117 963 (5,3%)	126 682 (5,5%)	147 202 (6,3%)

Tableau n°9: Volumes produits sur les cinq dernières années  
(SAUR, Rapport annuel du délégataire – Exercice 2013) [1]

#### 2.3.1.2 L'achat d'eau

2 914 m<sup>3</sup> d'eau ont été importés sur le syndicat afin d'alimenter Le Sourd Bechoue et Le Sourd Ambercy (Commune de Haution).

## 2.3.2 Les consommations

### 2.3.2.1 Les communes

Le réseau du syndicat des Eaux du Nord de l'Aisne compte 6 772 branchements d'eau potable. Le total des volumes distribués sur l'année civile 2013 s'élève à 1 630 203 m<sup>3</sup>.

Communes	Nombre de branchement en 2013	Volume consommé en 2013 (m <sup>3</sup> )
Autreppes	93	12 275
Barzy-en-Thiérache	132	8 972
Bergues-sur-Sambre	92	23 171
Boué	618	301 274
Buironfosse	504	51 434
Chigny	95	9 050
Clairfontaine	224	30 715
Crupilly	33	6 756
Dorengt	88	9 662
Englancourt	76	10 358
Erloy	70	9 611
Esqueheries	382	40 472
Fesmy-le-Sart	212	20 891
Fontenelle	124	14 658
Froidestrées	89	18 532
Haution	52	4 073
La Capelle	838	98 622
La Flamengrie	467	59 356
La Neuville-les-Dorengt	153	16 906
Laigny	108	14 753
Lavaqueresse	117	9 583
Le Nouvion-en-Thiérache	1 076	716 641
Lerzy	111	15 411
Leschelle	153	18 196
Marly-Gomont	235	23 688
Papleux	53	7 006
Rocquigny	152	27 773
Saint-Algis	88	7 613
Sommeron	64	12 796
Sorbais	138	19 575
Villers-les-Guise	85	10 380
<b>Total du syndicat</b>	<b>6 722</b>	<b>1 630 203</b>

Tableau n°10: Nombres de branchements et volumes consommés par commune  
(SAUR, Rapport annuel du délégataire – Exercice 2013) [1]

### 2.3.2.2 Les gros consommateurs

Les gros consommateurs représentent les abonnés dont la consommation est supérieure à 6 000 m<sup>3</sup>/an. Le syndicat du SENA compte 9 gros consommateurs.

Client	Commune	Volume consommé en 2013 (m <sup>3</sup> )
SARL Le Port de Bergues	Bergues-sur-Sambre	6 976
Nestlé France	Boué	8 612
Materne	Boué	110 245
ETS Maison de retraite	La Capelle	10 113
SARL SCOP Abattoir de l'Aisne	Le Nouvion-en-Thiérache	25 071
West Pharmaceutical Services	Le Nouvion-en-Thiérache	20 018
STE Hôpital/Maison de retraite	Le Nouvion-en-Thiérache	8 481
Les Fromagers de Thiérache	Le Nouvion-en-Thiérache	422 373
GAEC des Hayettes	Rocquigny	8 349

Tableau n°11: Volumes consommés par les gros consommateurs (SAUR, Rapport annuel du délégataire – Exercice 2013) [1]

### 2.3.2.3 Les ventes d'eau

Les ventes d'eau représentent 7,5% du volume consommé soit 123 118 m<sup>3</sup>.

Désignation	Volume exporté en 2013 (m <sup>3</sup> )
VE CNE d'Etreaupont EP	49 894
VE Malzy	4 494
VE Origny-en-Thiérache	11 909
VE SIDEN	2 603
VE Vervins	54 219

Tableau n°12: Volume des ventes d'eau en 2013 (SAUR, Rapport annuel du délégataire – Exercice 2013) [1]

## 2.3.3 Les indicateurs de performance

### 2.3.3.1 Le rendement

Le rendement quantifie l'écart entre les volumes distribués et ceux consommés. Il caractérise donc indirectement l'état du réseau en donnant un aperçu du volume des fuites sur une année.

$$\text{Rendement net du réseau (\%)} = (V_{\text{consommé}}) / (V_{\text{mis en distribution}} + V_{\text{besoin réseau}}) * 100$$

Le rendement du réseau peut être qualifié de la façon suivante :

Rendement	Descriptif
50 à 60%	Mauvais
60 à 70%	Médiocre
70 à 75%	Moyen
75 à 80%	Bon
80 à 85%	Très bon
85 à 90%	Excellent

Tableau n°13: Qualification de rendement du réseau (E.WEBER et D.GILBERT, Alimentation en eau potable – 2001-2008)[2]

Désignation	2009	2010	2011	2012	2013
Volume comptabilisé (m <sup>3</sup> )	1 581 259	1 529 216	1 615 846	1 591 408	1 630 203
Volume consommé* (m <sup>3</sup> )				1 608 869	1 647 633
Volume produit (m <sup>3</sup> )	2 142 318	2 115 547	2 225 722	2 303 316	2 336 538
Volume importé (m <sup>3</sup> )	3 197	4 554	3 785	4 203	3 983
Volume exporté (m <sup>3</sup> )	113 754	102 657	107 342	115 422	123 118
Volume mis en distribution (m <sup>3</sup> )	2 031 761	2 017 444	2 122 165	2 192 097	2 217 403
Rendement net du réseau	78%	76%	77%	73%	74%

\*volume consommé = volume comptabilisé + volume de service du réseau

Tableau n°14: Rendement du réseau du SENA  
(SAUR, Rapport annuel du délégué – Exercice 2013)[1]

Entre 2009 et 2012, une baisse du rendement du réseau a été observée. Cette dégradation du rendement est due à une augmentation du nombre de fuites sur le réseau qui est vieillissant. Depuis 2012, des travaux de renouvellement et des campagnes de recherche de fuites ont permis de diminuer le nombre de fuite sur le réseau. Les réparations sur le réseau se poursuivant nous devrions pouvoir observer une amélioration du rendement du réseau au cours de l'année en cours.

### 2.3.3.2 L'indice linéaire de consommation (ILC)

L'indice linéaire de consommation (ILC) est un rapport entre les volumes comptabilisés (m<sup>3</sup>/j) et le linéaire de réseau. Ce rapport est un indice linéaire de consommation qui permet de classer les réseaux par type : rural, semi-rural, urbain.

$$ILC (m^3/j/km) = V_{Consommé} / Longueur\ du\ réseau$$

L'indice linéaire de consommation est caractérisé de la façon suivante :

Rural	Semi-rural	Urbain
ILC < 10	10 < ILC < 30	ILC > 30

L'ILC du réseau du SENA est de 10,1. L'indice est donc de type semi-rural.

Une fois l'ILC déterminé, il est utilisé dans l'appréciation de l'indice linéaire de perte.

### 2.3.3.3 L'indice linéaire de perte (ILP)

L'ILP permet de caractériser le volume de perte en eau en le rapportant à la longueur des canalisations.

$$ILP (m^3/j/km) = V_{Perte} / Longueur\ du\ réseau$$

L'indice est apprécié de la façon suivante :

Catégorie du réseau	Rural	Semi-rural	Urbain
Bon	<1.5	<3	<7
Acceptable	<2.5	<5	<10
Médiocre	<4	<8	<15
Mauvais	>4	>8	>15

Tableau n°15: Qualification de l'indice linéaire de perte du réseau  
(E.WEBER et D.GILBERT, Alimentation en eau potable – 2001-2008)[2]

L'indice linéaire du réseau est de 3,5. Le réseau étant de type semi-rural, l'ILP est donc acceptable.

### 3 Les outils de modélisation

#### 3.1 Historique

La modélisation débute en 1936 avec Cross qui crée « the hardy Cross Method » pour permettre de linéariser un système d'équations non linéaire pour pouvoir l'appliquer à une procédure en bouche (utilisé dans l'industrie).

Dans les années 1960, l'arrivée de l'ordinateur facilite la modélisation mais ce n'est que dans les années 1970 qu'a lieu l'essor de celle-ci [3][4][5].

Années	Personnes	Faits
1970	Epp et Fowler	Développe des algorithmes de résolution
1972	Wood et Charles	Développe des algorithmes de résolution
1980	Wood	Crée un programme d'analyse des systèmes de distribution d'eau appelé KYPIPE
1981	Wood et Rayes	Compare des algorithmes alternatifs pour résoudre les équations hydrauliques de base
1986	Ormsbee et Wood	Développe une méthode pour résoudre les équations avec des paramètres inconnus (diamètre, charge d'une pompe, hauteur d'un réservoir)
1986	Ormsbee	Développe une méthode de résolution des équations pour la rugosité des canalisations en utilisant des mesures statiques de débit et de pression
1987	Todini et Pilati	Développe une méthode d'analyse numérique des réseaux de distribution d'eau
1989	Ormsbee	Développe une méthode de résolution des équations pour la rugosité des canalisations en utilisant des mesures dynamiques de débit et de pression
1993	Rossman	Développe un logiciel de modélisation appelé EPANET

Tableau n°16: Historique de la modélisation

#### 3.2 Les outils

Afin de modéliser le réseau du Syndicat des Eaux du nord de l'Aisne, deux logiciels de modélisation ont été utilisés : Aquasoft et Epanet

##### 3.2.1 Aquasoft

Le logiciel de modélisation Aquasoft a été développé par le pôle Recherche et Développement de SAUR. Il a été créé sur les bases des équations du logiciel Epanet qui utilise la formule de Colebrook pour calculer les pertes de charge.

Aquasoft permet de créer des modèles informatiques des réseaux d'eau potable à l'aide de nœuds, de tronçons, de réservoirs et de vannes. Une fois le modèle créé et calé, il offre plusieurs modes :

- Un mode hydraulique
- Un mode qualité
- Un mode optimisation

- **Le mode hydraulique (simulations hydrauliques)**

Les simulations hydrauliques calculent l'évolution de la charge au niveau des nœuds et l'écoulement dans les tronçons, en fonction des niveaux des réservoirs, des pressions de consigne des stabilisateurs et des pompes, de la consommation et des différentes courbes de modulations qui ont été rentrées dans le modèle.

- **Le mode qualité**

Ce mode donne la possibilité de suivre l'évolution des éléments chimiques au cours de leur progression dans le réseau.

- **Le mode optimisation**

Le mode optimisation calcule le coût d'exploitation sur une journée. Il prend en compte les coûts de production et les coûts de fonctionnement.

Nous utilisons dans un premier temps Aquasoft car il possède une option qui permet de vérifier que les informations des canalisations sont correctement référencées (pas de données manquantes ou incohérentes) et de repérer les nœuds déconnectés.

### 3.2.2 Epanet

Epanet est un logiciel de simulation hydraulique et qualitatif de l'eau circulant dans les réseaux de distribution d'eau potable. Il a été développé à l'initiative du congrès des Etats-Unis qui a chargé l'Environmental Protection Agency (EPA) de développer un logiciel permettant de comprendre le fonctionnement des réseaux [6].

En 1993, une première version d'Epanet paraît. Plus tard une version française est financée par la compagnie générale des Eaux.

Comme pour le logiciel Aquasoft, Epanet permet de réaliser des simulations hydrauliques, de suivre l'évolution de la qualité de l'eau et d'avoir une estimation des coûts de fonctionnement.

### 3.3 Formule de calcul utilisée sous Epanet

#### 3.3.1 Loi des nœuds

La loi des nœuds découle de la conservation de la masse et peut être décrite de la façon suivante : la somme des débits entrant par un nœud est égale à la somme des débits qui en sort.

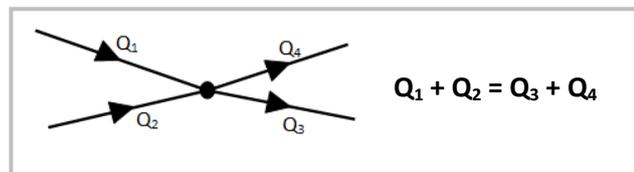


Figure n°7: Schéma de la loi des nœuds

#### 3.3.2 Loi des mailles

Dans le cas d'un réseau maillé, les écoulements s'équilibrent dans chacune des deux branches.

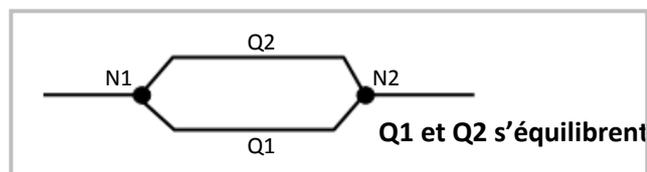


Figure n°8: Schéma de la loi des mailles

#### 3.3.3 Loi de conservation de l'énergie

La loi de conservation de l'énergie dit que la différence de charge entre deux nœuds est due aux pertes de charge.

Il existe deux types de perte de charges : les pertes de charges linéaires et les pertes de charges singulières.

##### 3.3.3.1 Pertes de charges linéaires

Les pertes de charges linéaires correspondent aux pertes de charges générées par les canalisations.

Le logiciel Epanet permet de choisir entre trois formules de calcul de pertes de charge linéaire :

- Hazen-Williams
- Darcy-Weisbach
- Chezy-Manning

Pour le réalisé du modèle du Syndicat des Eaux du Nord de l'Aisne, nous utilisons la formule de Darcy-Weisbach qui est la plus utilisée en Europe.

La formule de Hazen-Wanning est davantage utilisée aux Etats-Unis, quant à la formule de Chezy-Manning elle est plus adaptée pour les canaux à découvert de grand diamètre.

Formule	Perte de charge totale	Exposant du débit
Hazen-Williams	$10,674 C^{-1,852} d^{-4,871} L$	1,852
Darcy-Weisbach	$0,0827 f(\epsilon, d, q) d^{-5} L$	2
Chezy-Manning	$10,294 n^2 d^{-5,33} L$	2

Explication des symboles :  
 C = coefficient de rugosité de Hazen-Williams  
 ε = coefficient de rugosité de Darcy-Williams  
 f = facteur de friction (dépend de ε, d et q)  
 n = coefficient de rugosité de Manning  
 d = diamètre du tuyau (m)  
 L = longueur du tuyau (m)  
 Q = débit (m<sup>3</sup>/s)

Tableau n°17: Formule de calcul des pertes de charge sous Epanet  
(Manuel de l'Utilisateur – Epanet 2.0 – 01/09/2003) [7]

Au cours de la création du modèle, la rugosité des canalisations doit être renseignée. Le tableau suivant donne un aperçu des valeurs pouvant être utilisées en fonction du type de matériaux.

Matériau	Coeff. Hazen-Williams (universel)	ε de Darcy-Weisbach (mm)	n de Manning (universel)
Fonte revêtue	130 – 140	0,25	0,012 – 0,015
Béton ou revêtement de béton	120 – 140	0,3 – 3,0	0,012 – 0,017
Fer galvanisé	120	0,15	0,015 – 0,015
Plastic	140 – 150	0,0015	0,011 – 0,015
Acier	140 – 150	0,03	0,015 – 0,017
Céramique	110	0,3	0,013 – 0,015

Tableau n°18: Coefficient de perte de charge pour différents matériaux  
(Manuel de l'Utilisateur – Epanet 2.0 – 01/09/2003) [7]

### 3.3.3.2 Pertes de charge singulière

Elles sont provoquées par des turbulences au niveau des canalisations (tés, coudes) et des organes du réseau (vannes, clapets anti-retour).

Pour cela un coefficient de perte de charge singulière est attribué au tuyau :

$$h_L = K \times \frac{v^2}{2g}$$

K = Coefficient de perte de charge singulière, il est propre à chaque élément du réseau.

ACCESSOIRE	COEFFICIENT PERTE SINGULIERE
Vanne à boule, entièrement ouverte	10,0
Vanne à angle, entièrement ouverte	5,0
Clapet anti-retour, battant entièrement ouvert	2,5
Vanne, entièrement ouverte	0,2
Coude de petit rayon	0,9
Coude de rayon moyen	0,8
Coude de grand rayon	0,6
Coude de 45 degrés	0,4
Coude de 180 degrés	2,2
Té standard – flux droit	0,6
Té standard – flux dévié	1,8
Entrée brusque	0,5
Sortie brusque	1,0

Tableau n°19: Coefficient de perte singulière pour différents organes du réseau  
(Manuel de l'Utilisateur – Epanet 2.0 – 01/09/2003) [7]

## 4 La modélisation

### 4.1 La collecte des données

La collecte des données est une étape importante de la modélisation, elle consiste à rencontrer les exploitants, à visiter les installations et à rechercher les informations dans la base de données. La justesse de ces données permettra de caractériser la fiabilité et la précision du modèle.

#### 4.1.1 Origine des données

##### 4.1.1.1 Les exploitants

Les exploitants nous renseignent sur les caractéristiques du réseau :

- Fonctionnement du réseau et des installations (asservissement des pompes, pression de consigne des stabilisateurs de pressions...)
- Les zones où les fuites sont importantes
- La présence de gros consommateurs

##### 4.1.1.2 La visite de terrain

La visite de terrain consiste à se rendre sur place pour visiter les installations et découvrir le réseau. C'est à ce moment que l'on répertorie les équipements et leurs caractéristiques. On acquiert par la même occasion une meilleure compréhension du réseau et de son fonctionnement.

##### 4.1.1.3 La base de données

Les informations nécessaires à la réalisation du modèle sont disponibles dans une base de données qui regroupe des logiciels et des documents :

- **eGEREMI**

Logiciel informatique qui collecte en continu les informations fournies par les télétransmissions, on peut aussi y trouver un historique des mesures (volumes, débits, pressions).

- **Net&Gis**

Logiciel SIG regroupant les plans informatiques des réseaux.

- **Carto Explorer**

Logiciel de cartographie.

- **MIRE**

Base de données développée par SAUR qui regroupe les informations techniques des équipements du réseau.

- **Rapport Annuel du Délégué (RAD)**

Document réglementaire que le délégué d'un service d'eau doit remettre à la collectivité chaque année. Il présente :

- Les installations de production, de traitement et de distribution
- Le parc de compteurs et le détail des branchements
- Les travaux réalisés
- Un bilan de l'activité (volume d'eau consommé, suivi des nappes, énergie électrique utilisée)

- **Les archives du syndicat**

On y retrouve l'ensemble des plans installations (stations, réservoirs, bâches).

#### 4.1.2 Les données recherchées

Afin de pouvoir réaliser le modèle, les données suivantes doivent au préalable être recherchées :

Données	Caractéristiques
Canalisation	Matériau, diamètre, longueur
Ouvrage de stockage	Volume, côte du radier, côte du trop plein
Stabilisateur de pression, régulateur	Diamètre, type, consigne de régulation
Vanne	Localisation des vannes fermées sur le réseau
Clapets anti-retour	Localisation sur le réseau, sens du clapet
Pompe	Débit, HMT

Tableau n°20: Les données nécessaires à la création d'un modèle

Une fois l'ensemble des données nécessaires à la modélisation collectées, la création du modèle peut commencer.

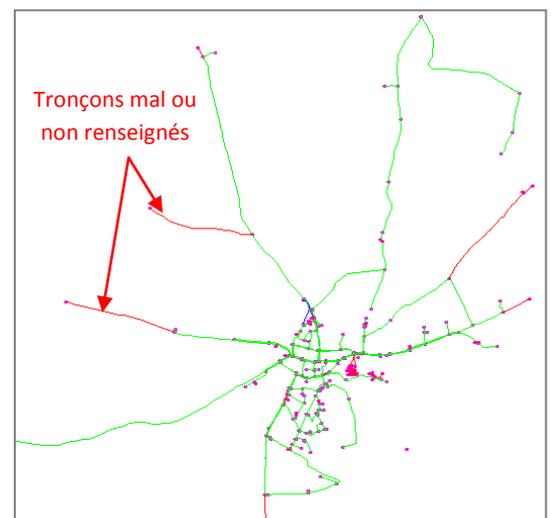
## 4.2 La création du modèle

### 4.2.1 Utilisation du logiciel Aquasoft

#### 4.2.1.1 Importation et vérification du réseau

On commence par importer le schéma du réseau dans le logiciel Aquasoft à partir de la version cartographiée sur le logiciel Net&Gis SAUR, au cours de l'importation un certain nombre d'éléments qui ne font pas partie du réseau sont transférés, il faut donc les supprimer.

Figure n°9: Image Aquasoft de tronçons mal ou non renseignés



De plus certaines données caractéristiques ne sont pas toujours transférées (soit à cause d'erreur lors du transfert, soit parce qu'elles ne sont pas renseignées dans Net&Gis). Il faut vérifier que les informations des canalisations soient

correctement renseignées. Pour faciliter le travail, le logiciel permet de faire ressortir en couleur les canalisations ou les informations qui sont incorrectes ou incomplètes (tronçons en rouge)[8]. Une fois les données manquantes identifiées, il faut aller rechercher manuellement les données dans le logiciel Net&Gis ou se renseigner auprès des exploitants. Il arrive parfois que sur les réseaux même les exploitants ignorent les caractéristiques de certaines canalisations, ce manque d'information laisse une part d'incertitude au modèle.

Une fois les données manquantes complétées, deux étapes sont à réaliser :

- Pour les canalisations en PVC, en PE et en PEHD, le diamètre importé est celui donné par le constructeur (diamètre extérieur de la canalisation), il faut donc le remplacer par le diamètre intérieur à l'aide de tables d'équivalence.
- Pour l'ensemble des canalisations, il faut renseigner la rugosité en fonction de la nature des matériaux.

#### 4.2.1.2 La fusion des réseaux

L'étape de fusion des réseaux peut être réalisée une fois que les différents réseaux ont été nettoyés, vérifiés et complétés. La fusion permet de créer un seul réseau à partir de plusieurs, la fusion consiste à relier deux nœuds entre eux pour créer une continuité entre les canalisations (tronçons).

En général, lors de l'exportation du logiciel de cartographie, un réseau est créé pour chaque commune. Dans le cas du modèle du Syndicat des Eaux du Nord de l'Aisne, il y a 31 réseaux à fusionner.

Afin d'éviter d'oublier de relier deux nœuds, le logiciel Aquasoft est équipé d'une option permettant de faire ressortir en couleur les nœuds des bouts d'antennes. Si un nœud de bout d'antenne apparaît au milieu d'une canalisation, il y a de forte chance que celui-ci corresponde à un nœud de jonction non relié.

#### 4.2.1.3 Lien Aquasoft-Epanet

Après avoir créé l'ensemble du squelette du réseau, il faut rajouter les différents organes du réseau, les règles d'asservissement et procéder au calage du modèle.

Le logiciel Aquasoft ayant des difficultés à gérer les gros modèles, la suite de la modélisation sera effectuée avec le logiciel Epanet. Pour cela le modèle est transféré sous Epanet.

### 4.2.2 La mise à l'échelle macro sous Epanet

La mise à l'échelle macro consiste à représenter les communes par des nœuds de consommation et à supprimer les bouts d'antennes.

Pour la modélisation du SENA, le modèle est plus précis pour les communes de Boué, du Nouvion en Thiérache et de la Capelle.

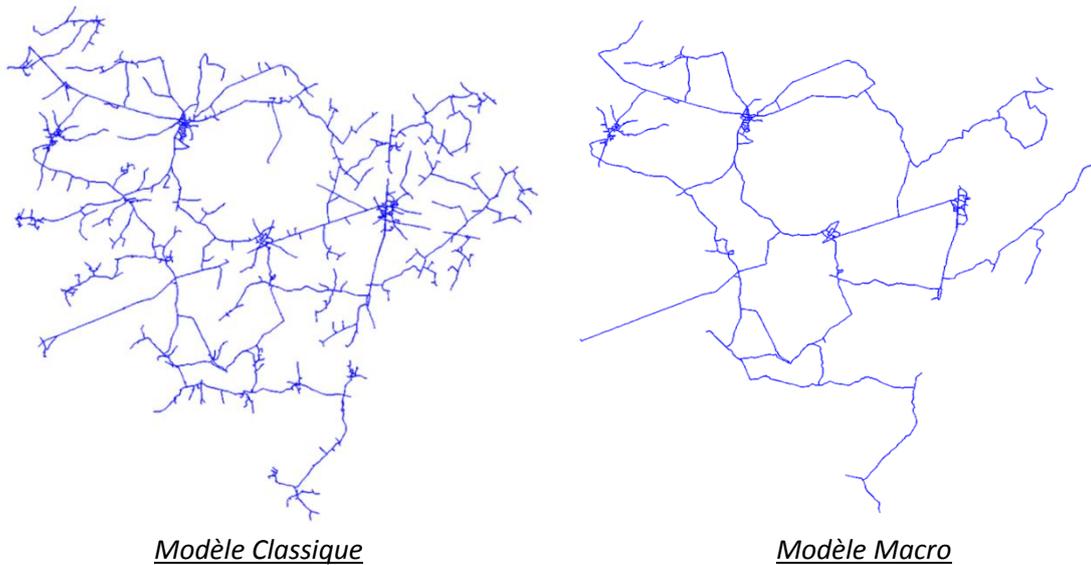


Figure n°10: Schéma de mise à l'échelle macro du réseau

#### 4.2.2.1 La création des ouvrages et des équipements du réseau

- **Les nœuds**

Les nœuds de demande sont des points du réseau où se rejoignent plusieurs arcs.

