



G2C Ingénierie

9 rue Paul Langevin
Parc d'Activités Saint Jacques II
54320 Maxéville
Tél : 03 83 96 14 57
Fax : 03 83 95 15 74

COMMUNE DE TREMONZEY
DEPARTEMENT DES VOSGES (88)

**DIAGNOSTIC DU SYSTEME D'ALIMENTATION
EN EAU POTABLE**

PHASE 2

ANALYSE ET MODELISATION DU RESEAU DE DISTRIBUTION

Rapport final - Novembre 2017

IDENTIFICATION DU DOCUMENT

Elément		
Titre du document	Rapport de Phase 2	
Nom du fichier	16102 - TREMONZEY - PHASE 2 - V.3.0.DOCX	
Version	17/11/2017 14:55:00	
Rédacteur	Ingénieur d'études	BAC
Vérificateur	Chef de projet	NBR
	Chef d'agence	WLA

Version	Désignation	Date
Version 1.0	Première diffusion	29/09/2017
Version 2.0	Intégration des remarques de l'ATD88	16/11/2017
Version 3.0	Validation lors de la réunion du 16/11/17	20/11/2017

SOMMAIRE

1. INTRODUCTION ET OBJECTIFS DE L'ETUDE DIAGNOSTIQUE	7
2. PRESENTATION GENERALE DE LA COMMUNE	8
3. MODIFICATIONS APORTEES SUR LE RESEAU.....	9
3.1. Mise en place de nouveaux compteurs	9
3.2. Remplacement de vannes	10
3.2.1. Nature des travaux.....	10
3.2.2. Constats réalisés lors des travaux	11
3.3. Etat de la sectorisation	12
4. CAMPAGNE DE MESURES HYDRAULIQUES.....	13
4.1. Débits mis en distribution	13
4.1.1. Principe	13
4.1.2. Déroulement de la campagne de mesures	14
4.1.3. Implantation des points de mesure.....	14
4.1.4. Exploitation des résultats	16
4.1.5. Synthèse des résultats de débits	25
4.2. Pressions de fonctionnement.....	26
4.2.1. Principe	26
4.2.2. Déroulement de la campagne de mesures	27
4.2.3. Implantation des points de mesure.....	27
4.2.4. Exploitation des résultats	28
4.2.5. Synthèse des résultats de pression.....	35
4.3. Marnage des réservoirs.....	36
4.3.1. Principe	36
4.3.2. Déroulement de la campagne de mesures	36
4.3.3. Exploitation des résultats	37
4.3.4. Synthèse des résultats de marnage	40
4.4. Poteaux incendie	41
4.4.1. Principe	41
4.4.2. Déroulement de la campagne de mesures	42
4.4.3. Exploitation des résultats	42
5. MISE EN COHERENCE DES DONNEES	45
5.1. Débits de distribution	45
5.2. Marnages et débits de distribution.....	46
5.2.1. Synthèse de la mise en cohérence.....	46
6. CAMPAGNE DE SECTORISATION ET DE RECHERCHES DE FUTES	47
6.1. Principe.....	47
6.2. Déroulement de la nuit.....	47
6.3. Exploitations des résultats	48

6.3.1. Secteur des Trémeurs	48
6.3.2. Secteur de Fontenoy	49
6.3.3. Secteur du Haut du Mont	50
6.3.4. Secteur de la Place du Centre	51
6.3.5. Secteur des Jus	52
6.3.6. Synthèse de la sectorisation nocturne	53
7. CONCLUSION DE LA CAMPAGNE DE MESURES	54
8. MODELISATION HYDRAULIQUE DES RESEAUX	56
8.1. Objectifs de la modélisation	56
8.2. Construction du modèle	56
8.2.1. Logiciel de modélisation utilisé	56
8.2.2. Ossature du modèle	57
8.2.3. Attribution de l'altitude des nœuds	58
8.2.4. Etude des consommations	60
8.3. Calage du modèle	65
8.3.1. Choix de la journée de calage	65
8.3.2. Etapes de calage	65
8.3.3. Bilan du calage	75
9. ANALYSE DU FONCTIONNEMENT ACTUEL DES RESEAUX	77
9.1. Principe de l'analyse en mode dynamique	77
9.2. Vitesses d'écoulement	77
9.2.1. Situation actuelle – Période moyenne	78
9.2.2. Situation actuelle – Période de pointe	79
9.2.3. Bilan de l'analyse des vitesses d'écoulement	80
9.3. Pressions de distribution	80
9.3.1. Pressions minimales et maximales	80
9.3.2. Amplitudes de pressions	84
9.3.3. Bilan de l'analyse des pressions	84
9.4. Age de l'eau dans les réseaux	85
9.5. Problématique du Chlorure de Vinyle Monomère (CVM)	87
9.6. Bilan de l'analyse du fonctionnement en situation actuelle	88
10. ANALYSE DU FONCTIONNEMENT FUTUR DES RESEAUX	89
10.1. Rappel des hypothèses	89
10.1.1. Accroissement de population	89
10.1.2. Evolution des activités	89
10.1.3. Evolution des consommations	89
10.1.4. Evolution du coefficient de pointe	89
10.2. Modifications apportées au modèle	90
10.2.1. Ajustement des fuites	90
10.2.2. Ajustement des consommations domestiques	90