Les nœuds peuvent représenter un ou plusieurs abonnés, ils sont caractérisés par :

- Des coordonnées : X et Y
- Une altitude (en m)
- Une demande de base ( $m^3/h$ )
- Une courbe de modulation<sup>1</sup>
- Une catégorie de demande (permet de définir plusieurs demandes de base)

Lors d'une simulation hydraulique, nous pouvons observer la charge hydraulique (pression) à chacun de ces points.

- **Les bâches**

Les bâches correspondent à un réservoir illimité, elles servent à représenter la source d'eau dans un modèle. Elles sont caractérisées par :

- Des coordonnées : X et Y
- Une charge (en mCE) qui correspond au niveau de la surface de l'eau
- Une courbe de modulation de charge (cas où le point d'entrée de l'eau dans le modèle est un réservoir de tête)

---

<sup>1</sup> Explication de la création d'une courbe de modulation page 28

• **Les réservoirs**

Les réservoirs sont des nœuds qui possèdent une capacité de stockage de l'eau, les données suivantes sont à renseigner :

- Les coordonnées : X et Y
- L'altitude (en m)
- Le niveau initial (en m)
- Le niveau minimal et maximal (en m)
- Le diamètre (en m)
- Le volume minimal (en m<sup>3</sup>)
- Une courbe de volume (dans le cas où le réservoir est conique, voir figure n°11)

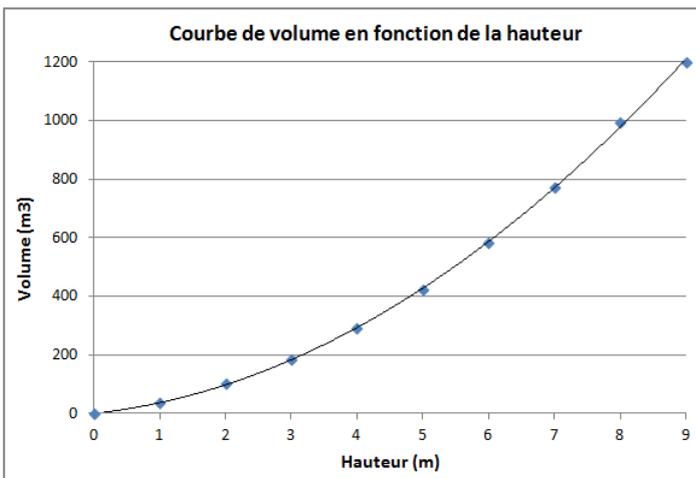


Figure n°11: Courbe modulation d'un réservoir conique de 1200 m<sup>3</sup> (réservoir de Foucommé)

• **Les tuyaux**

Les tuyaux sont des arcs qui permettent le transfert de l'eau entre les nœuds, les réservoirs et les bâches. Ils sont caractérisés par :

- Un diamètre intérieur (en mm)
- Une longueur (en m)
- Un coefficient de rugosité (en mm)
- Un état initial (ouvert, fermé, clapet anti-retour)

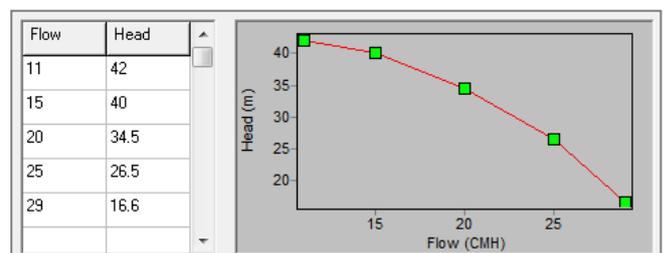
Un état fermé permet de représenter une vanne fermée sur un réseau.

• **Les pompes**

Elles permettent de représenter les différents pompages présents sur le réseau. Elles sont caractérisées par :

- Une courbe de pompe (exemple de courbe : voir figure n°12)
- Une vitesse de fonctionnement

Figure n°12: Courbe de pompe de la suppression de Froidestrées



- **Les vannes**

Elles sont utilisées pour représenter les vannes, les stabilisateurs de pression, les réducteurs de pression, les limiteurs de débit et les diaphragmes. Il faut renseigner :

- Le diamètre (en mm)
- Le type de vanne
- La consigne de régulation
- Le coefficient de perte de charge singulière
- Etat (ouvert, fermé, en régulation)

Le logiciel permet de choisir entre différents types de vannes :

- Vanne stabilisatrice aval ou amont
- Vanne brise-charge ou réducteur de pression
- Vanne régulatrice de débit ou limiteur de débit
- Vanne diaphragme
- Vanne d'usage générale

### 4.3 Renseignement des consommations

#### 4.3.1 Les consommations

Afin de modéliser la demande en eau de notre réseau, nous attribuons à chaque nœud une consommation moyenne horaire. Cette donnée est extraite des volumes facturés en 2013. Les gros consommateurs sont traités séparément et une consommation spécifique est attribuée aux nœuds du réseau où ils se situent.

Pour les grosses communes où le modèle doit être plus précis, les consommations sont attribuées en fonction de zone de consommation et du type d'habitation (bourg du village, zones pavillonnaires, lotissements, immeubles...). Ci-dessous un exemple à titre indicatif de la répartition des consommations en fonction des zones.

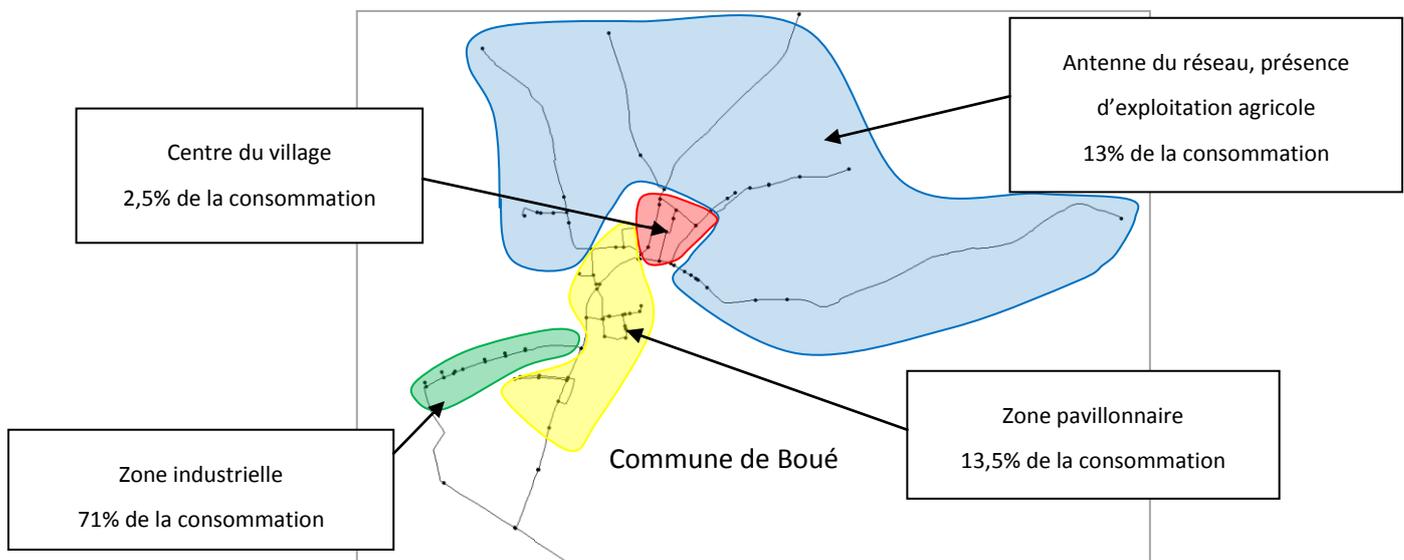


Figure n°13: Exemple de Boué pour l'attribution des consommations

### 4.3.2 Les courbes de modulation

La consommation en eau potable varie de façon significative au cours d'une journée. On applique donc à tous les nœuds une courbe modulation des besoins horaires suivant la commune (présentation de courbe de modulation en [Annexe 2](#)).

Les courbes de modulation sont obtenues à partir des courbes des débitmètres de sectorisation. Pour cela, on réalise une moyenne des débits transitant sur une durée de 5 jours (du lundi au vendredi).

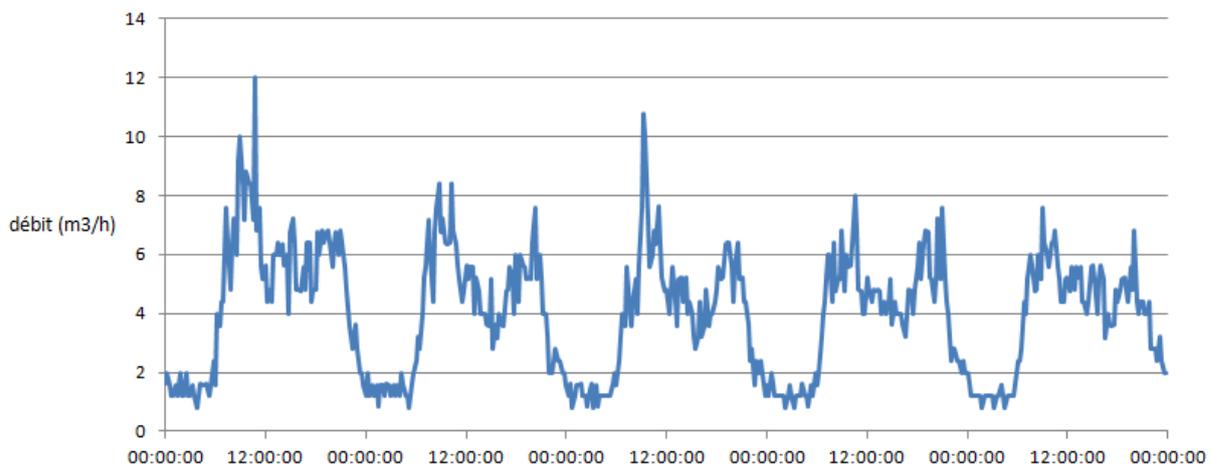


Figure n°14: Courbe du débit sur 5 jours du compteur de sectorisation de Bergues-sur-Sambre et Fesmy-le-Sart

Dans le cas où des industries ou des ventes d'eau seraient présentes sur le réseau, il faut les soustraire à la courbe de débit avant de les exploiter. Les courbes de débit sont fusionnées de façon à obtenir une courbe moyenne des débits.

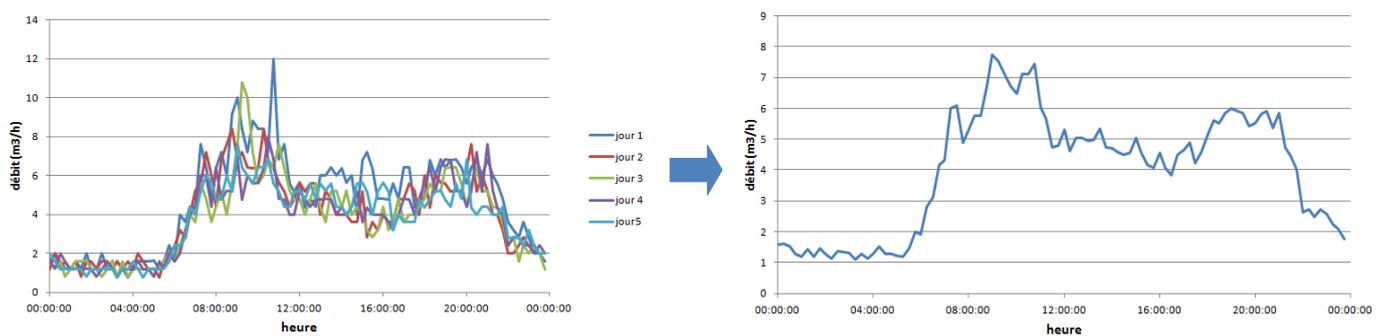


Figure n°15: Courbe de débit journalier de Bergues-Sur-Sambre et Fesmy-le-Sart

Une fois la courbe de débit journalier d'une commune créée, on la rapporte à un pas de temps de 1h et à un ratio de 1 afin de pouvoir l'utiliser par la suite pour la modélisation.

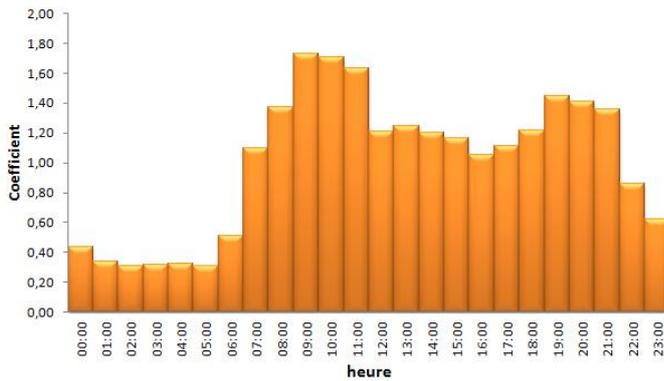


Figure n°16: Courbe de modulation des besoins horaires de Bergues-Sur-Sambre et Fesmy-le-Sart

Pour les gros consommateurs (Nestlé, Materne, West Pharmaceutical, Les Fromagers, Porcinord) et les ventes d'eau (SIDEN, Etreaupont), la même méthode est employée, les exemples de courbes créées sont visibles en [Annexes 3 et 4](#).

### 4.3.3 Les coefficients de pointe

On distingue le coefficient de pointe journalière et le coefficient horaire de pointe.

- Le coefficient de pointe journalière

Il traduit l'ampleur des variations quotidiennes de la consommation et sert au dimensionnement des ouvrages de production et de transport. Il est généralement compris entre 1,2 et 1,8 [2].

$$K1 = \text{besoin du jour de pointe} / \text{besoin du jour moyen}$$

- Le coefficient de pointe horaire

Il représente la demande instantanée la plus forte sur le réseau de distribution et sert à dimensionner les ouvrages de distribution. Il varie généralement entre 1,2 et 2,5 [2].

$$K2 = \text{besoin de l'heure de pointe} / \text{besoin de l'heure moyenne}$$

Ces coefficients sont calculés grâce aux historiques de valeurs extraites de GEREMI.

## 5 Le calage du modèle

### 5.1 La campagne de mesure

Le calage débute par une campagne de mesure sur le terrain qui permet de connaître les pressions en différents points du réseau à l'aide des appareils de mesure (logger ou metrolog).



Figure n°17: Photo des metrolog/logger

Les appareils sont installés sur des robinets chez des particuliers, dans des mairies ou des écoles. Au moment de l'installation des appareils, il faut s'assurer que l'abonné ne possède pas de réducteur de pression, dans ce cas les valeurs obtenues ne peuvent pas servir au calage du modèle. Il faut penser à relever l'adresse de pose du logger et le lieu où il est installé (garage, cave...), ces données serviront à repérer avec précision l'emplacement du logger dans le modèle (coordonnées et altitude).

### 5.1.1 Mesures des pressions

Les données de pression sont obtenues par la mise en place d'appareils de mesure de pression (loggers) sur le terrain. Les mesures ont lieu du 17 octobre au 6 novembre 2013.

Les mesures de pressions ont été prises en 20 points du réseau :

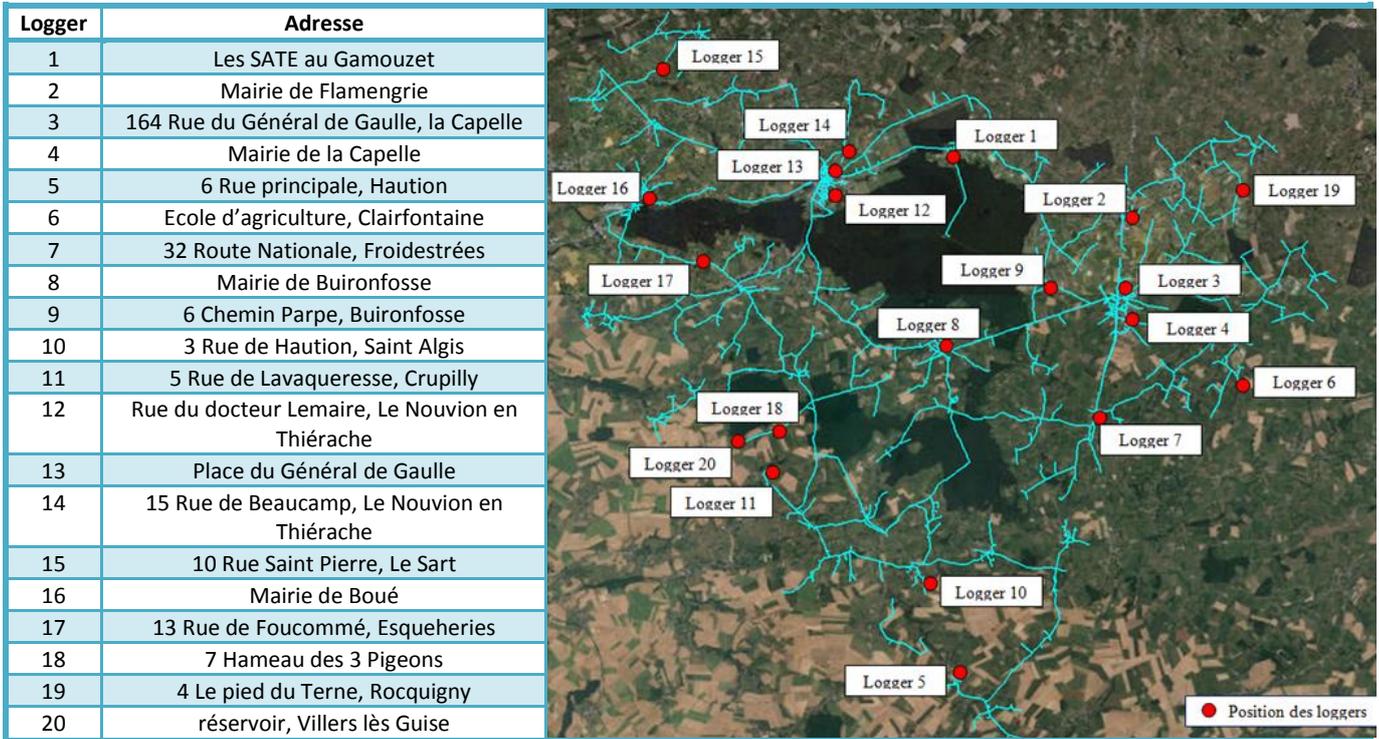


Figure n°18: Emplacement des loggers

### 5.1.2 Récupération des données : débits et marnage des réservoirs

Les appareils de comptage présents en permanence sur le terrain et télétransmis permettent de récupérer les données de marnage des réservoirs et les débits.

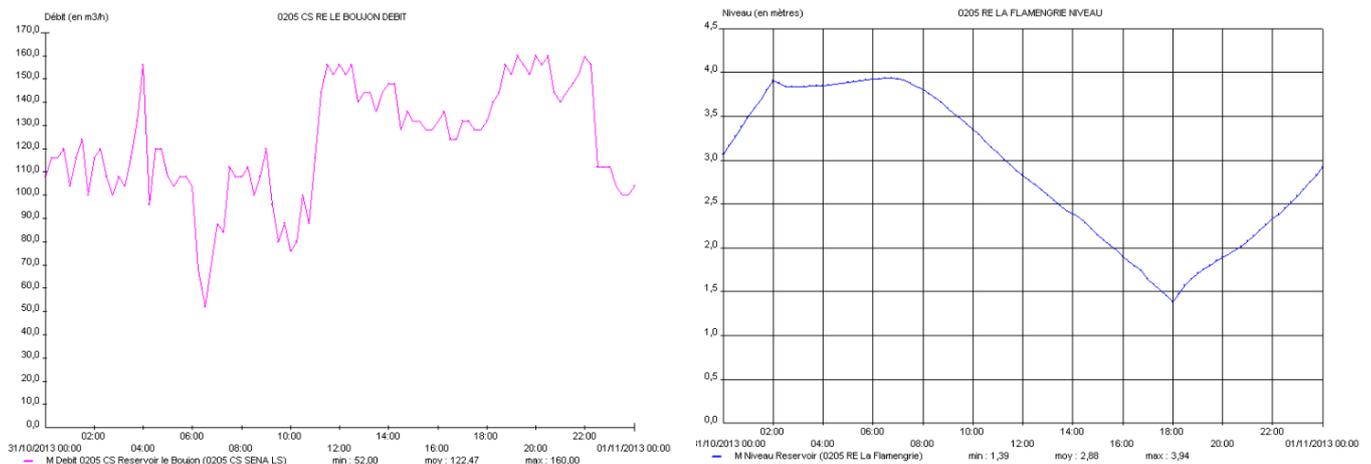


Figure n°19: Courbe de marnage et de débit extraite de GEREMI

## 5.2 La corrélation du modèle et de la réalité

### 5.2.1 La corrélation des pressions

Les valeurs mesurées nous permettent de caler le modèle informatique afin qu'il soit fidèle à la réalité. Il s'agit d'obtenir un écart minimal (de l'ordre de 3 mCE) entre les valeurs mesurées et celles résultant de la modélisation. Le jour de référence choisi pour le calage est le 31 octobre 2013.

Ci-dessous figure à titre d'exemple le graphique corrélant les pressions modélisées et mesurées pour le nœud correspondant à l'emplacement du logger 19 (*figure n°20 : calage de la pression du logger Rocquigny*).

D'autres courbes de calage des points de pressions figurent en *annexe 5*.

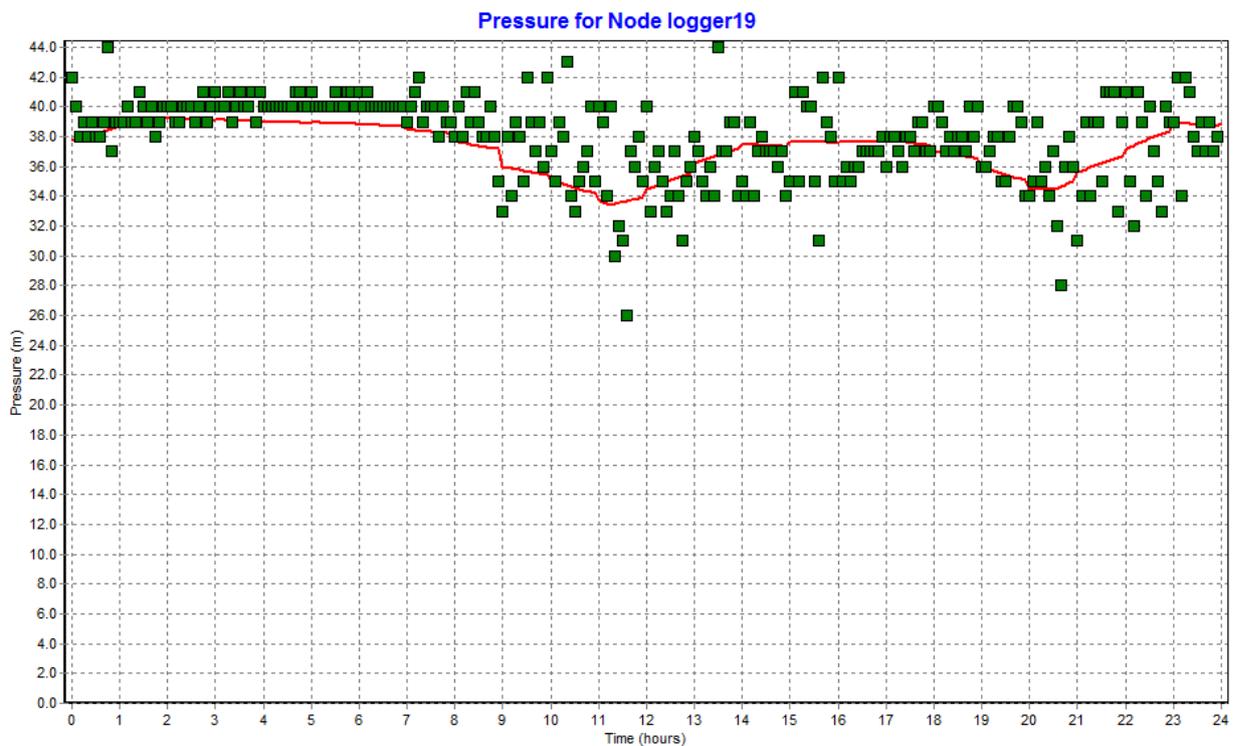


Figure n°20: Courbe de calage de pression du logger Rocquigny

Notons que les instruments de mesure donnent des résultats au mètre près tandis que la modélisation va jusqu'au dixième de mètre ce qui explique les variations plus fines de la pression modélisée.

Malgré les différences relevant des aléas de la consommation et de la production de l'eau, nous considérons que le modèle est calé. Il est désormais exploitable.

## 5.2.2 La corrélation des débits

La corrélation des débits permet de vérifier que les volumes transitant dans le modèle correspondent bien à ceux du réseau et que les courbes de modulation de la consommation ont été correctement créées. L'objectif est d'avoir de 5% ou moins sur le calage, une erreur maximale de 10% sera tolérée.

Ci-dessous figure à titre d'exemple le graphique de corrélation du débit modélisé et mesuré par le compteur de sectorisation de la Haie Payenne (*Voir figure n°21*) (Carte de la sectorisation en [annexe 8](#)). D'autres courbes de corrélation des débits figurent en [annexe 6](#).

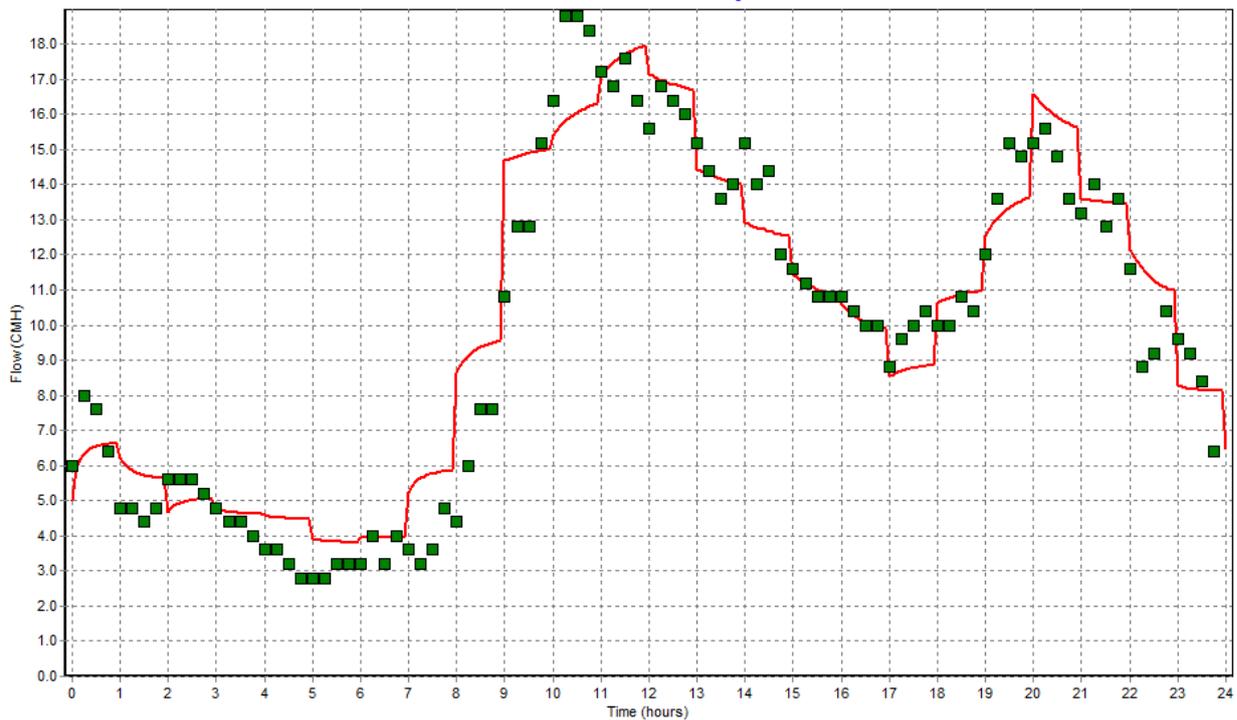


Figure n°21: Courbe de corrélation des débits du compteur de sectorisation de la Haie Payenne

## 5.2.3 Vérification du marnage des réservoirs et des bâches

La vérification du marnage des réservoirs et des bâches consiste à vérifier que le marnage des ouvrages dans le modèle est cohérent avec la réalité.

Ci-dessous à titre d'exemple, le graphique de corrélation du marnage pour le réservoir de Leschelle (*voir figure n°22*).

D'autres corrélations sont disponibles en [annexe 7](#).

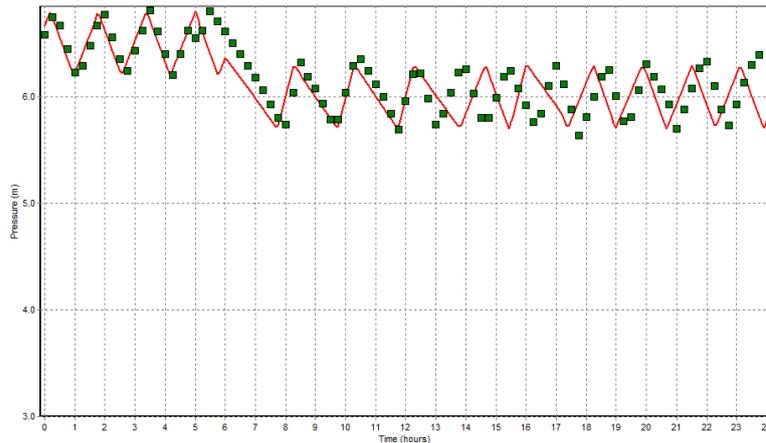


Figure n°22: Courbe de corrélation du marnage du réservoir de Leschelle

### 5.3 Analyse de la précision du modèle

#### 5.3.1 Points positifs

Comme on peut le voir sur les courbes de calage en annexes 5 à 7 et dans la partie 5.2 le modèle est correctement calé et les marges d'erreur tolérées sont bien respectées voir plus faible.

Cette précision de calage a été permise grâce à des données (canalisations, ouvrages) fiables et des points de calages nombreux et divers (pressions, marnage des réservoirs, courbe de compteur de sectorisation).

Cette précision de calage va permettre de réaliser des études où le risque d'erreur sera minimisé.

Cependant certains points du réseau ont été plus difficiles à caler.

#### 5.3.2 Points négatifs

Malgré la précision des données et des mesures, une zone du réseau du syndicat a été plus difficile à caler et présente donc un risque d'erreur plus élevé.

- **La surpression d'Esqueheries**

La surpression d'Esqueheries qui est asservie à l'amont a été difficile à modéliser, cette difficulté vient des logiciels de modélisation qui ne sont pas prévus pour modéliser avec précision des pompes à vitesse variable.

Pour représenter la pompe à vitesse variable sous Epanet, il a fallu représenter plusieurs pompes identiques en parallèle mais fonctionnant à des vitesses différentes. Chaque vitesse est asservie à une plage de pression, la correspondance entre les pressions et les vitesses de fonctionnement doivent être représentatives de la réalité.

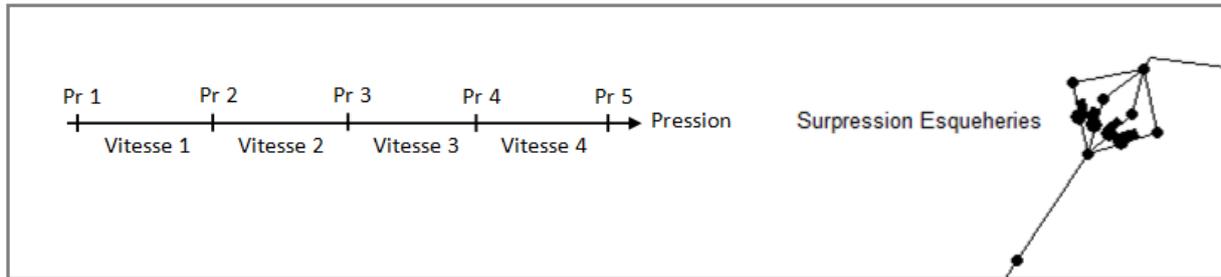


Figure n°23: Schéma de fonctionnement de la surpression d'Esqueheries sous Epanet

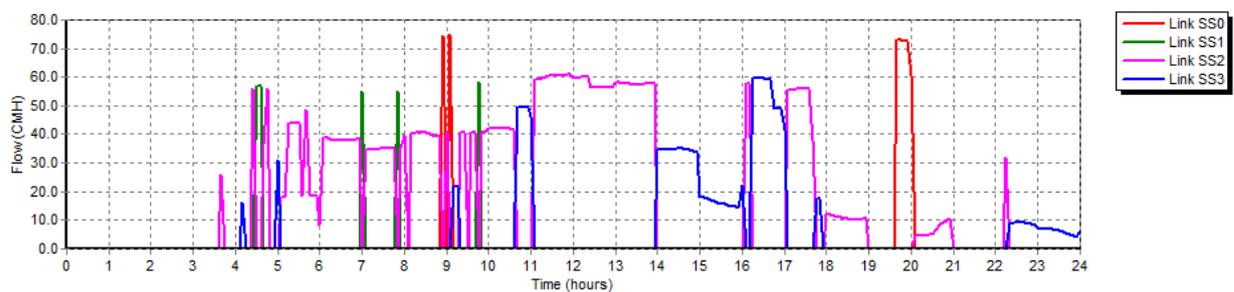


Figure n°24: Courbe de fonctionnement des débits de la surpression d'Esqueheries

Différents fonctionnements (relation pression-vitesse) ont été testés afin de trouver le plus représentatif de la réalité mais malgré cela des erreurs subsistent.

Une des erreurs de fonctionnement que l'on peut observer à lieu pendant le fonctionnement de nuit (de 0h à 4h), nous avons décidé que cette erreur est tolérable car dans la réalité la station arrête de fonctionner la nuit environ un jour sur deux (voir figure n°25).

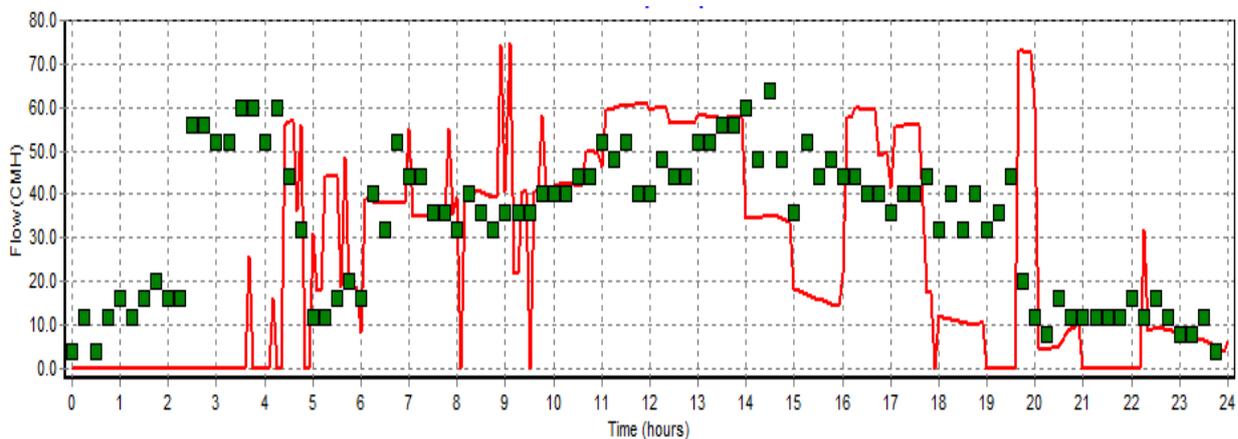


Figure n°25: Courbe de calage des débits de la surpression d'Esqueheries

Sur le graphique ci-dessous (figures n°26 et n°27) sont visibles les courbes de pression à l'amont et l'aval de la surpression.

On observe que les variations de pression à l'aval de la surpression sont moins importantes que pour les valeurs de terrain.

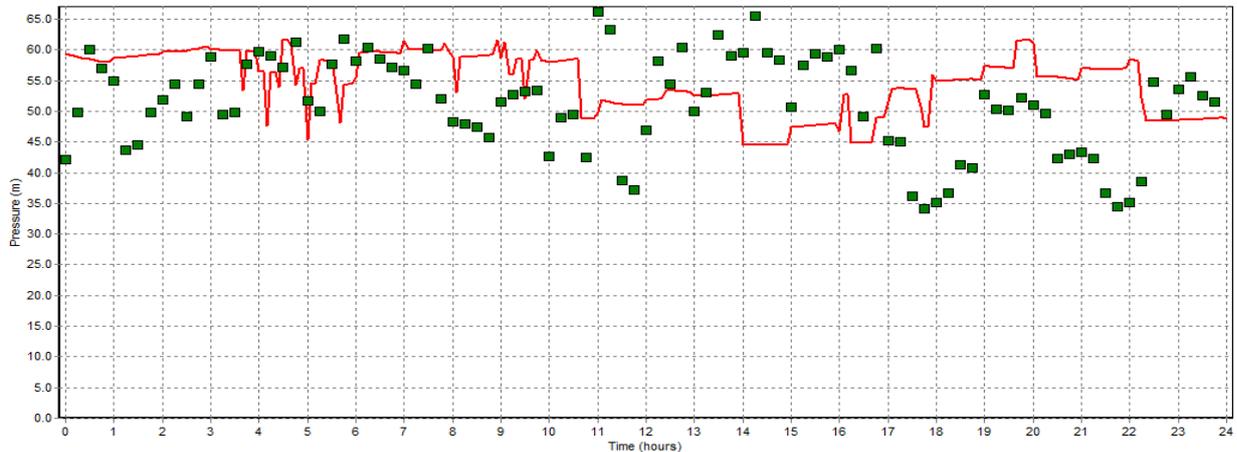


Figure n°26: Courbe de calage de la pression à l'aval de la surpression d'Esqueheries

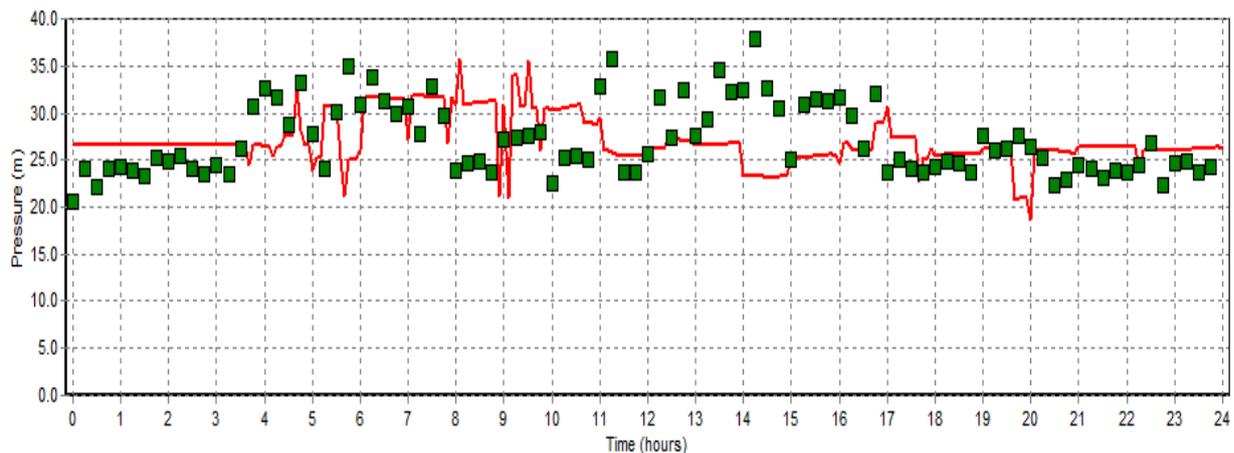


Figure n°27: Courbe de calage de la pression à l'amont de la surpression d'Esqueheries

- **Les vannes**

Le second risque d'erreur réside dans le positionnement des vannes fermées dans les communes de La Capelle et du Nouvion-en-Thiérache. Certaines vannes fermées ne se sont pas toujours référencées sur les plans, l'absence ou la présence d'une vanne fermée modifie le sens d'écoulement de l'eau au sein de la commune.

Cependant cette erreur n'impacte pas le modèle macro qui vise à étudier les artères principales de distribution mais peut être gênante dans le cadre d'étude réalisée sur le réseau des deux communes mentionnées ci-dessus.

## 6 Etudes

### 6.1 Diagnostic du réseau

Il s'agit de faire un diagnostic de l'état actuel du réseau, localiser les éventuelles zones à problème et envisager des solutions palliatives.

Les indicateurs ci-dessous ont été considérés pour l'analyse du modèle (*Tableau n°21*).

<b>Pression</b>	Pression opérationnelle et acceptable comprise entre 20 et 60 mCE
<b>Vitesse</b>	Vitesse opérationnelle et acceptable comprise : <ul style="list-style-type: none"> <li>• Entre 0,05 et 1 m/s pour un réseau de distribution</li> <li>• Entre 1 et 2 m/s pour un refoulement</li> </ul>
<b>Temps de séjour</b>	Temps de séjour inférieur à 72h

Tableau n°21: Indicateurs utilisés pour l'analyse du modèle

#### 6.1.1 Le diagnostic des pressions

Idéalement la pression dans un réseau d'AEP est comprise entre 20 et 60 mCE. Ci-dessous figure la répartition des pressions minimales et maximales sur le réseau.

##### 6.1.1.1 Les faibles pressions

- **Localisations**

Localisation des faibles pressions (*figure n°28*):

- Commune de Clairfontaine
- Commune de la Haie Payenne

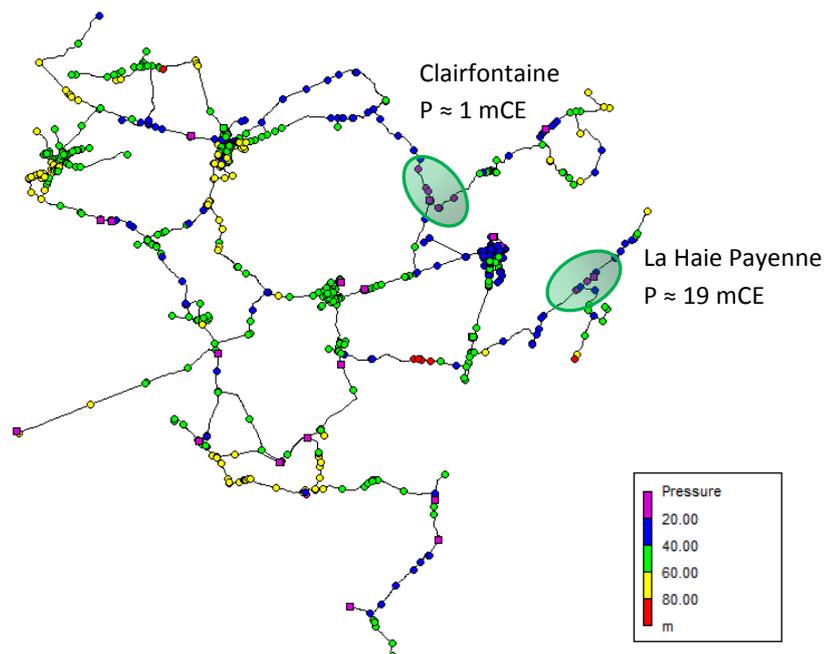


Figure n°28: Répartition des pressions minimales sur le réseau

- **Origine des faibles pressions**

Les faibles pressions sont dues aux faibles différences d'altitude entre les réservoirs d'alimentation et les points de distribution.

Dans le cas de Clairfontaine, des pertes de charges importantes au moment du remplissage de la bêche expliquent également les faibles pressions.

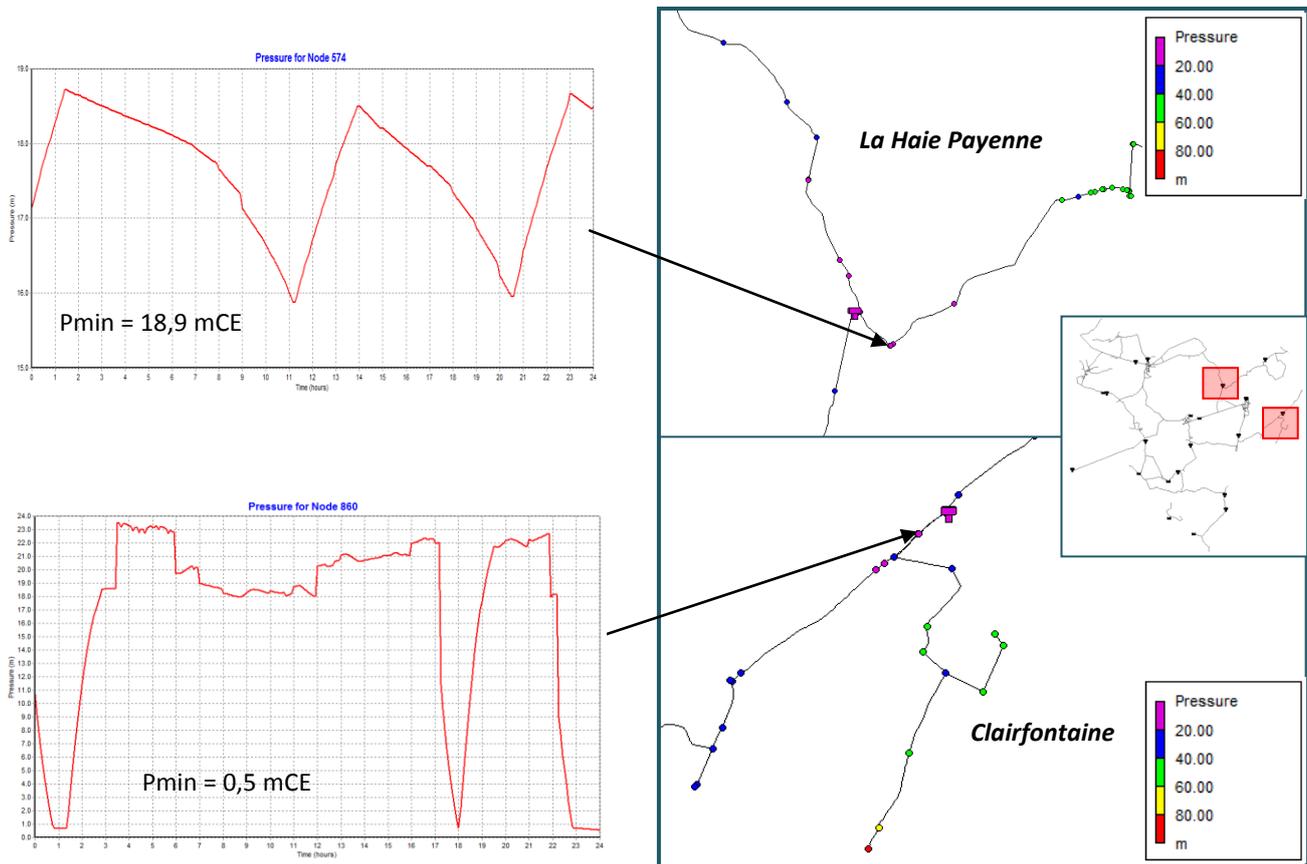


Figure n°29: Répartition des pressions minimales sur les communes de La Haie Payenne et de Clairfontaine

### 6.1.1.2 Les fortes pressions

Localisations des fortes pressions :

- Boué, commune de Fesmy, Bergues sur Sambre, Barzy en Thiérache, Le Nouvion en Thiérache, Lerzy, Buironfosse, Englancourt, Erloy, Saint Algis, Marly Gomont