10.3. Analyse du fonctionnement en situation future.....	90
10.4. Bilan de l'analyse du fonctionnement en situation future.....	91
11. CONCLUSION DE PHASE 2 ET SUITES DE L'ETUDE	92
12. ANNEXES	94
Annexe 1 : Fiches descriptives des poteaux incendie.....	94

TABLE DES ILLUSTRATIONS

<i>Figure 1 : Localisation de la zone d'étude.....</i>	<i>8</i>
<i>Figure 2 : Vannes remplacées sur la commune.....</i>	<i>10</i>
<i>Figure 3 : Photographie d'une section de conduite – Route de Fontenoy.</i>	<i>11</i>
<i>Figure 4 : Sectorisation des réseaux communaux.....</i>	<i>12</i>
<i>Figure 5 : Programmation et relève du logger.</i>	<i>13</i>
<i>Figure 6 : Logger et tête émettrice.</i>	<i>13</i>
<i>Figure 7 : Implantation des mesures de débits et sous-secteurs associés – Les Trémeurs.....</i>	<i>14</i>
<i>Figure 8 : Implantation des mesures de débits et sous-secteurs associés - Commune.....</i>	<i>15</i>
<i>Figure 9 : Débits mesurés à C_Trémeurs.</i>	<i>16</i>
<i>Figure 10 : Courbe de modulation du secteur des Trémeurs.....</i>	<i>17</i>
<i>Figure 11 : Débits mesurés à C_Centre.</i>	<i>18</i>
<i>Figure 12 : Courbe de modulation du secteur de la Place du Centre.</i>	<i>19</i>
<i>Figure 13 : Débits mesurés à C_Fontenoy.</i>	<i>20</i>
<i>Figure 14 : Courbe de modulation du secteur de la Route de Fontenoy.....</i>	<i>21</i>
<i>Figure 15 : Débits mesurés à C_Jus.....</i>	<i>22</i>
<i>Figure 16 : Courbe de modulation du secteur des Jus.</i>	<i>23</i>
<i>Figure 17 : Débits mesurés à C_Haut_Mont.</i>	<i>24</i>
<i>Figure 18 : Synthèse des résultats – Mesures de débits.....</i>	<i>25</i>
<i>Figure 19 : Bouchon pression et enregistreur de P5.....</i>	<i>26</i>
<i>Figure 20 : Bouchon pression et enregistreur de P2.....</i>	<i>26</i>
<i>Figure 21 : Implantation des points de mesures de pression.....</i>	<i>27</i>
<i>Figure 22 : Pressions mesurées à P1.....</i>	<i>28</i>
<i>Figure 23 : Pressions mesurées à P2.....</i>	<i>29</i>
<i>Figure 24 : Pressions mesurées à P3.....</i>	<i>30</i>
<i>Figure 25 : Pressions mesurées à P4.....</i>	<i>31</i>
<i>Figure 26 : Pressions mesurées à P6.....</i>	<i>32</i>
<i>Figure 27 : Pressions mesurées à P7.....</i>	<i>33</i>
<i>Figure 28 : Pressions mesurées à P8.....</i>	<i>34</i>
<i>Figure 29 : Synthèse de résultats - Mesures de pression.</i>	<i>35</i>
<i>Figure 30 : Mesures de marnage – Réservoir Haut du Mont.</i>	<i>36</i>
<i>Figure 31 : Mesures de marnage – Réservoir Village.....</i>	<i>36</i>
<i>Figure 32 : Niveau d'eau au sein du RV Haut du Mont.....</i>	<i>37</i>
<i>Figure 33 : Marnage « type » du RV Haut du Mont.....</i>	<i>38</i>
<i>Figure 34 : Niveau d'eau au sein du RV Village.....</i>	<i>39</i>
<i>Figure 35 : Marnage « type » du RV Village.....</i>	<i>40</i>
<i>Figure 36 : Mise en place du testeur incendie.....</i>	<i>41</i>
<i>Figure 37 : Mesures sur poteaux incendie – Les Trémeurs.</i>	<i>42</i>
<i>Figure 38 : Mesures sur poteaux incendie – Reste de la commune.....</i>	<i>43</i>
<i>Figure 39 : Superposition des débits de distribution.....</i>	<i>45</i>
<i>Figure 40 : Impact des consommations sur le marnage – Réservoir « Village ».</i>	<i>46</i>
<i>Figure 41 : Résultats de la sectorisation nocturne – Les Trémeurs.....</i>	<i>48</i>
<i>Figure 42 : Résultats de la sectorisation nocturne – Route de Fontenoy.....</i>	<i>49</i>
<i>Figure 43 : Résultats de la sectorisation nocturne – Le Haut du Mont.....</i>	<i>50</i>
<i>Figure 44 : Résultats de la sectorisation nocturne – Place du Centre.....</i>	<i>51</i>
<i>Figure 45 : Résultats de la sectorisation nocturne – Les Jus.....</i>	<i>52</i>
<i>Figure 46 : Synthèse globale des résultats.....</i>	<i>55</i>
<i>Figure 47 : Ossature du modèle mathématique.....</i>	<i>57</i>
<i>Figure 48 : Données altimétriques sur le territoire d'étude.....</i>	<i>58</i>
<i>Figure 49 : Construction du MNT sur le territoire d'étude.....</i>	<i>59</i>