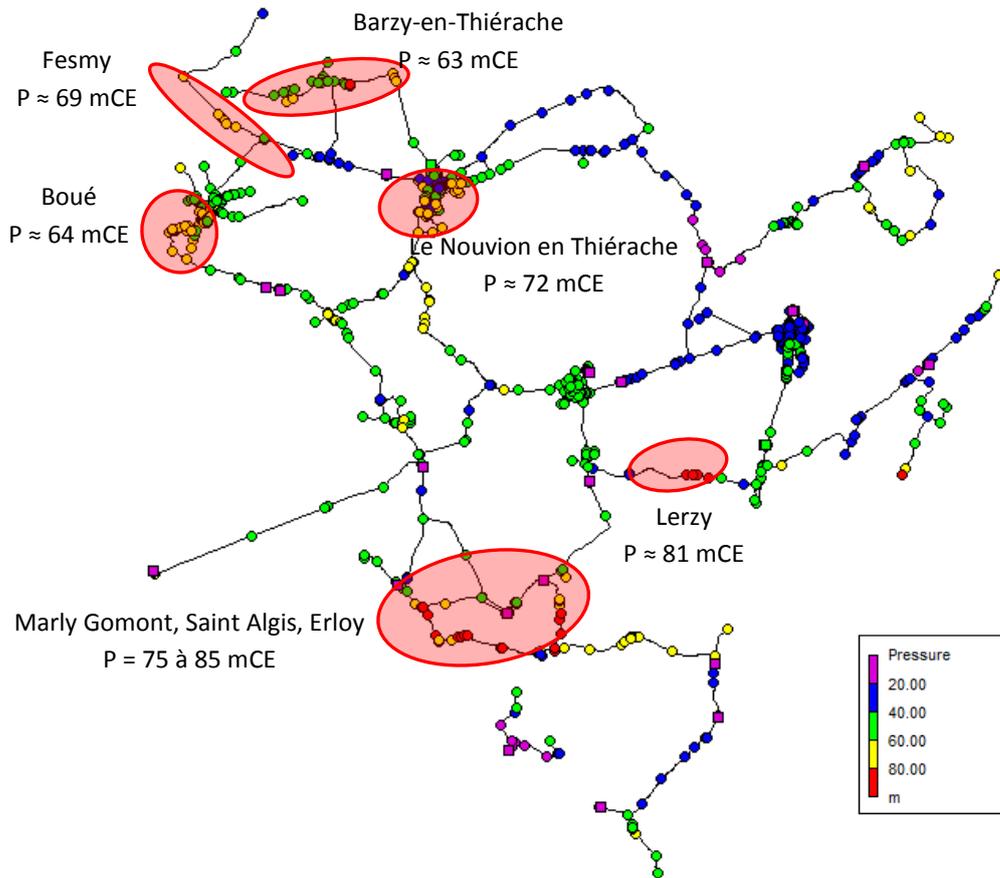
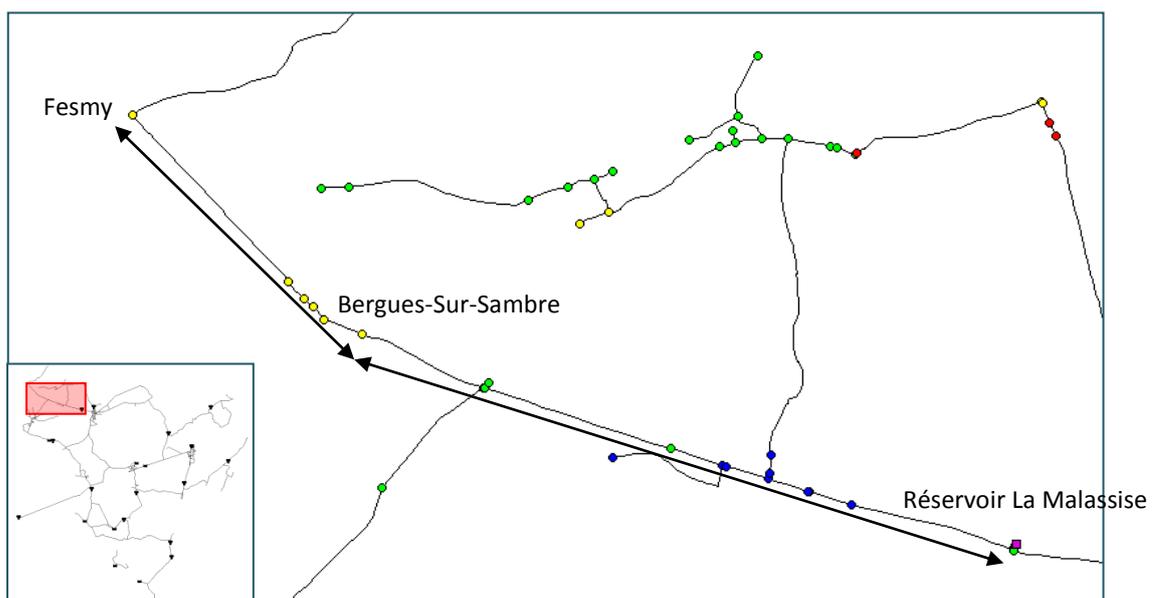


Figure n°30: Répartition des pressions maximales sur le réseau

- **Commune de Fesmy, Bergues sur Sambre et Barzy en Thiérache** : les fortes pressions résultent de la différence d'altitude entre le réservoir de la Malassise et les communes



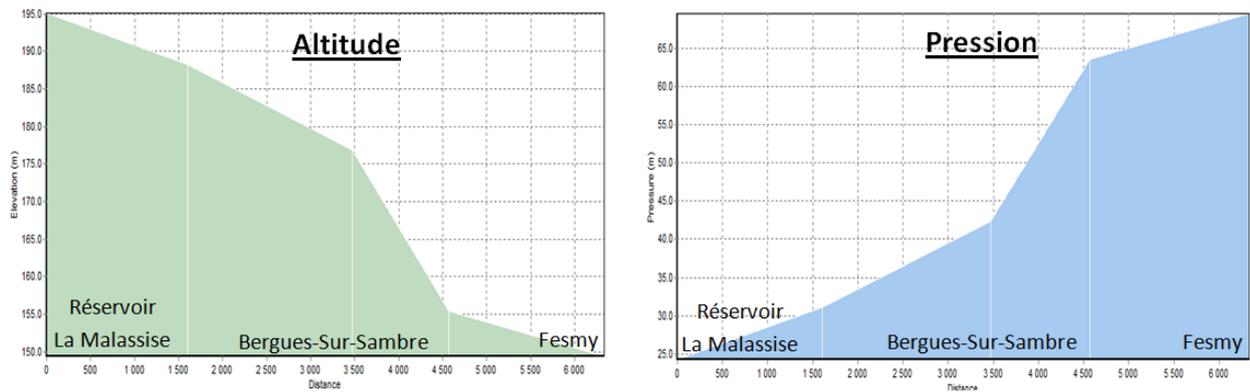


Figure n°31: Répartition des pressions maximales sur les communes de Fesmy, Bergues sur Sambre et Barzy en Thiérache

- **Commune d'Englancourt, d'Erloy, de Saint Algis et de Marly les Gomont** : les fortes pressions sont dues à la bache d'Erloy. La baisse de pression entre 0h-6h et 20h-22h est due au remplissage de la bache de Solmont qui provoque des pertes de charge sur le réseau.

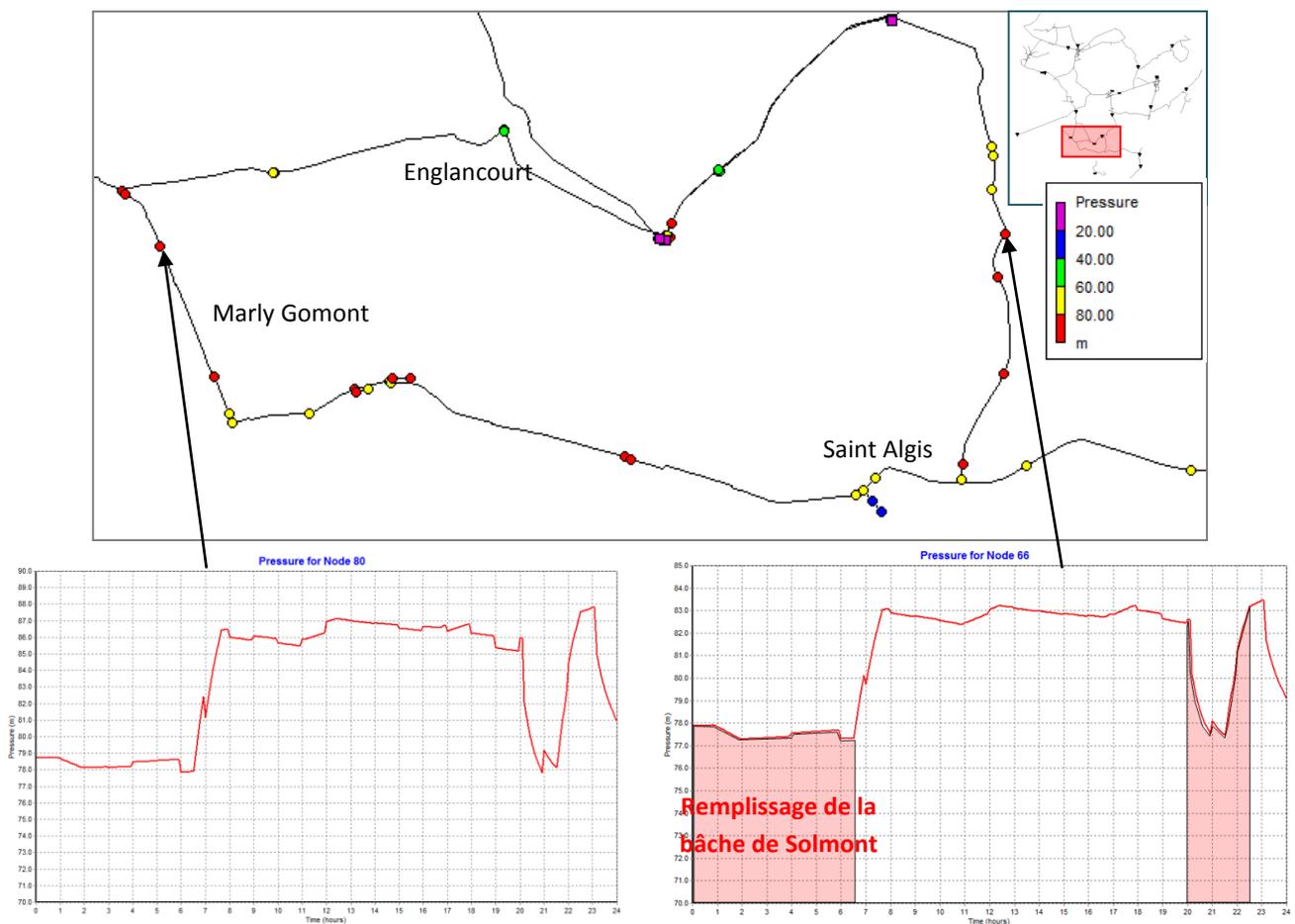


Figure n°32: Répartition des pressions maximales sur les communes de Marly les Gomont et Saint Algis

- Commune de Boué** : les fortes pressions sont imposées par la charge du réservoir de Foucommé.  
**Commune du Nouvion en Thiérache** : les fortes pressions sont provoquées par la surpression d'Esqueheries. Au cours de la journée la baisse de pression est provoquée par une augmentation des pertes de charge, cette augmentation est la conséquence de la consommation des Fromagers et d'une incapacité de la surpression d'Esqueheries à maintenir une pression constante dans le réseau (la surpression n'étant pas prévue pour cela).

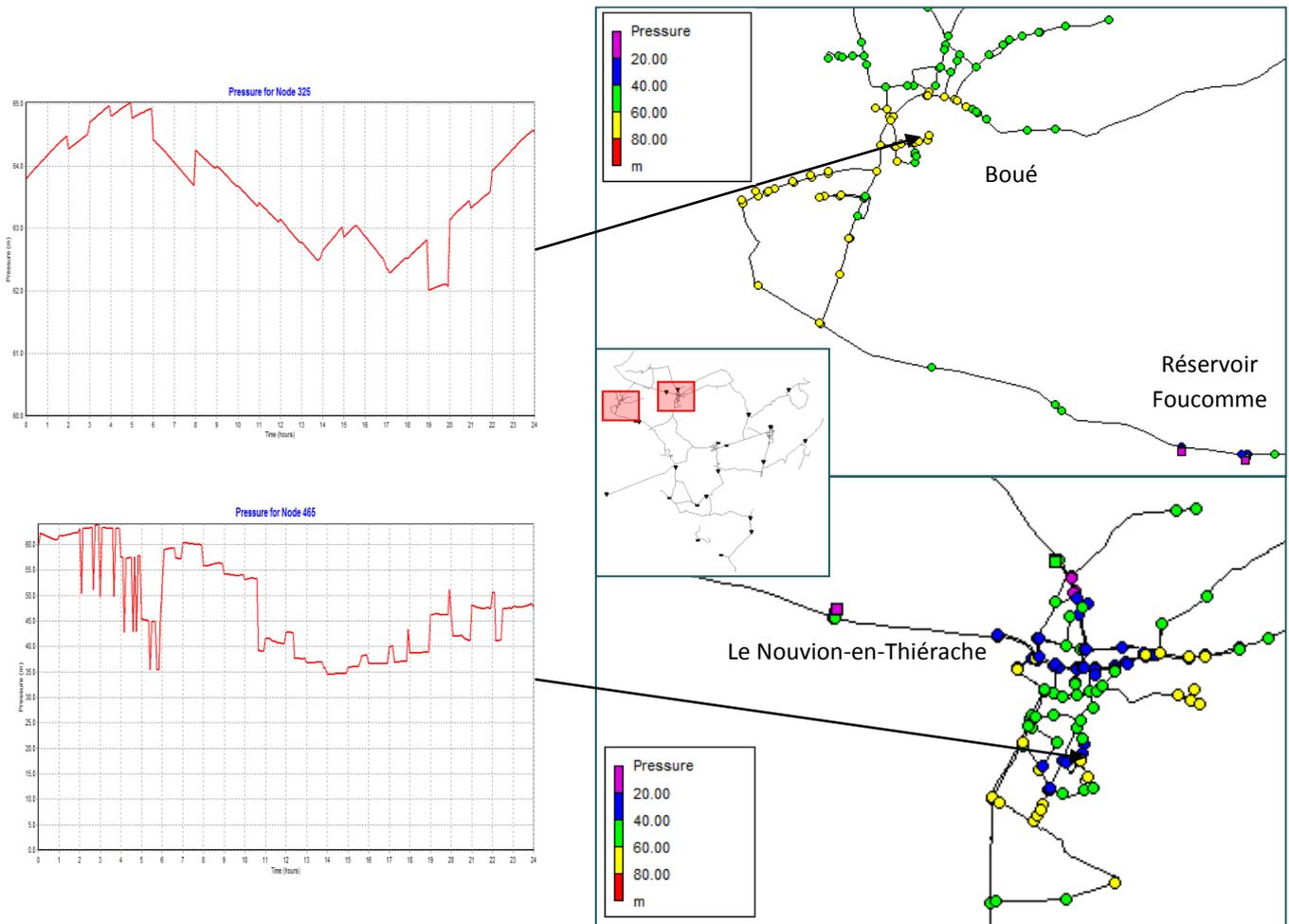
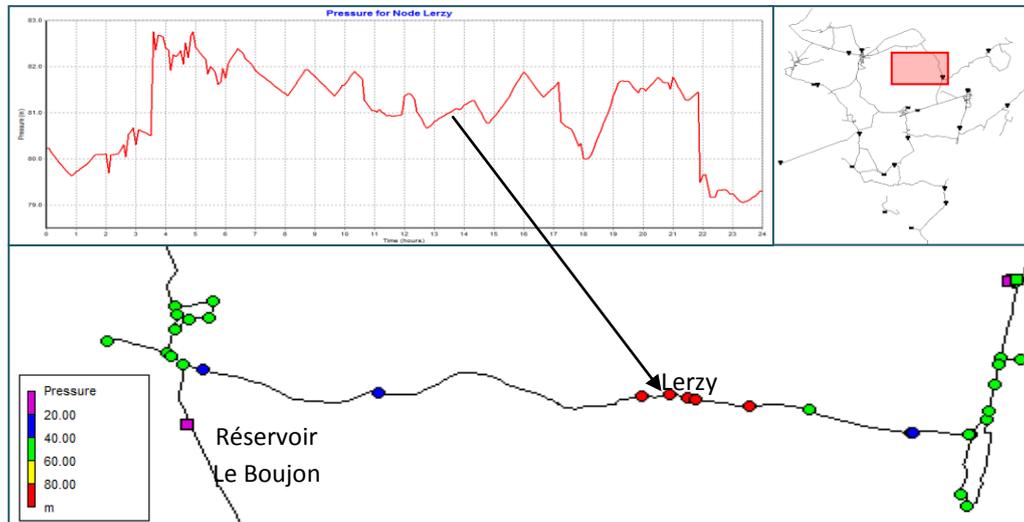


Figure n°33: Répartition des pressions maximales sur les communes de Boué et du Nouvion en Thiérache

- **Commune de Lerzy et Buironfosse** : les fortes pressions sont imposées par la charge du réservoir du Boujon.



### 6.1.2 Le diagnostic des temps de séjour

Le temps de séjour fournit une mesure simple de la qualité globale de l'eau potable livrée. Après un temps de séjour trop long, le chlore peut être insuffisant pour désinfecter l'eau avant sa consommation.

Le modèle nous donne la répartition du temps de séjour moyen dans le réseau (**Figure n°34**). Celui-ci doit être inférieur à 72 heures pour éviter une trop longue stagnation de l'eau dans les conduites.

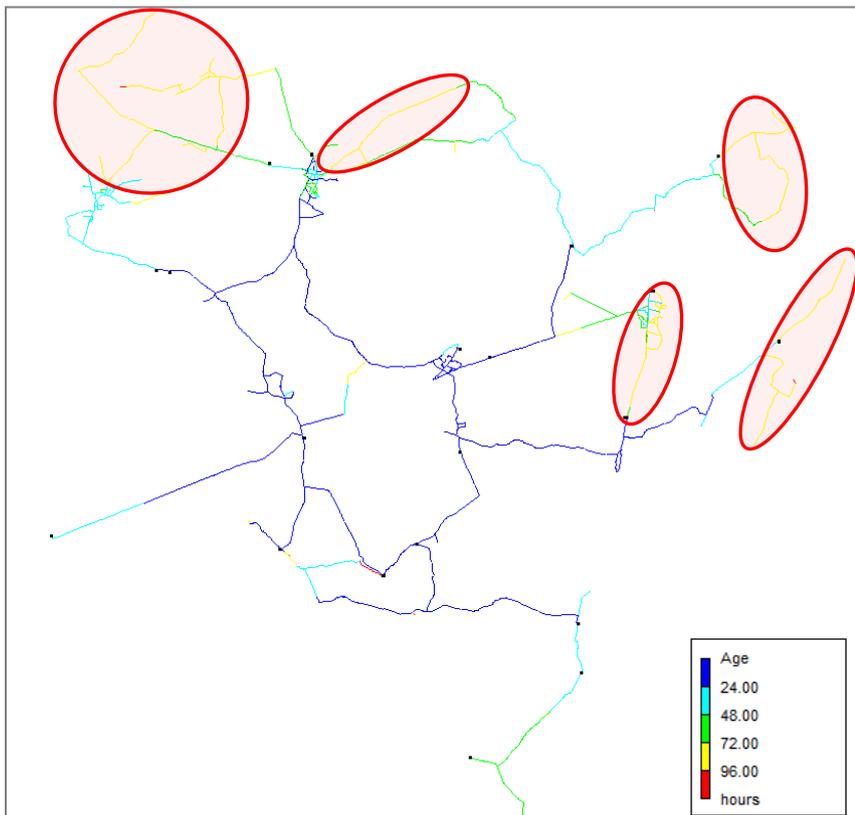


Figure n°34: Temps de séjour moyen de l'eau dans le réseau

On observe plusieurs zones avec des temps de séjour supérieur à 72h :

- La Capelle, Barzy en Thiérache, Fontenelle, Rocquigny, Fesmy-le-Sart et Clairfontaine.
- En bout de réseau des communes de Boué, Chigny, Crupilly et Leschelle

Les temps de séjour supérieur à 72h peuvent s'expliquer par des temps de séjour élevés dans certains réservoirs : le syndicat du SENA possède une réserve d'eau importante (9 690 m<sup>3</sup>) qui est supérieur au volume moyen mis en distribution (6080 m<sup>3</sup>).

### 6.1.3 Le diagnostic des vitesses

L'analyse qualitative de l'eau comporte un autre volet : les zones à faible vitesse d'écoulement, sièges de sédimentation et donc de dépôts. Elles sont difficilement distinguables sur le terrain et risquent de générer, en cas d'à-coup hydraulique (travaux sur le réseau, essais incendie, purges) des eaux troubles chez les abonnés. Ci-dessous figure un schéma de répartition des vitesses maximales (**Figure n°35**).

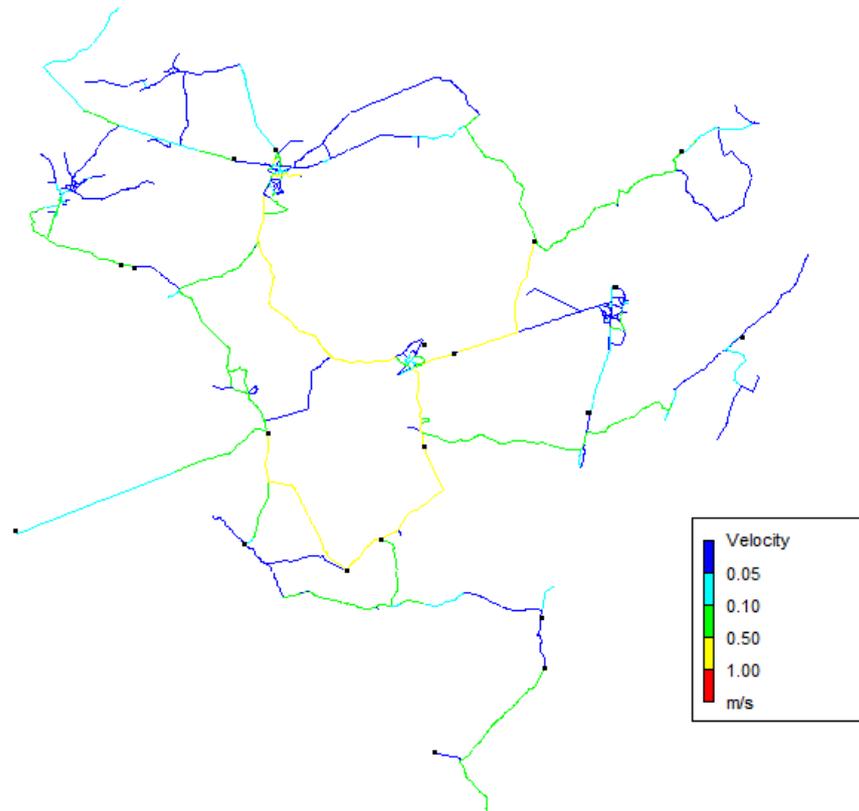


Figure n°35: Les vitesses maximales dans le réseau

Les fortes vitesses (tronçons en jaune) se trouvent au niveau des canalisations de transfert entre les réservoirs :

- Alimentation du réservoir de Solmont
- Alimentation du réservoir de Leschelle
- Distribution du réservoir du Boujon vers le Nouvion-en-Thiérache
- Sortie surpression Buironfosse

Une partie des vitesses d'écoulement dans le réseau sont inférieure à 0,05 m/s. Ceci peut-être expliqué par un surdimensionnement de certaines conduites pour répondre à la défense incendie.

## 6.1.4 Les préconisations

### 6.1.4.1 Optimisation des pressions

Suite au diagnostic, les préconisations suivantes peuvent être faites :

- Pour les pressions élevées : mise en place de stabilisateurs et de réducteurs de pression
- Pour les faibles pressions : mise en place de surpressions

Dans le cas des zones de fortes pressions, les abonnés des différentes zones concernées sont équipés de réducteur de pression au niveau de leur installation.

Des études plus approfondies seront réalisées à la demande des communes concernées par des zones de faibles ou de fortes pressions

### 6.1.4.2 Optimisation des temps de séjour

Suite au diagnostic, plusieurs zones ont été repérées avec des temps de séjour élevés. Les préconisations suivantes peuvent être faites :

- Réaliser des **contre analyse terrain** du taux résiduel de chlore sur les différents tronçons concernés.
- Mise en place d'un **programme de purge** pour les bouts de réseau : la purge consiste à ouvrir une vanne en bout du réseau pour simuler un écoulement. La vanne doit rester ouverte jusqu'à obtention d'eau claire.

## 6.2 Etude d'aménagement du réseau

### 6.2.1 Modification de la surpression d'Esqueheries et mise en place d'une bâche

L'objectif est de sécuriser le réseau pour répondre à la demande des industriels. La surpression doit délivrer une pression de 6 bars aux industriels.

#### 6.2.1.1 Hypothèses de calculs

Nous nous plaçons dans le cas de figure le plus défavorable, à savoir un jour de pointe de consommation. Pour ce faire nous appliquons un coefficient multiplicateur aux consommations moyennes journalières des industriels et des abonnés.

Le coefficient de pointe pour cette étude est de 1,5 (origine du coefficient : cf partie 4.3.3).

Afin d'assurer l'alimentation de la commune et des industriels nous décidons de modifier les pompes de la station de surpression d'Esqueheries et d'installer une bâche à l'amont de celles-ci.

#### 6.2.1.2 Aménagement

Nous testons la mise en place d'une bâche à l'amont de la station de surpression et d'un clapet anti-retour sur la canalisation en provenance de Buironfosse (pour éviter un retour d'eau dans le réservoir du Boujon).

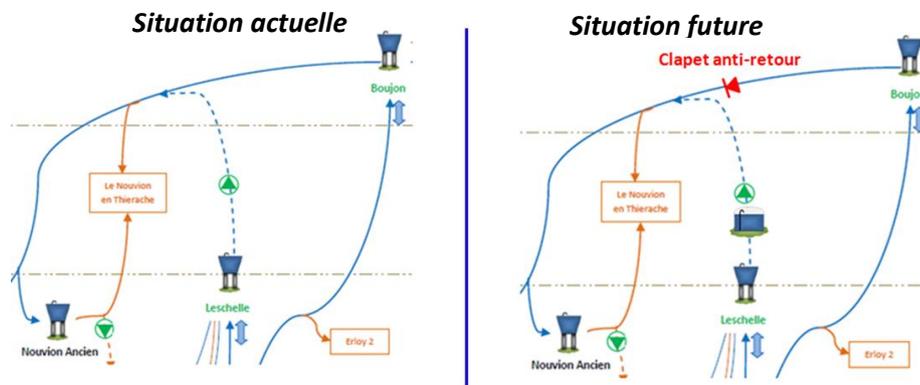


Figure n°36: Schéma d'aménagement du réseau

- **Remplacement des pompes**

Afin d'assurer une pression de 6 bars aux industriels la pression en sortie de surpression doit être 4 bars. Les pompes de la surpression seront remplacées de façon à assurer la consommation de pointe des industriels, trois pompes à vitesse variable seront installées (point de fonctionnement : 70 m<sup>3</sup>/h à 40 mCE) :

- 1 pompe : assure l'alimentation aux heures creuses
- 2 pompes : assurent l'alimentation aux heures de forte consommation
- 3 pompes : assurent l'alimentation au jour de pointe de consommation

- **Nouvelles règles d'asservissement**

L'asservissement de la station est modifié pour répondre aux objectifs suivants :

- Pression minimale de 2 bars à l'amont de la nouvelle bache
- Pression minimale de 4 bars à l'aval de la surpression
- Pression maximale de 6 bars à l'aval de la surpression

Le maintien de la pression à l'amont de la nouvelle bache est assuré par le stabilisateur de pression.

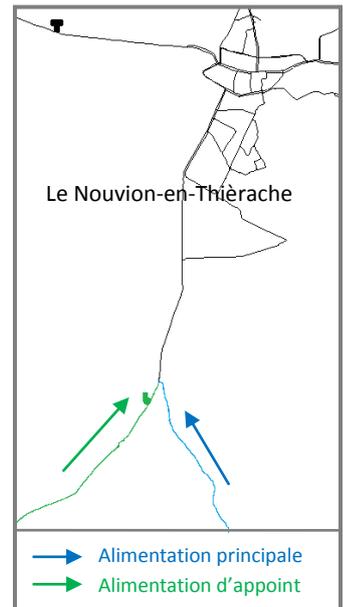
- **Mise en place d'une bache**

- objectif

1 - assurer l'alimentation des industriels aux heures de pointe de consommation

2 - assurer une capacité d'alimentation de 4h de la commune du Nouvion-en-Thiérache et de ses industriels en cas de casse sur le réseau d'alimentation principale de la commune (voir Figure 37). La durée de 4h correspond au temps de réparation moyen d'une fuite.

Figure n°37: Carte des réseaux d'alimentation du Nouvion-en-Thiérache



- Dimensionnement

En période de pointe, l'ensemble de la commune consomme un maximum de 740 m<sup>3</sup> pendant une durée de 4h avec une pointe maximale à 190 m<sup>3</sup>/h. Afin d'assurer l'alimentation de l'ensemble de la commune pendant ce temps, nous décidons de mettre en place une bache de 800 m<sup>3</sup>.

Le remplissage de la bache se fait à un débit de 40 m<sup>3</sup>/h (soit 160 m<sup>3</sup> pendant 4h) en cas de forte demande à l'amont de celle-ci. Le remplissage de la bache qui a lieu en même temps que sa vidange permet de gagner 1h d'autonomie. Nous avons donc la capacité d'alimenter la commune et ses industriels pendant 5h.

### 6.2.1.3 Résultats

La mise en place d'une bache avec surpression permet de répondre aux objectifs.

- **Impact sur les pressions**

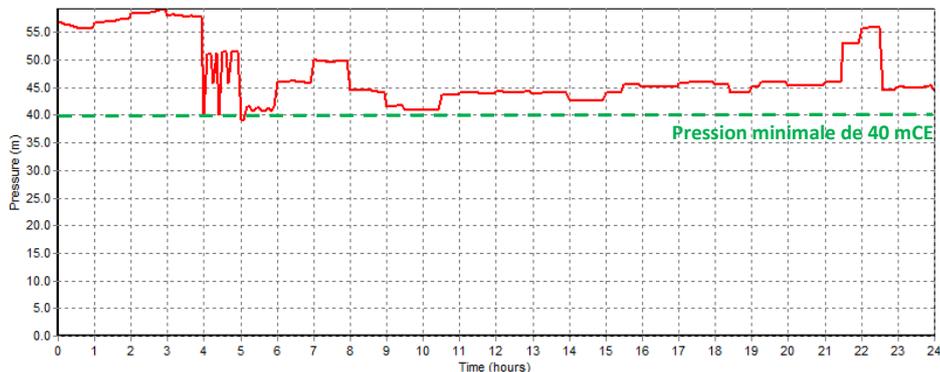


Figure n°38: Courbe des pressions en sortie de surpression

La pression de sortie de station de surpression est respectée. Les pressions supérieures à 50 mCE sont dues à l'alimentation principale, actuellement ces pics de pression n'empêchent pas le bon fonctionnement du réseau. Si l'on souhaite supprimer ces pics de pression la mise en place d'un appareil de régulation sera nécessaire.

- **Impact sur les débits**

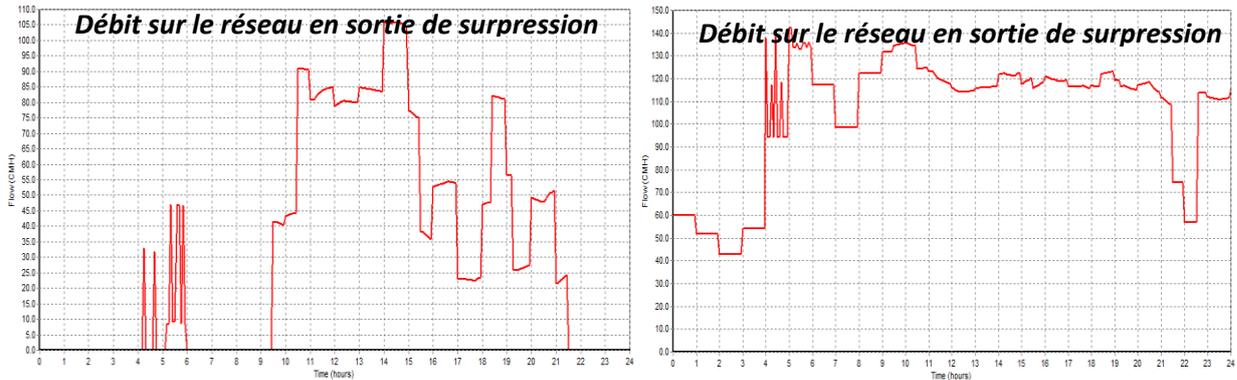


Figure n°39: Courbe de débit de la station de surpression

L'observation des courbes de débit permet de mettre en évidence le bon fonctionnement de la surpression. Elle remplit bien son rôle d'appoint au moment des fortes consommations.

- **Impact sur le marnage de la bache 800 m<sup>3</sup>**

Le fonctionnement de la surpression permet à la bache de rester pleine afin de pouvoir répondre à la demande en cas de casse sur le réseau principal.

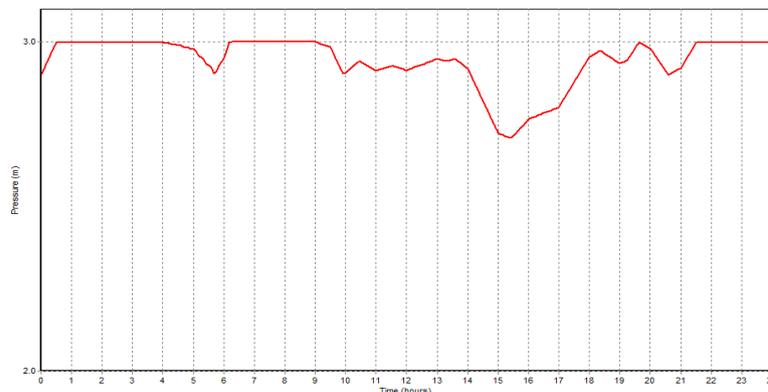


Figure n°40: Courbe de marnage de la bache

### 6.2.1.4 Coût

Une solution envisagée pour la mise en place de la bache est la création de deux ouvrages de stockage de 400 m<sup>3</sup>. La mise en place de ces deux bâches permettra une facilité d'exploitation ainsi qu'un fonctionnement sans interruption de l'installation. Par exemple, le nettoyage annuel des ouvrages de stockage pourra se faire en deux fois, la continuité de service sera assurée et aucun risque de manque d'eau au niveau des industriels ne sera encouru.

Pour avoir une idée de l'ordre de prix, un estimatif a été réalisé. Les montants sont à titre indicatif et non aucune valeur officielle (ce chiffrage restera en interne au niveau de Saur).

Désignations	Coûts*
Etudes	15000 - 20 000€
Aménagements généraux	18 000 - 23 000€
Gros œuvre	239 000€
Equipements hydrauliques	110 000€
Aménagement	16 000 - 21 000€
Equipements électriques	8 000€
Essai de garantie et récolement	7 500 - 8 500€
Total HT	413 500 - 429 500€

\*base de donnée SAUR (Archive)

Tableau n°22: *Tableau estimatif des coûts de réalisation*

Cette solution est proposée à titre indicatif et reste issue d'une pré-étude visant à avoir un aperçu des capacités du réseau et de sa possible évolution.

Quand l'étude sera vendue au syndicat du SENA, un dimensionnement plus poussé sera réalisé et une consultation d'entreprise sera nécessaire pour la réalisation des devis.

#### 6.2.1.5 Conclusion

La mise en place de la nouvelle surpression avec une bâche de 800m<sup>3</sup> permet de répondre aux différentes attentes :

- Elle permet l'alimentation à une pression de 6 bars de la commune du Nouvion-en-Thiérache et de ses industriels aux heures de forte consommation.
- Elle assure une autonomie minimale de 5 heures à la commune en cas de casse sur le réseau d'alimentation principale.

## 6.2.2 Alimentation de la bâche de La Capelle par la surpression de Froidestrées

L'objectif est de tester la mise en place de la future alimentation de la bâche de la Capelle par la surpression de Froidestrées (installée au pied du réservoir) afin de soulager la station de production de la Capelle. Nous chercherons à déterminer l'impact de ce futur aménagement sur le réseau.

### 6.2.2.1 Hypothèses de calculs

Nous nous plaçons dans le cas de figure le plus défavorable, à savoir un jour de pointe de consommation. Pour ce faire nous appliquons un coefficient de pointe aux consommations moyennes journalières.

Le coefficient retenu est de 1,57 (origine du coefficient : cf partie 4.3.3).

Nous considérons également que l'ensemble de l'alimentation de la bâche est assuré par la surpression (station de production à l'arrêt).

### 6.2.2.2 Aménagement

Le raccordement du réseau surpressé à la bâche de la Capelle :

- Doit permettre le remplissage de la bâche qui assure l'alimentation de la partie Ouest de la Capelle
- Ne doit pas provoquer de baisse significative de la pression dans la partie Est du réseau, nous prendrons pour valeur de référence 35 mCE au niveau de la cité de la Croix Bossue (Seuil de référence de l'exploitant).

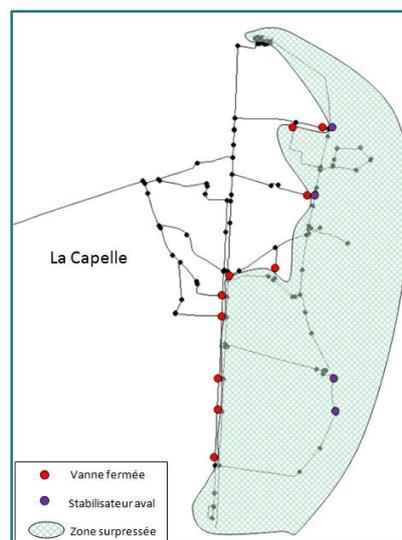


Figure n°41: Plan de la zone surpressée

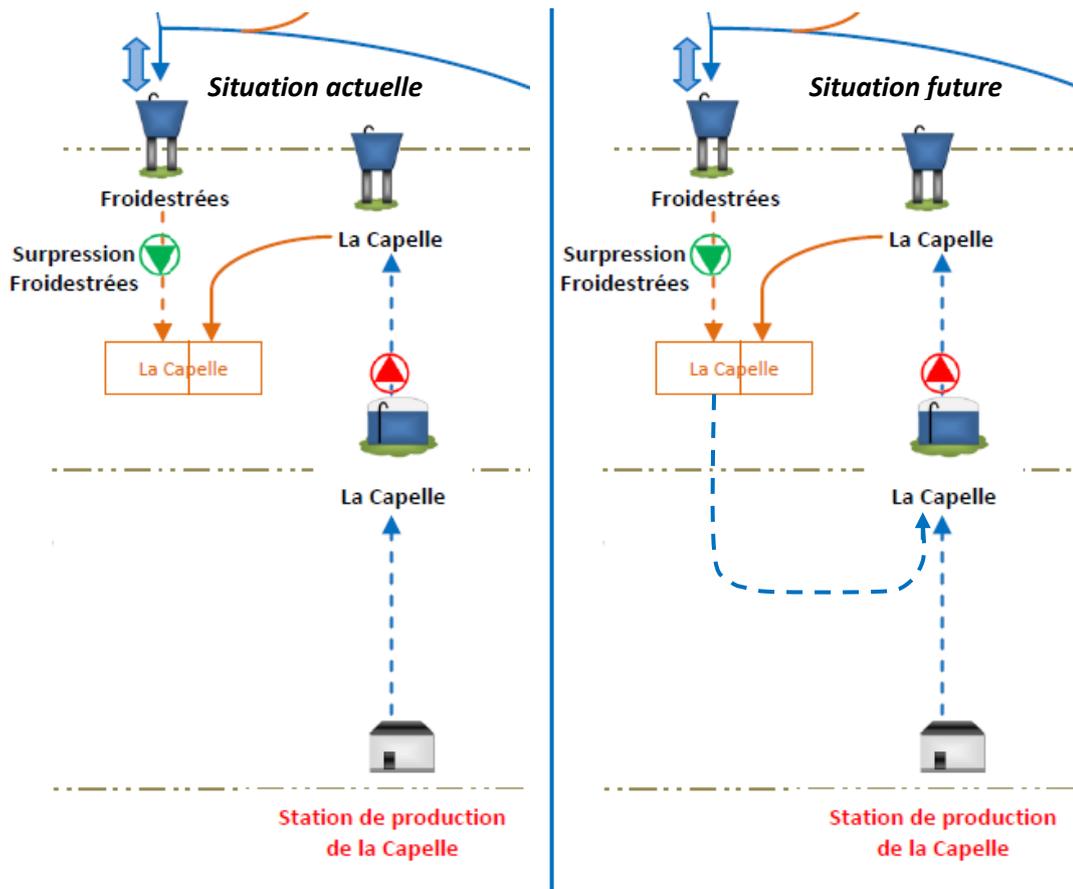


Figure n°42: Schéma de l'aménagement futur

### 6.2.2.3 Résultats

L'alimentation de la bache par la surpression de Froidestrées permet d'alimenter l'ensemble de la Capelle sans provoquer de modification importante du fonctionnement du réseau.

- **Impact sur la pression**

Au niveau de la cité de la Croix Bossue, nous observons une faible baisse des pressions (environ -2 mCE). Cette variation est acceptable par l'exploitant.

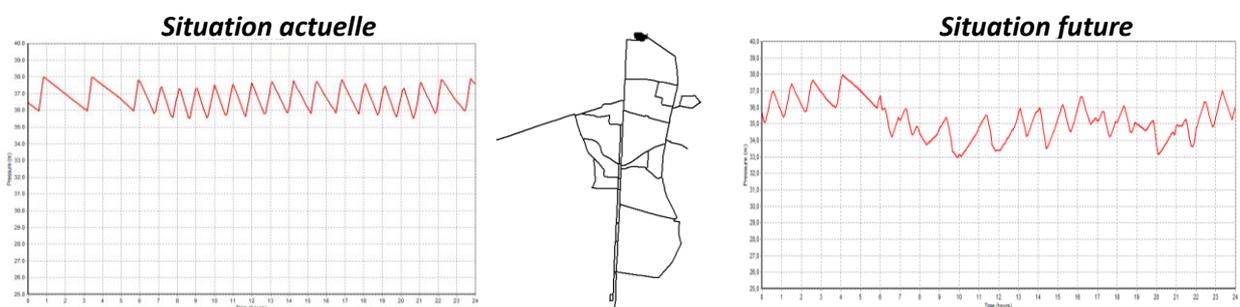


Figure n°43: Courbes des pressions au niveau de la cité de la Croix Bossue

- **Impact sur le marnage du réservoir de Froidestrées**

Le réservoir de Froidestrées continue de marnier entre 3,5m et 5,5m malgré une augmentation du volume mis en distribution par celui-ci.

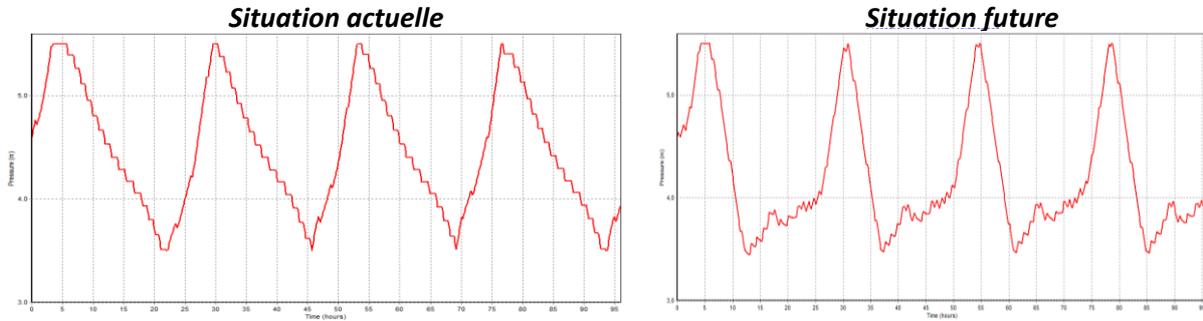


Figure n°44: Courbe de marnage du réservoir de Froidestrées

- **Impact sur les vitesses et les temps de séjour**

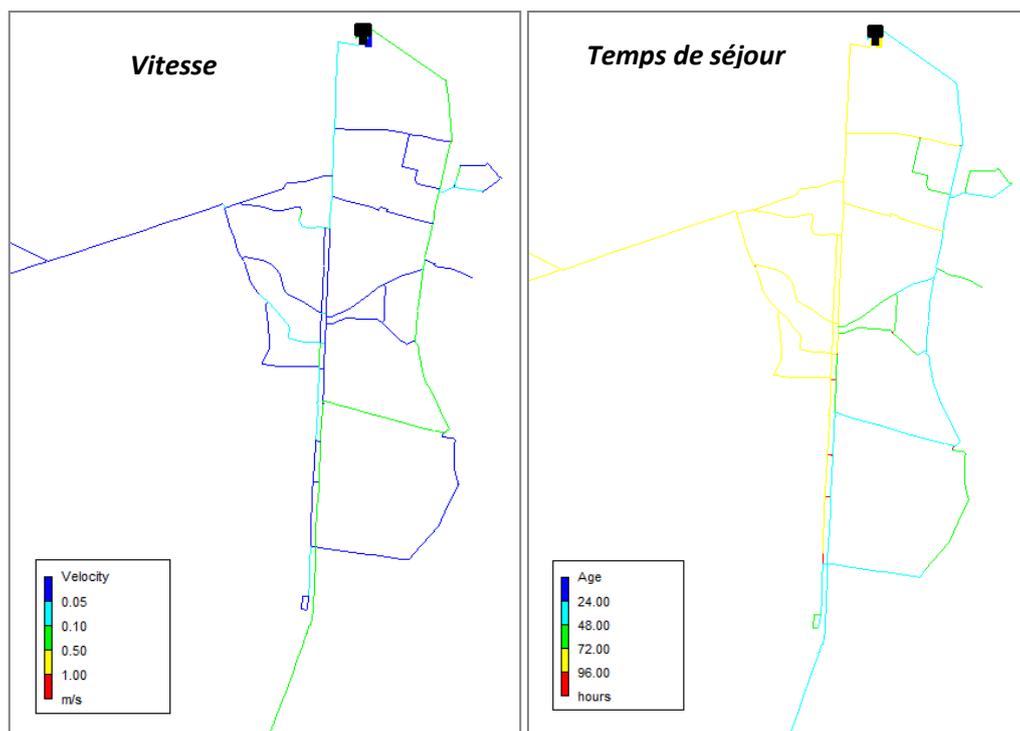


Figure n°45: Courbe des vitesses et des temps de séjour après l'aménagement

L'alimentation de la bache de la Capelle via la suppression de Froidestrées provoque une augmentation de la vitesse (+0.3 à 0.4 m/s), cette augmentation reste acceptable.

Le temps de séjour sur le réseau est également impacté, alors que l'on observe une diminution de celui-ci sur la partie Est du réseau, une augmentation est constatée sur la partie Ouest. Une chloration est présente en sortie de bache, il n'y a donc pas de risque de dégradation de la qualité de l'eau.

#### 6.2.2.4 Conclusion de l'étude

Cette étude a permis de mettre en évidence la capacité de la station de surpression de Froidestrées à alimenter la bache de la Capelle.

De plus les impacts de ce nouvel aménagement n'empêchent pas le bon fonctionnement du réseau de distribution.

### 6.3 Etude de défense incendie

Dans le cadre de la mise à jour de la réglementation sur le Schéma de Défense Extérieure Contre les Incendies, Saur accompagne le Syndicat des Eaux du Nord de l'Aisne auprès du Service Départemental d'Incendie et de Secours (SDIS). Le prix de l'étude pour l'ensemble du syndicat s'élève à 98 250 €.

Une étude de défense incendie nécessite la création d'un modèle dit « Défense Incendie ».

#### 6.3.1 Cadre réglementaire

Actuellement la défense incendie est soumise au cadre réglementaire suivant :

- Circulaire de 1951 (Voir annexe 9)
  - DECI est de la responsabilité du maire
  - 60 m<sup>3</sup>/h pendant 2h
  - Distance entre deux poteaux < 400m
  - Vérification des installations une fois par an
  
- Arrêté de 1978
  - Réserve incendie dans les réservoirs (pour les communes de plus de 2000 habitants)
  - Notion de risque moyen et important
  
- Normes
  - NFS 61211 (Bouches incendies)
  - NFS 61213 (Poteaux incendies)

Le 17 mai 2011, l'article 77 de la loi Warsmann [9] est mise en place. Elle confirme le pouvoir de police administrative spéciale du maire, la création d'un service public de DECI gérée par la collectivité et la possibilité de transférer la compétence DECI à un EPCI [10].

Aujourd'hui, le décret d'application n'est toujours pas validé. Ce décret permettra entre autre la mise en place :

- D'un référentiel national DECI
  - Guide méthodologique pour bâtir le règlement départemental de DECI

- D'un règlement départemental DECI
  - Niveaux des risques
  - Méthode et analyse des besoins en eau par type de risque
  - Mise en place d'une base de données départementale de référence
- Un schéma communal (déclinaison du règlement départemental sur la commune)
  - Elabore un état des lieux
  - Fixe les besoins en eau
  - Fixe les objectifs

### 6.3.2 Création du modèle « Défense Incendie »

La création du modèle « Défense Incendie » se réalise en deux étapes.

#### 6.3.2.1 La création du modèle support

Pour ce faire le syndicat nous a autorisés à réutiliser son modèle macro créé pour en faire un modèle développé où les différents poteaux incendies seront créés.

Pour la création du modèle, l'ensemble des données collectées précédemment a été injecté dans un squelette complet du réseau. Le squelette complet du réseau est celui utilisé pour la création du modèle précédent avant son passage au format macro.

Une fois le modèle créé, l'ensemble de son calage a été vérifié.

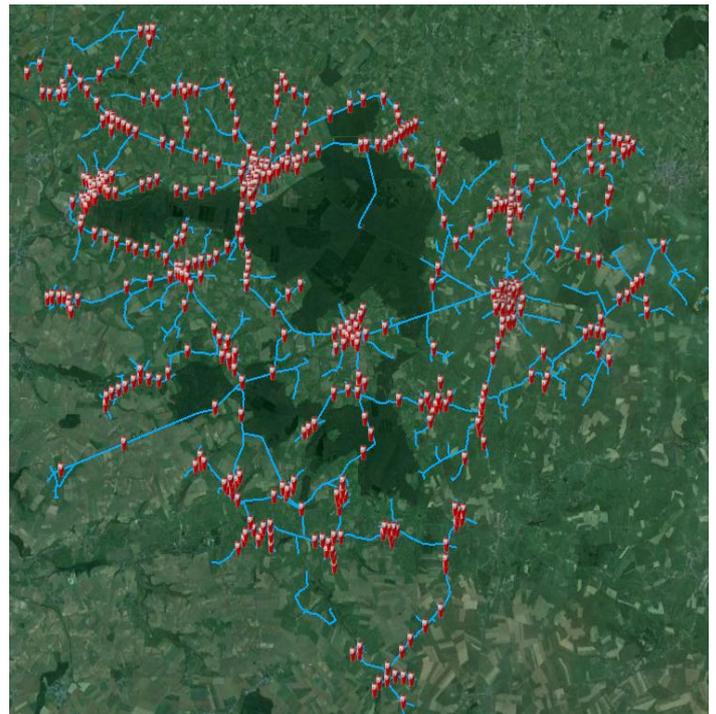
#### 6.3.2.2 Le passage au modèle dit « Défense Incendie »

Cette étape se réalise à partir du modèle complet du réseau qui a été calé et consiste à recréer les poteaux incendies et les organes de protection incendie.

Une fois les poteaux incendies créés, la modélisation permet de simuler l'ouverture de poteaux incendies pendant deux heures sous un bar de pression résiduelle.

Vu l'importance du nombre de poteaux incendies (environ 650), ils seront créés progressivement au fil des études (commune par commune).

Figure n°46: Carte de localisation des poteaux incendies



### 6.3.3 Objectif de l'étude

L'objectif de défense incendie est de connaître les capacités du réseau et de programmer les éventuels aménagements de celui-ci afin d'assurer une défense incendie conforme.

Ces aménagements peuvent se traduire par :

- Des installations de poteaux incendies
- La mise en place de bâches souples
- Des renforcements de réseaux
- Le maillage
- Le dimensionnement de groupe de pompage
- 

### 6.3.4 Déroulement type d'une étude et exemple d'application

Cette partie présente la mise en application d'une étude incendie, nous prendrons pour exemple la commune de Sorbais (14 km de réseau, 7 hydrants, 1 réservoir de 150 m<sup>3</sup>).

- **1<sup>ère</sup> étape :** importation des cartes

Importation des plans cartographiques sous le logiciel ArcMap. Nous utilisons pour cette étude un référentiel Lambert II étendu.

- **2<sup>ème</sup> étape :** importation des réseaux et des hydrants

Importer le réseau de distribution ainsi que la localisation des hydrants (poteaux incendies et bouches d'incendie).

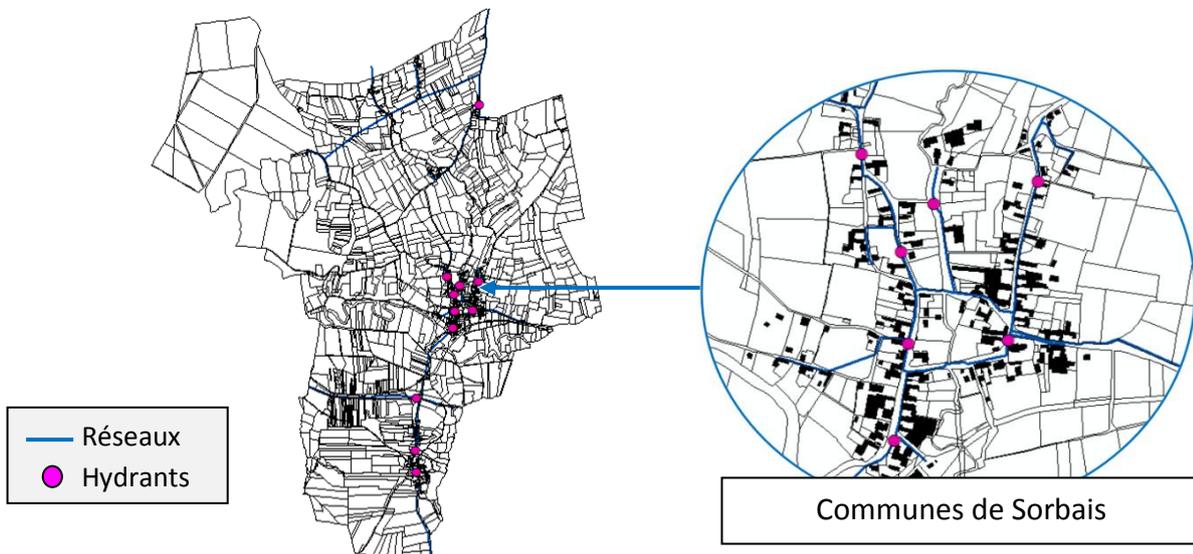


Figure n°47: Plan des réseaux de Sorbais et localisation des hydrants sous ArcMap

- **3<sup>ème</sup> étape :** carte de conformité des hydrants

Définir la conformité des hydrants sous ArcMap, pour cela on vérifie que le débit des hydrants est conforme à la réglementation.

Le débit des hydrants est obtenu soit auprès des pompiers (tests d'hydrants obligatoire une fois par an), soit en simulant l'écoulement sous le modèle « Défense Incendie ». On peut également organiser une campagne de mesure au sein de Saur (la démarche et le document à remplir sont disponible en [annexe 10 et 11 \[11\]](#)).

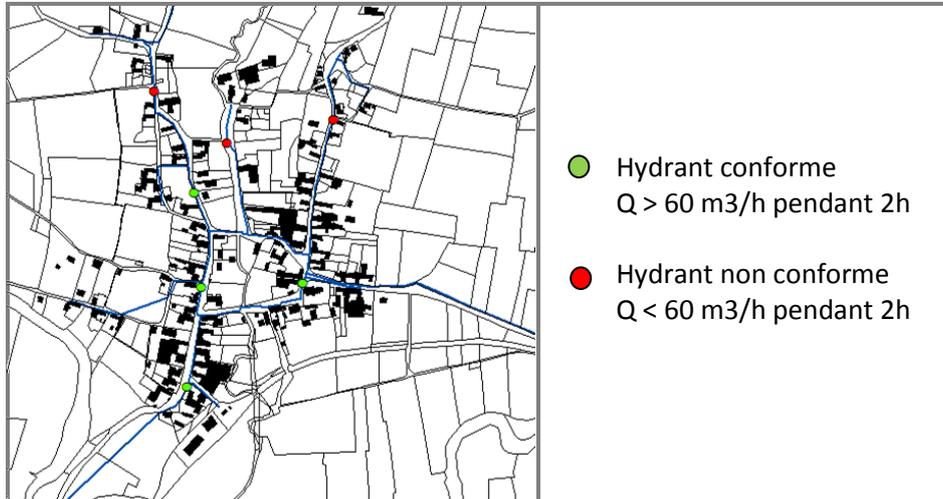


Figure n°48: Carte de conformité des hydrants de la commune de Sorbais

Sur la commune de Sorbais, nous observons 4 hydrants conformes et 3 hydrants non conformes.

- **4<sup>ème</sup> étapes : définition des zones de conformité**

Cette étape consiste à créer des zones de 200m de rayon au tour d'un poteau afin de pouvoir avoir une meilleure appréciation de la zone couverte par un poteau.

Cette appréciation reste approximative car elle ne tient pas compte du linéaire de réseau. Dans l'avenir un autre logiciel permettra de déterminer les tronçons dont la longueur fait 200m à partir d'un poteau.

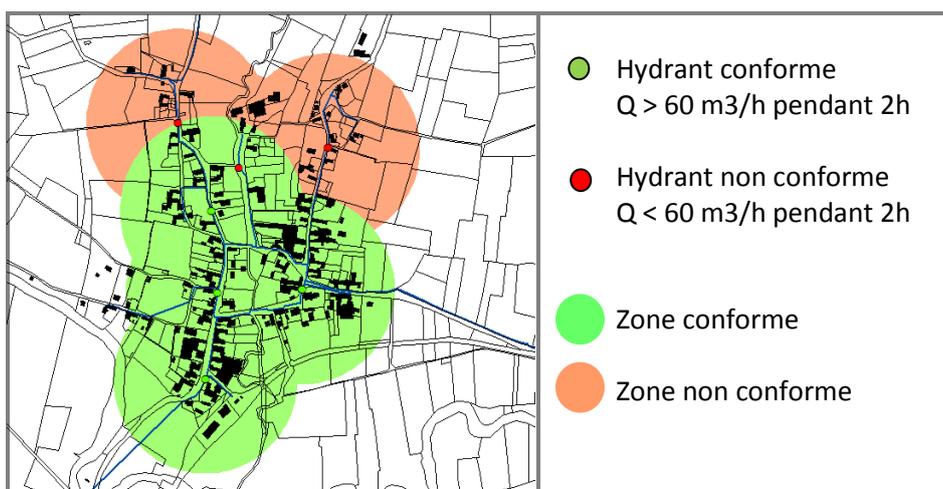


Figure n°49: Carte des zones de conformité de la commune de Sorbais

- **5<sup>ème</sup> étape : création des cartes de conformité**

Après avoir créé les zones de conformité, nous recoupons ces zones avec les données « bâtiment » et les données « parcelle ». Une carte de conformité pour les bâtiments et les parcelles est ainsi obtenue.

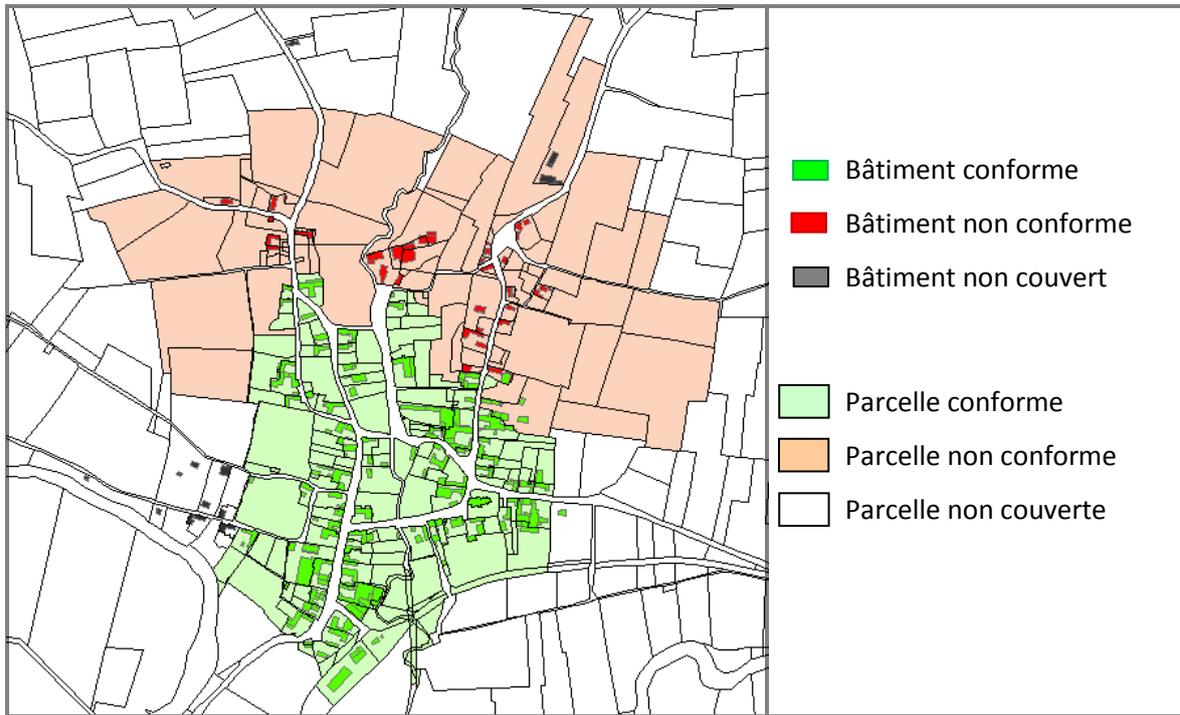


Figure n°50: Carte de conformité des bâtiments et des parcelles pour la commune de Sorbais

- **bilan**

A partir de la carte de conformité des bâtiments et des parcelles ainsi que du modèle « Défense Incendie », une étude d'aménagement du réseau afin d'assurer la défense incendie sur l'ensemble de la commune peut être réalisée.

## Conclusion

Aujourd'hui la modélisation du Syndicat des Eaux du Nord de l'Aisne est terminée. Les capacités du logiciel Epanet ainsi que la fiabilité des données collectées ont permis de recréer le réseau le plus fidèlement possible à la réalité. La campagne de mesures importantes qui a été réalisée a permis une bonne corrélation entre les données du terrain et celles simulées. Seule la zone de la surpression d'Esqueheries présente un risque d'erreur plus élevé du fait de la difficulté à modéliser la surpression variable.

Le diagnostic du réseau qui a été réalisé par la suite a montré que la réalisation de la modélisation était nécessaire, elle a permis de mettre en évidence les zones de dysfonctionnement. Des zones de fortes pressions (supérieures à 6 bars) et de faibles pressions (inférieures à 2 bars) ont été localisées dans les différentes communes. Il en ressort également des zones où le temps de séjour trop élevé présente un risque de dégradation de la qualité de l'eau. A la demande du syndicat des solutions seront proposées.

La réalisation de pré-étude a permis de montrer aux différentes communes qui composent le syndicat la capacité du modèle à répondre à leur futur projet d'aménagement du réseau. Les études visant à tester la modification de la surpression d'Esqueheries et l'alimentation de la bache de la Capelle par la surpression de Froidestrées ont été réalisées à ce titre.

Le modèle a été utilisé pour créer le modèle dit « Défense Incendie » qui sera destiné à l'étude de défense incendie réalisée en collaboration avec le SDIS de Laon. Cette étude doit commencer en 2014.

Au terme de ce projet, la modélisation s'est révélée être une aide efficace dans l'exploitation et l'optimisation du réseau d'eau.

## Bibliographie

- [1] SAUR. **Rapport annuel du délégataire, Services de l'Eau Potable, Syndicat des Eaux des Communes du Nord de l'Aisne**, 2013.
- [2] Eugène WEBER, Denis GILBERT. **Alimentation en eau potable**, 2001-2008.
- [3] Ralph A.Wurbs, **Computer Model for Water Resources Planning and Management**, Texas A&M University – Department of Civil Engineering Environmental Ocean and Water Ressources Division, July 1994.
- [4] D.J.Ellis, A.R.Simpson, **Convergence of Iterative Solvers for the simulation of a Water Distribution Pipe Network**, Research Report No.R138, Department of Civil and Environmental of Engineering, The University of Adelaide, August 1996.
- [5] ASCE, **Great Rivers History – Proceeding of the History Symposium of the World Environmental and Water Resources Congress**, 2009.
- [6] EPANET, Wikipédia, mai 2007. <<http://en.wikipedia.org/wiki/EPANET>>.
- [7] Lewis A.ROSSMAN. **Epanet 2.0 Simulation Hydraulique et Qualité pour les Réseaux d'Eau sous Pression, Manuel de l'Utilisateur, Version française**, 01/09/2003.
- [8] SAUR. **Guide d'utilisation AQUASOFT**, 2005.
- [9] **LOI n° 2011-525**, 17 mai 2011, article 77, Legifrance.gouv.fr [consulté le 15/4/2104]  
<[http://www.legifrance.gouv.fr/affichCode.do;jsessionid=D7136492E341A67CCB137E7178B623D4.tpdj\\_o04v\\_3?cidTexte=LEGITEXT000006070633&idSectionTA=LEGISCTA000024026482&dateTexte=20140611&categorieLien=id#LEGISCTA000024026482](http://www.legifrance.gouv.fr/affichCode.do;jsessionid=D7136492E341A67CCB137E7178B623D4.tpdj_o04v_3?cidTexte=LEGITEXT000006070633&idSectionTA=LEGISCTA000024026482&dateTexte=20140611&categorieLien=id#LEGISCTA000024026482)>.
- [10] SAUR, **Réforme du schéma de défense extérieur contre l'incendie**, 2014.
- [11] SAUR, **Eau Potable – Exploiter et intervenir sur le réseau**, octobre 2012.

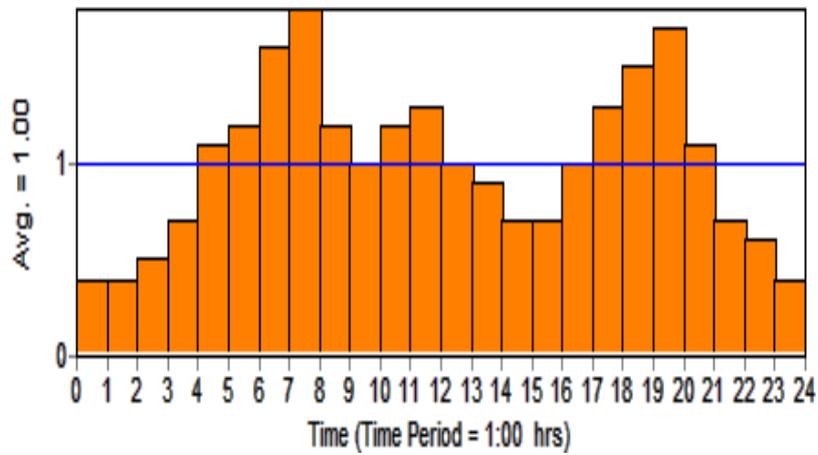
## Annexes

Annexe 1 : Synoptique du Syndicat des Eaux du Nord de l'Aisne.....	59
Annexe 2 : Exemple de courbes de modulation de la consommation des communes.....	60
Annexe 3 : Exemple de courbes de modulation des gros consommateurs.....	61
Annexe 4 : Exemple de courbes de modulation des ventes et des achats d'eau.....	62
Annexe 5 : Exemple de courbes de calage de la pression (logger).....	63
Annexe 6 : Exemple de courbes de calage des débits.....	65
Annexe 7 : Exemple de courbes de marnage de réservoir.....	67
Annexe 8 : Plan de la sectorisation du réseau d'eau potable du SENA.....	69
Annexe 9 : Cadre réglementaire selon la circulaire de 1951.....	70
Annexe 10 : Fiche explicative de vérification des hydrants.....	71
Annexe 11 : Fiche remplie par les agents lors des tests de poteaux incendies.....	74

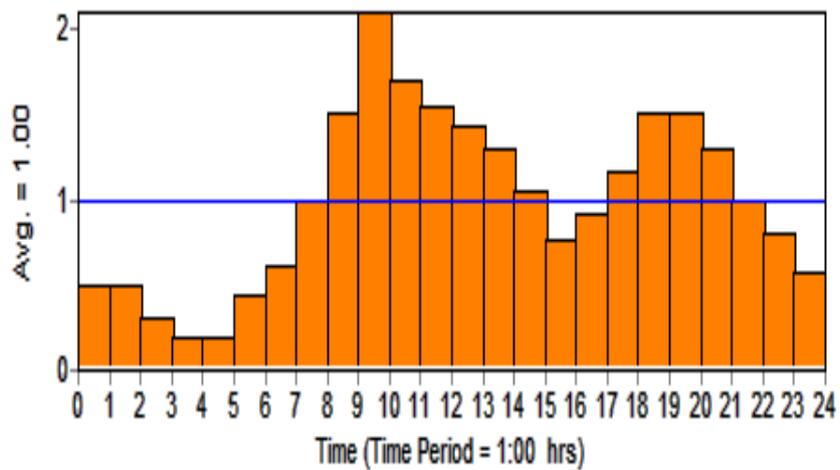


Annexe 2 : Exemple de courbes de modulation des besoins horaires des communes

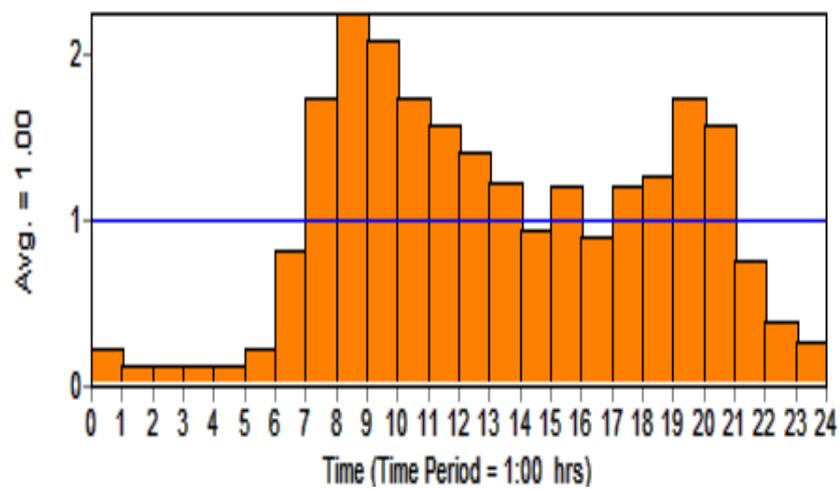
*Courbe de modulation de Leschelle*



*Courbe de modulation de Fesmy*

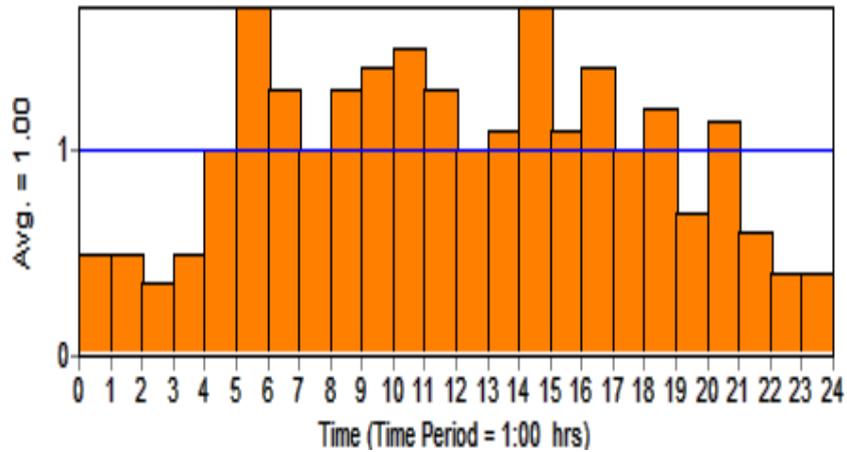


*Courbe de modulation de Clairfontaine*

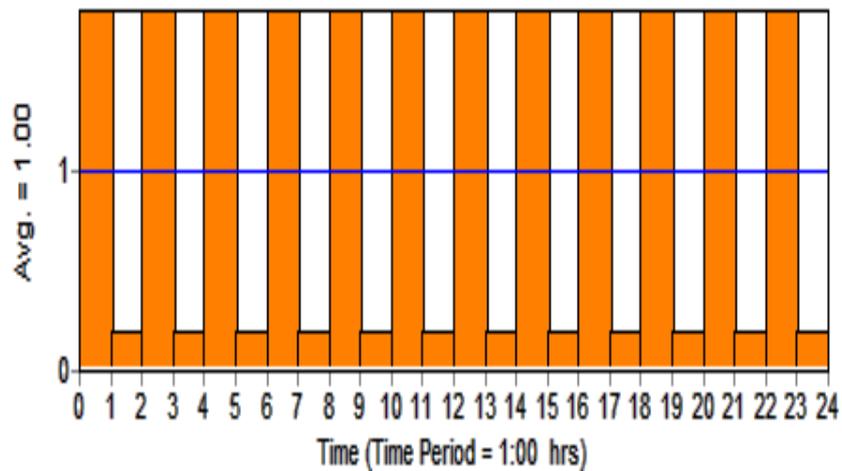


Annexe 3 : Exemple de courbes de modulation des gros consommateurs

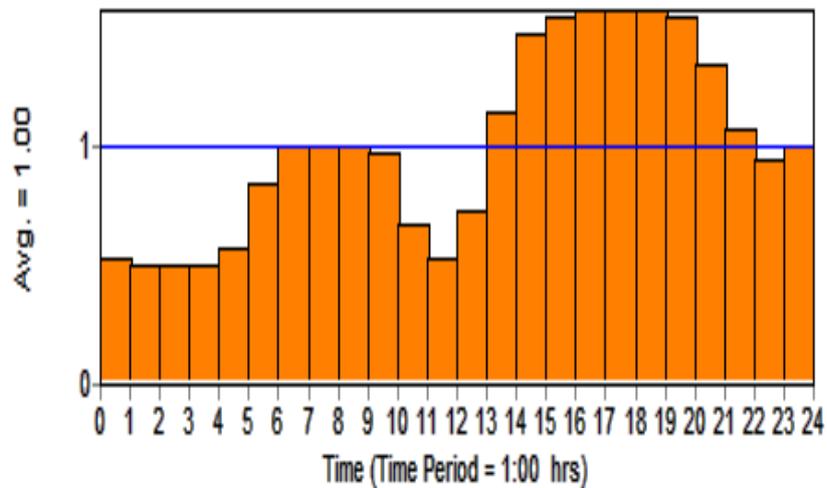
*Courbe de modulation Les Fromagers*



*Courbe de modulation de West-Pharmaceutical Services*

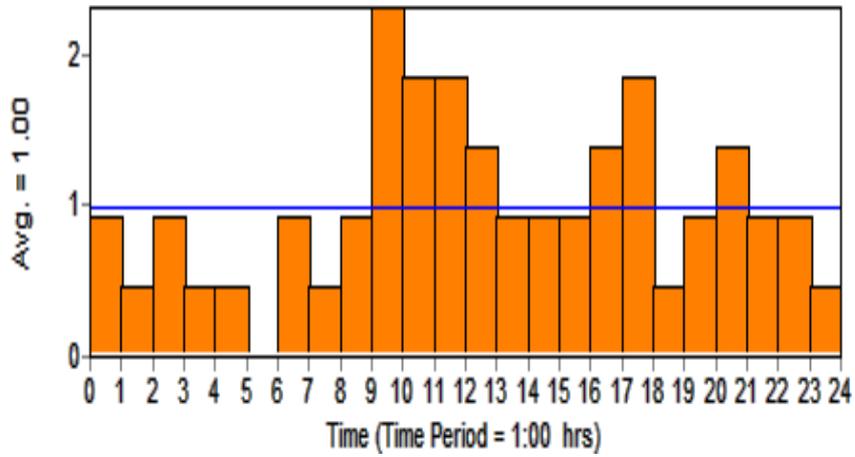


*Courbes de modulation de Nestlé*

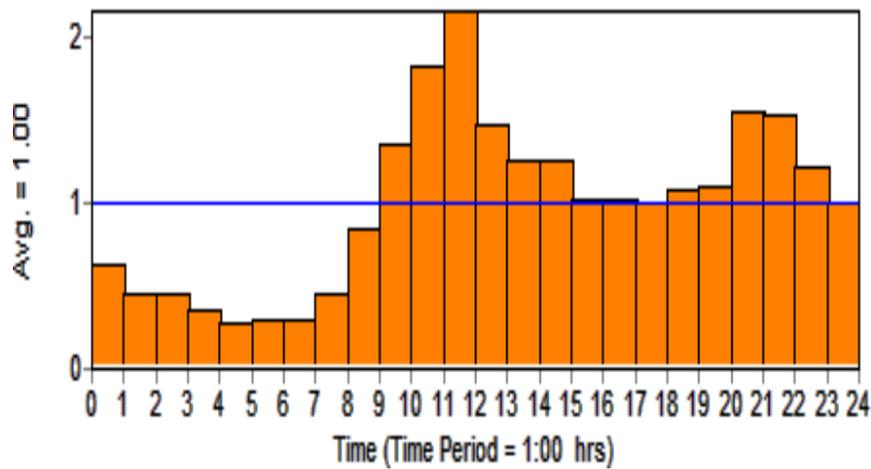


Annexe 4 : Exemple de courbes de modulation des ventes et des achats d'eau

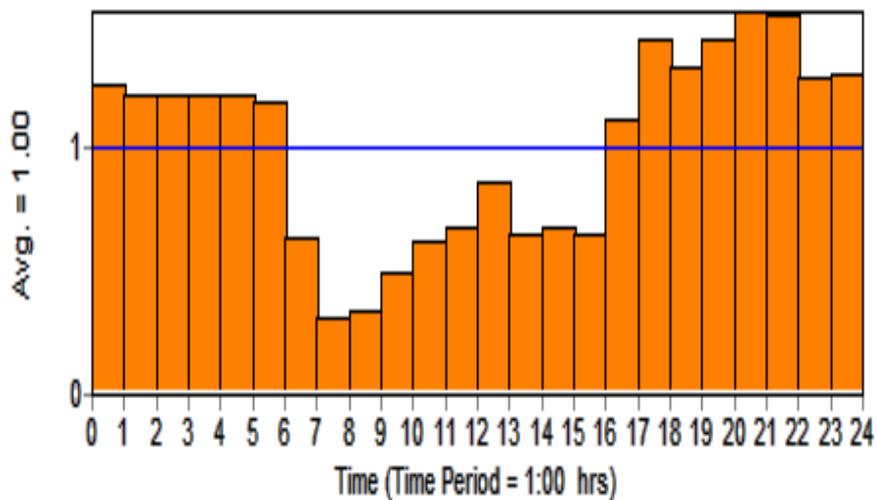
*Courbe de modulation du SIDEN*



*Courbe de modulation les 3-pigeons vers Malzy*

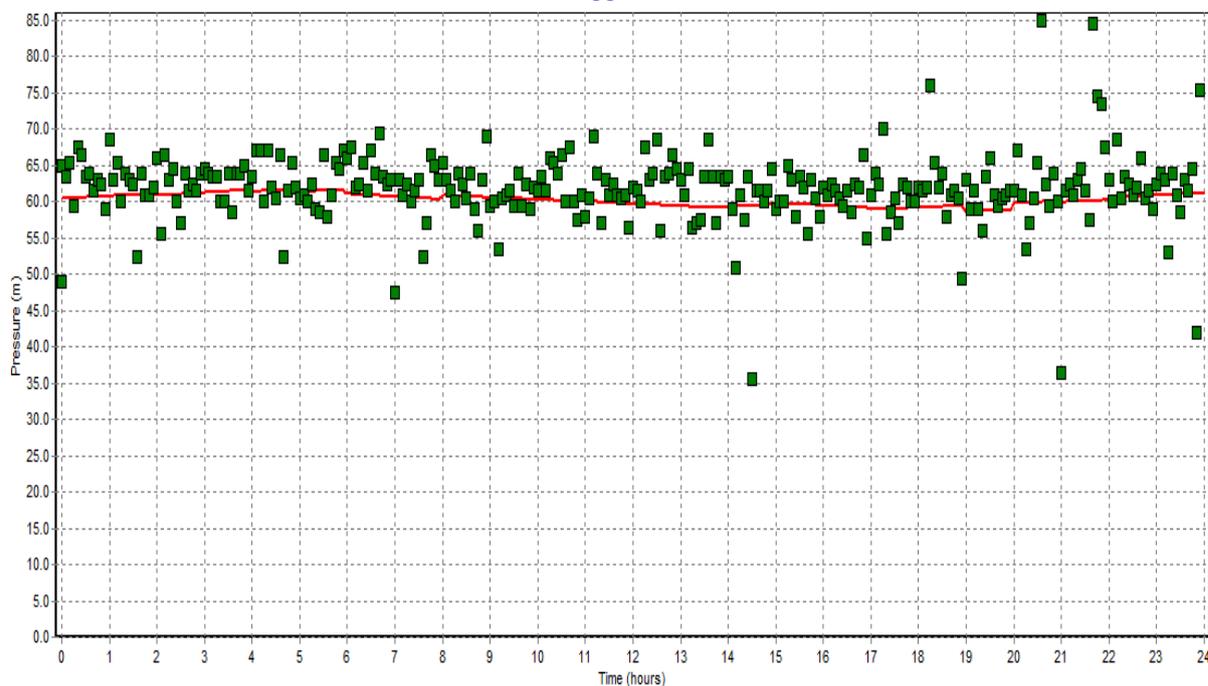


*Courbe de modulation d'Etreaupont*

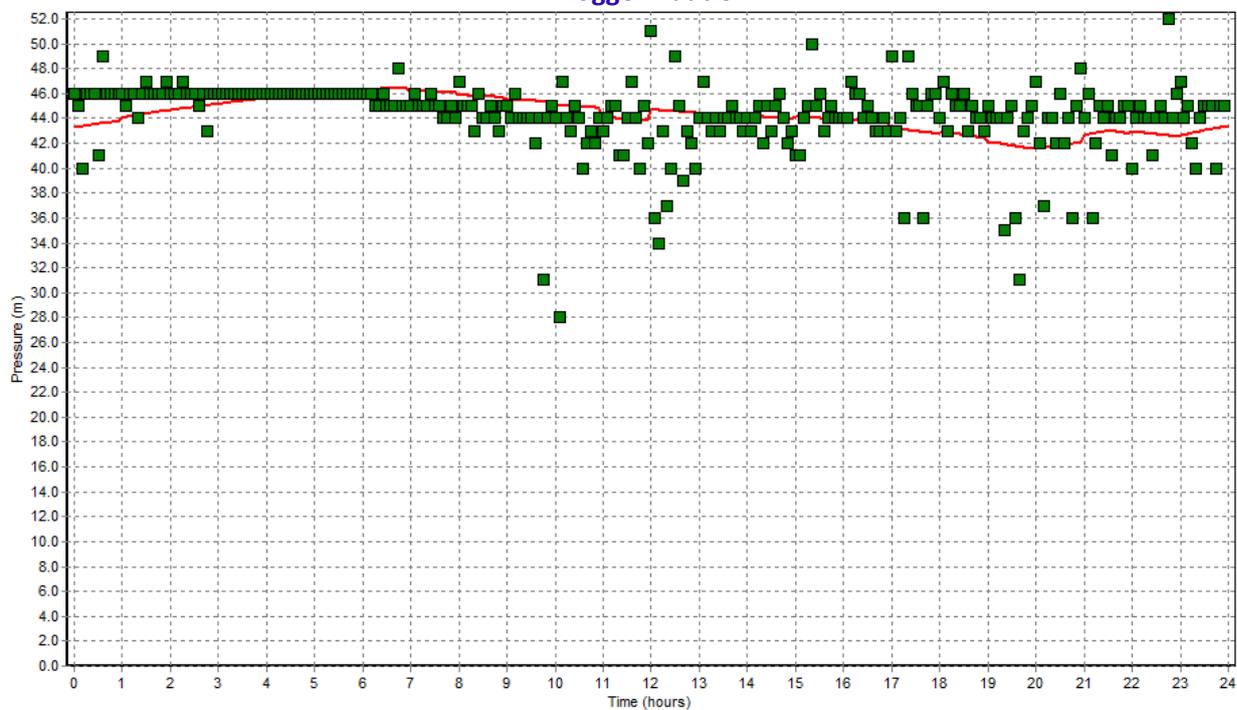


Annexe 5 : Exemple de courbes de calage de la pression (logger)

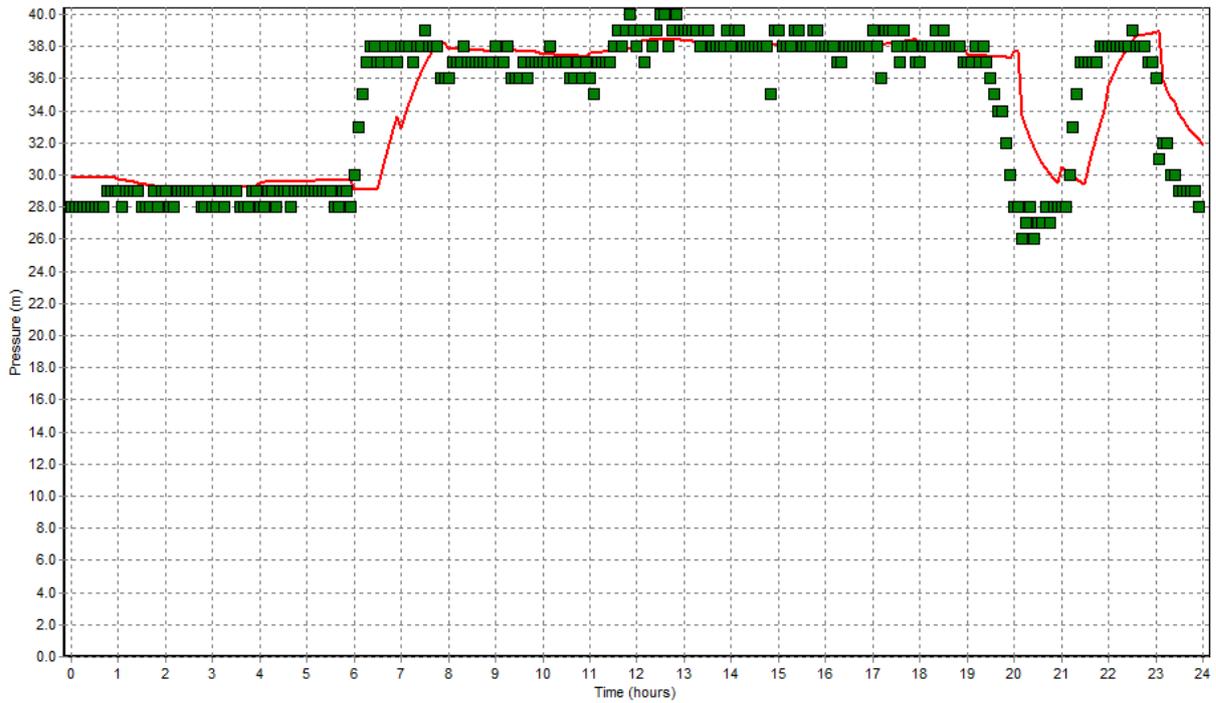
Logger Boué



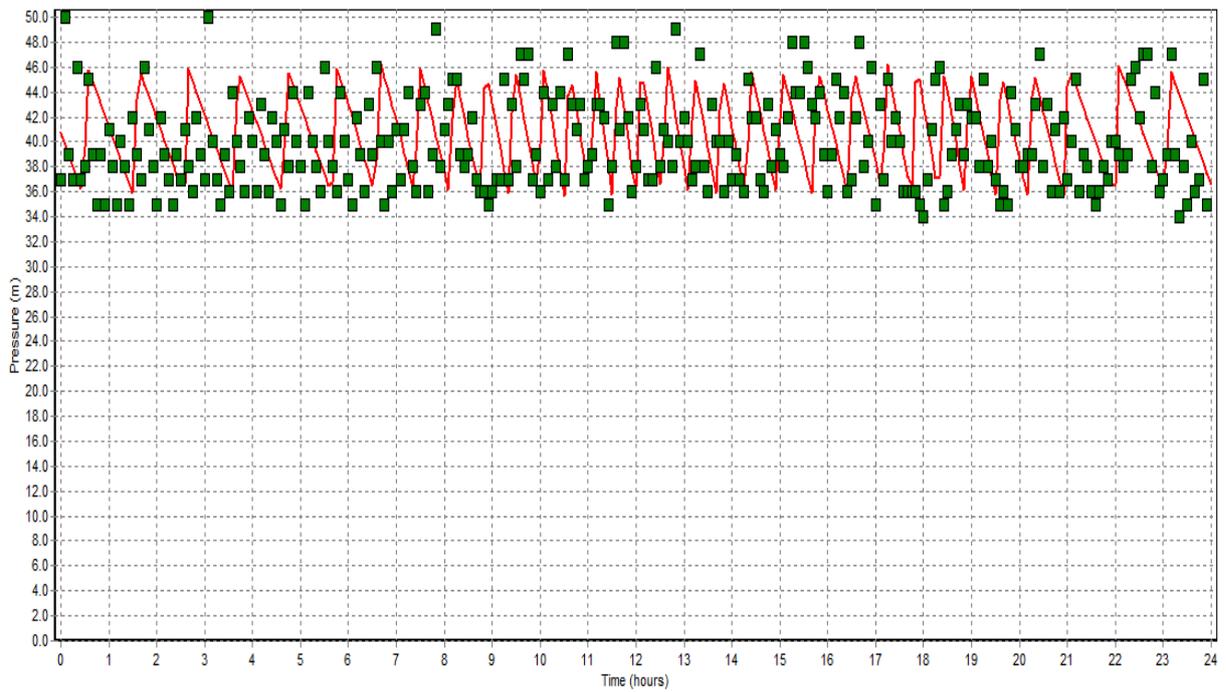
Logger Haution



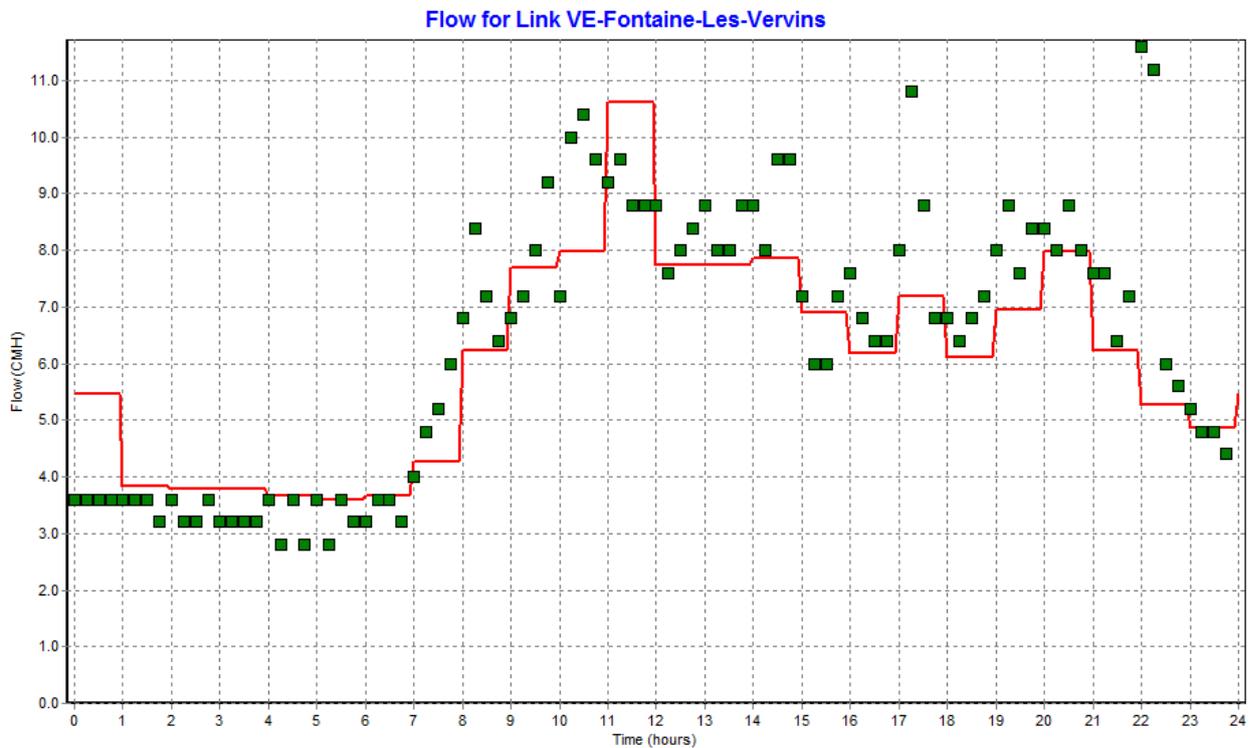
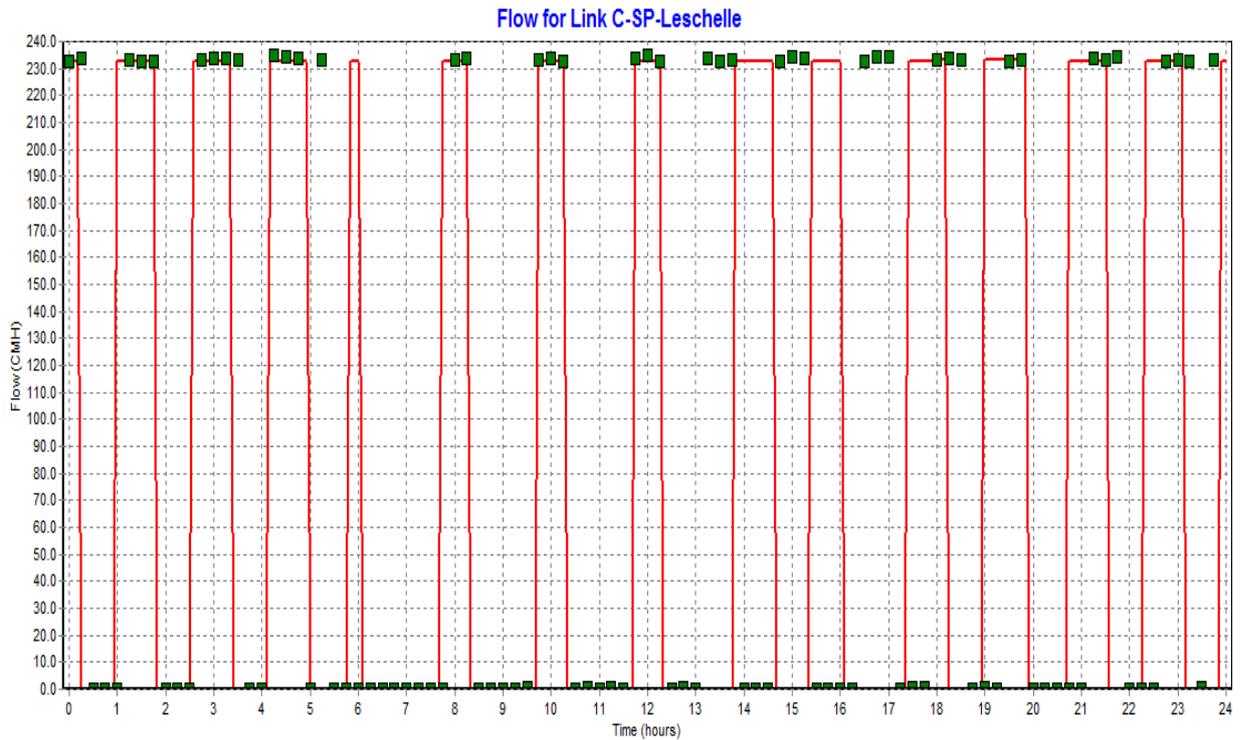
Logger Saint Algis



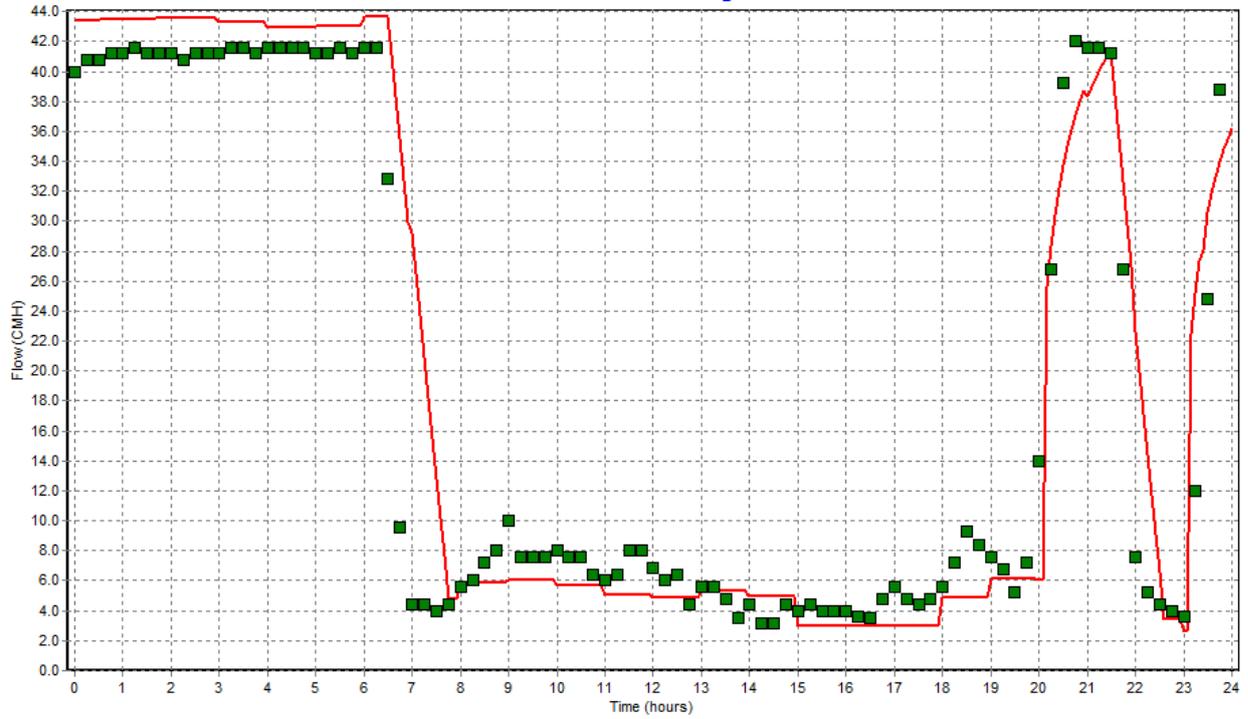
Logger Nouvion (Sortie surpression)



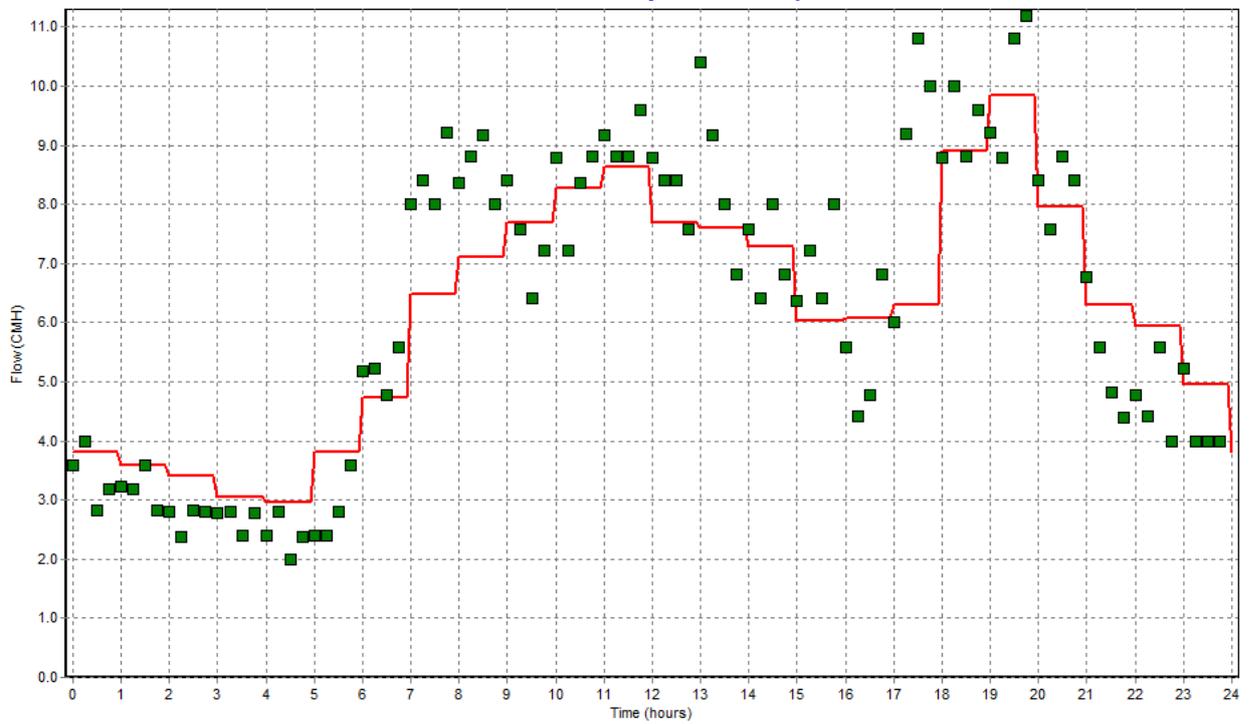
Annexe 6 : Exemple de courbes de calage des débits



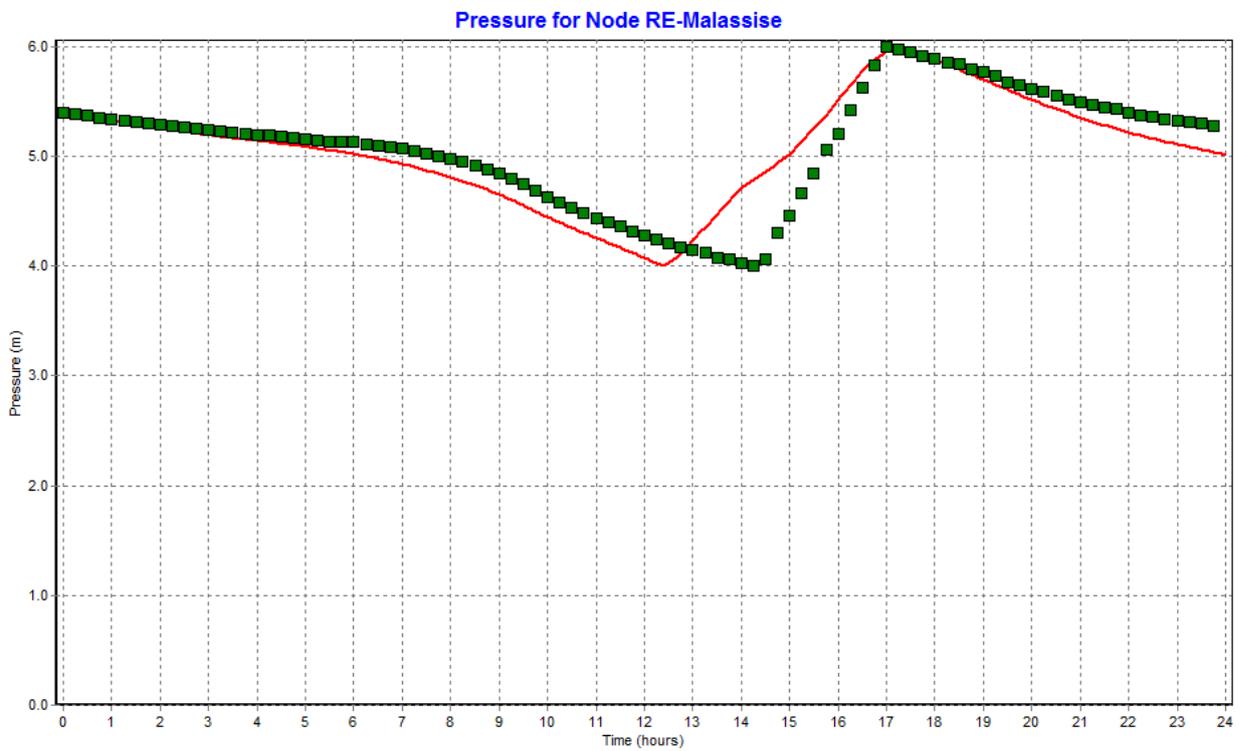
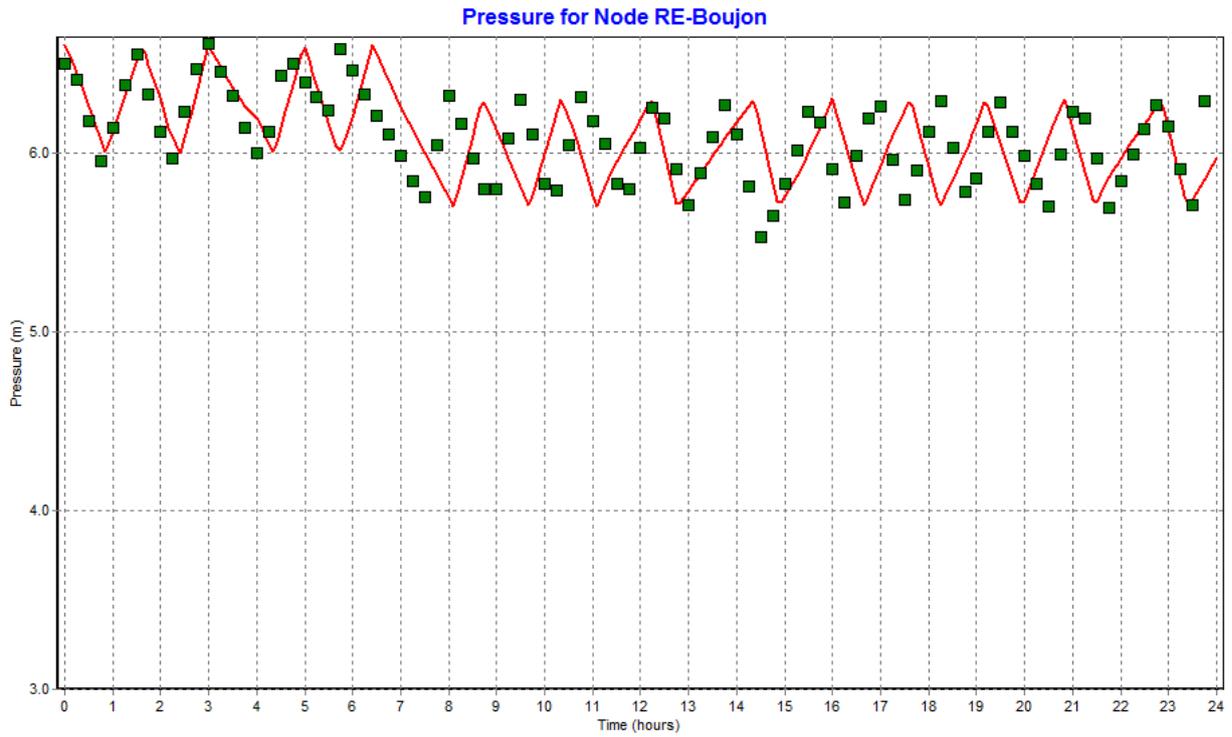
Flow for Link CS-St-Algis



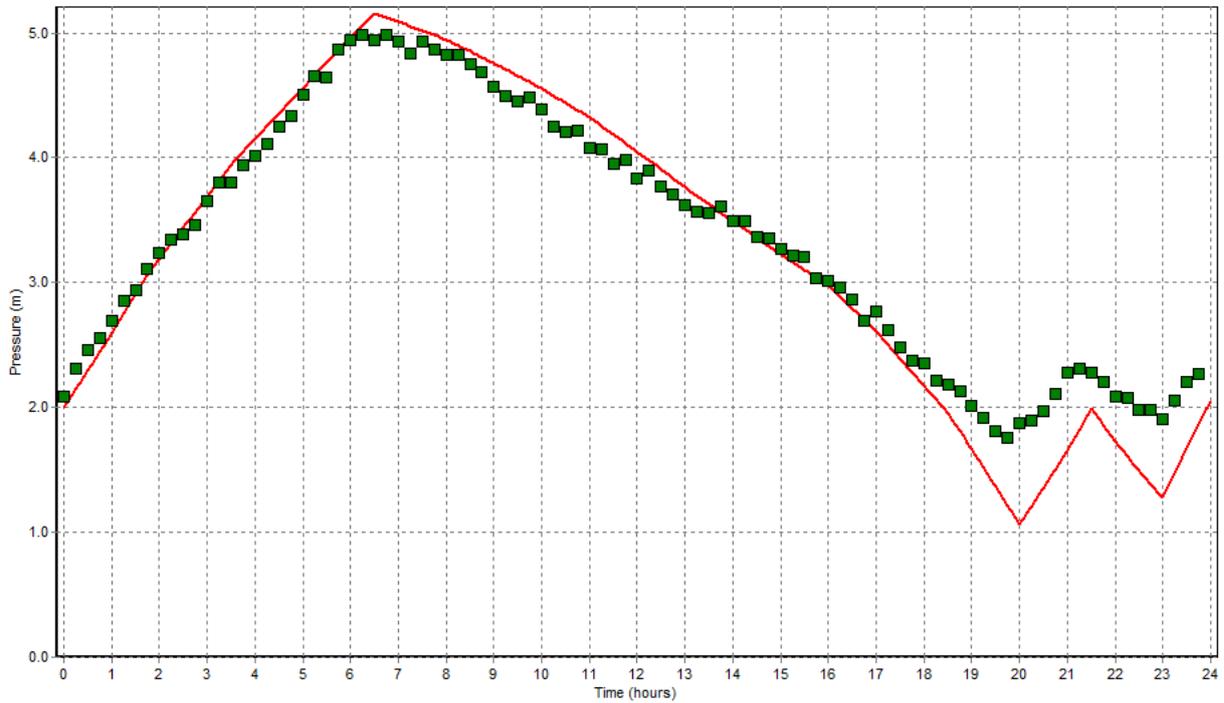
Flow for Link CS-Haie-Payenne-vers-Papleux



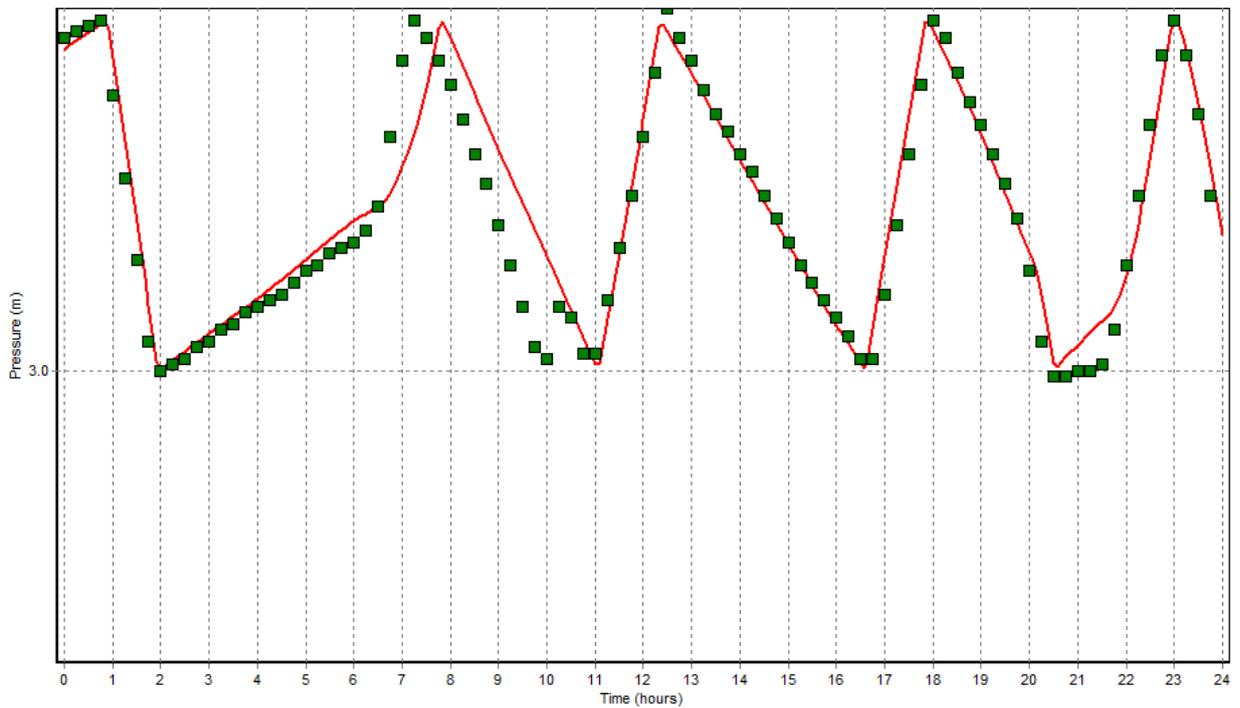
Annexe 7 : Exemple de courbes de marnage de réservoir



Pressure for Node RE-Solmont

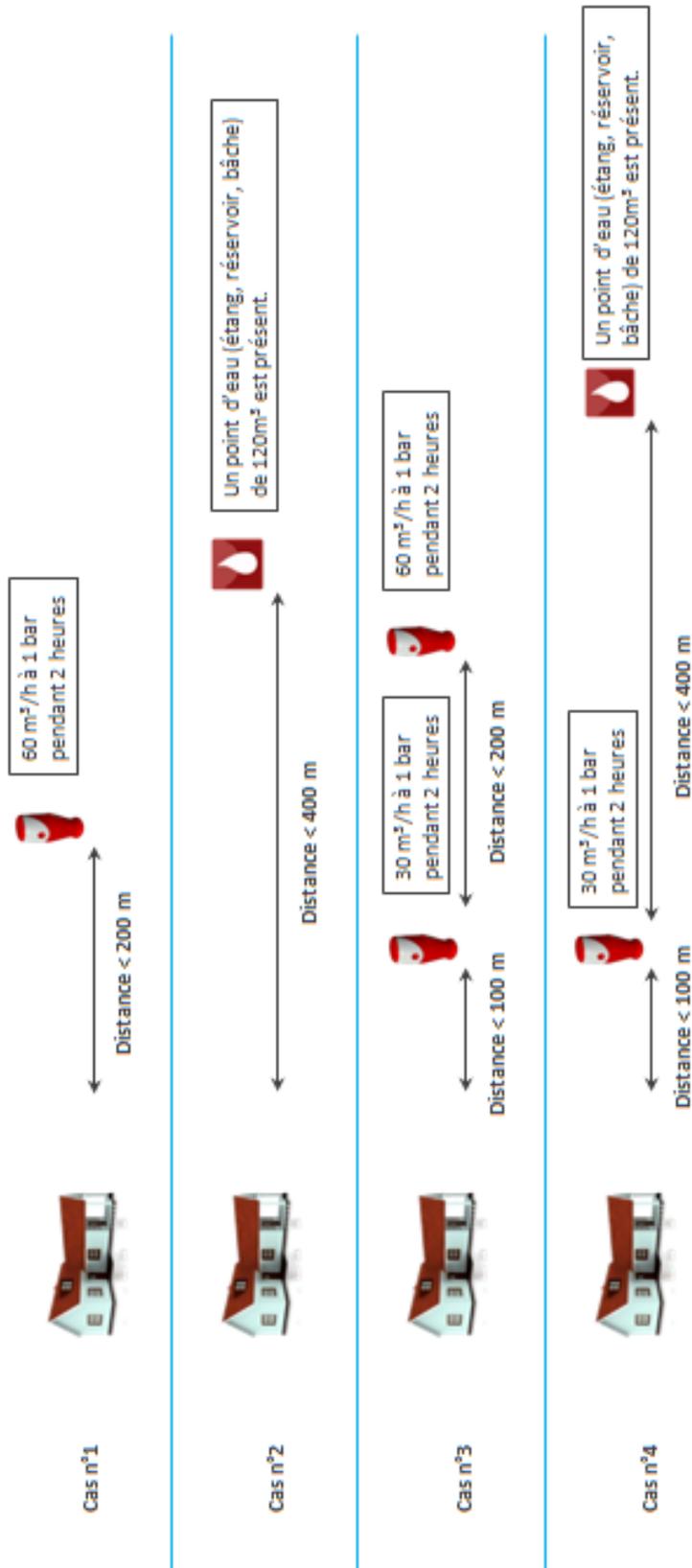


Pressure for Node BA-Erloy





Annexe 9 : Cadre réglementaire selon la circulaire de 1951



Annexe 10 : Fiche explicative de vérification des hydrants

## ITM 03B VERIFICATION DES PERFORMANCES HYDRAULIQUES DES HYDRANTS



**DEFINITION :** Les hydrants sont de 2 types : *Poteaux Incendie (PI)* et *Bouches Incendie (BI)*

Maintenance à réaliser au moins **1 fois par an hors périodes de gel** (tous les 6 mois pour certains hydrants identifiés).



Certain SDIS\* ont passé la fréquence de contrôle Débit/Pression (Q/P) à **1 fois tous les 3 ans** sauf si changement majeur sur le réseau AEP (anticipation de l'évolution prochaine de la réglementation :



La fréquence est donc à adapter selon les exigences du SDIS local (1 f/an si pas de consignes spécifiques)

\*Service Départemental d'Incendie et de Secours

### I. PHASE PREPARATOIRE

**NB :** Avant de manœuvrer l'appareil, identifier la marque et le modèle afin de respecter les consignes techniques particulières et modes opératoires du fabricant.

- Préparer les plans de cartographie de la zone avec le repérage de tous les poteaux et bouches d'incendie
- Préparer les matériels et équipements nécessaires

						
Clé pour PI	Pèse bouche	Tuyau d'évacuation	2 clés tricoises	Détecteur de métaux	Clé de barrage	Coude pour BI

■ **Prévenir :**

- En externe : les pompiers et les services municipaux
- En interne : le service exploitation et le CPO (relation clientèle)
- Prévenir votre chef d'intervention pour préciser la configuration du réseau, les recommandations ainsi que le programme de purge à réaliser



Avant toutes interventions, respecter les mesures de sécurité de la **Consigne N°16** « signalisations »

## II. VERIFICATIONS DES PERFORMANCES HYDRAULIQUES

Pour effectuer ces vérifications, les dispositions suivantes doivent être prises :

- La vidange doit se situer en dehors de toute zone inondable et l'extrémité du dispositif de mesure doit comporter une **rupture de charge (brise jet)** avant déversement
- L'ensemble de réception des eaux pour les essais et/ou la vidange doit être capable d'absorber la totalité du débit à évacuer.

Il faut mesurer :

- La pression lorsque le **débit requis** est atteint

Diamètre nominal	A pression résiduel de 1 bar
80 mm	30 m <sup>3</sup> /h
100 mm	60 m <sup>3</sup> /h
150 mm	120 m <sup>3</sup> /h

**NB :** La mesure doit être effectuée dans les conditions usuelles d'alimentation de l'hydrant. Le pèse bouche doit faire l'objet d'un étalonnage régulier (1fois par an) par un organisme agréé et/ou accrédité

### a. Opération de mise en place du matériel après balisage du chantier

1. Avant manipulation d'un PI s'assurer qu'il n'est pas sous pression en réalisant les opérations suivantes :
  - a. Manœuvrer le volant afin de s'assurer que le PI est fermé (sens des aiguilles d'une montre)
  - b. Actionner le purgeur (au centre des bouchons latéraux) et s'assurer que l'eau ne s'en écoule pas



2. **En se plaçant derrière le PI ou sur le coté**, dévisser le bouchon DN 100 avec précaution
3. Mettre en place le pèse bouche sur l'hydrant (utiliser le coude dans le cas de la BI)
4. Utiliser le tuyau d'évacuation pour diriger le flux vers l'exutoire préalablement choisi
5. Mettre en place le système de rupture de charge (brise jet) au niveau du tuyau d'évacuation
6. Ouvrir la vannette aval du pèse bouche
7. Ouvrir légèrement l'hydrant et lentement pour une première purge d'air et de dépôts éventuels
8. Fermer la vannette du pèse bouche



**Vous êtes prêts à réaliser l'essai de l'hydrant**

### b. Essai de l'hydrant

- Ouvrir complètement l'hydrant avec régularité pour éviter les coups de bélier
- Relever la pression statique
- Ouvrir la progressivement la vannette jusqu'au débit correspondant au diamètre nominal, en surveillant attentivement les variations de débit et de pression
- Toutes les mesures de débits se feront à débit et/ou pression stabilisés.

- Suivant les caractéristiques du réseau, **trois cas de figures** peuvent se présenter :

**1 Débit réglementaire atteint sous une pression résiduelle > 1 bar**

- Noter la **pression** au débit réglementaire
- Ne pas poursuivre l'essai pour abaisser la pression sous peine de **perturber le réseau** par un sur-débit

**2 Débit réglementaire atteint sous une pression résiduelle < 1 bar**

- Noter la **pression** au débit réglementaire
- Ne pas poursuivre l'essai pour éviter de dépasser le débit réglementaire et **perturber le réseau** par un sur-débit
- Si il y a une demande spécifique du SDIS, mesurer le débit nécessaire pour obtenir une pression de **1 bar** (ce débit est inférieur au débit réglementaire)

**3 Non atteinte du Débit réglementaire au maximum de l'ouverture**

- Noter la **pression et le débit** maximum obtenus

**c. Opérations de clôture de l'essai**

1. Laisser couler quelques instants avant de commencer la fermeture de l'alimentation du poteau d'incendie, pour évacuer les éventuels dépôts cumulés et décollés lors des essais
2. Refermer l'alimentation du PI au niveau du carré de manœuvre en respectant une pause de 30 secondes par tour effectué, puis une minute par tour, lorsque le débit devient faible, tout en vérifiant les variations de pression
3. Démonter la vannette et le débitmètre du raccord symétrique
4. Vérifier que la purge automatique du PI fonctionne et que le mécanisme de fermeture est étanche

**III. COMPTE-RENDU D'INTERVENTION**

Les essais de débit et de pression seront consignés sur une fiche de maintenance faisant office de compte-rendu ([IS 16 22](#)) ou par MOBITECH.

Les [IS 16 23](#) et [IS 16 24](#) constituent, pour une exploitation et/ou une commune donnée, des exemples de planification des interventions sur PI / BI et de synthèse de la couverture vis-à-vis de la défense incendie.



**ENGEES – ECOLE NATIONALE DU GENIE DE L'EAU ET DE  
L'ENVIRONNEMENT DE STRASBOURG**

1 quai Koch 67070 Strasbourg



**MEMOIRE DE FIN D'ETUDES**

Diplôme d'ingénieur

Auteur :

Julien PINTEAUX

Année :

2014

***Modélisation du réseau d'eau potable du Syndicat des Eaux du Nord de  
l'Aisne et études annexes***

Nb pages : 74

Nb annexes : 11

Nb référence bibliographique : 11

**SAUR**

36 rue Jean Monnet 02120 Guise



Référent : Mr Olivier GALLOY

Tuteur : Mme Christelle Jullien

Résumé :

La modélisation du réseau d'eau potable du Syndicat des Eaux du Nord de l'Aisne s'est déroulée en plusieurs étapes. Une importante collecte de données a été réalisée afin de pouvoir créer le modèle. Puis une campagne de mesure sur le terrain a permis le calage de celui-ci.

Le modèle créé a été utilisé pour réaliser un diagnostic du réseau et préparer des pré-études. Plus récemment, il a servi de base à la création du modèle qui sera utilisé dans le cadre de l'étude de défense incendie.

Mots-clés : modélisation – gestion – aménagement – sécurisation – Epanet – Aquasoft – réseau