Figure 50 : Répartition spatiale des consommations.....	60
Figure 51 : Secteurs de distribution et modulations des consommations.	61
Figure 52 : Débits mesurés à C_Centre – Totalité de la campagne de mesures.	62
Figure 53 : Débits mesurés à C_Centre – Jour de calage.	62
Figure 54 : Principe de reconstitution des débits domestiques.....	63
Figure 55 : Débits mesurés à C_Centre – Courbe de modulation.	64
Figure 56 : Calage en débit du secteur du Centre.	67
Figure 57 : Calage en débit du secteur des Trémeurs.	67
Figure 58 : Calage du marnage du réservoir Haut du Mont.	68
Figure 59 : Calage du marnage du réservoir « Village ».	69
Figure 60 : Calage de pression – P1.	70
Figure 61 : Calage de pression – P2.	71
Figure 62 : Calage de pression – P3.	71
Figure 63 : Calage de pression – P4.	72
Figure 64 : Calage de pression – P6.	73
Figure 65 : Calage de pression – P7.	74
Figure 66 : Calage de pression – P8.	74
Figure 67 : Vitesses d'écoulement au sein des conduites – Période actuelle moyenne.	78
Figure 68 : Vitesses d'écoulement au sein des conduites – Période actuelle de pointe.	79
Figure 69 : Pressions de distribution – Configuration actuelle.	81
Figure 70 : Diagnostic poussé des pressions aux alentours des réservoirs.	82
Figure 71 : Diagnostic poussé des pressions au départ vers les Trémeurs.	83
Figure 72 : Temps de séjour des eaux – Configuration actuelle.	86
Figure 73 : Tronçons concernés par la problématique de relargage CVM.	87

TABLE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Caractéristiques des compteurs supplémentaires.	9
Tableau 2 : Synthèse de résultats – Mesures de débits.	25
Tableau 3 : Bilan des tests sur la défense incendie.	44
Tableau 4 : Mise en cohérence des volumes de fuites.	53
Tableau 5 : Résultats de la sectorisation nocturne des réseaux.	53
Tableau 6 : Validation du calage en fonction des différents critères.	66
Tableau 7 : Validation du calage de Q_Centre.	67
Tableau 8 : Validation du calage de Q_Trémeurs.	68
Tableau 9 : Validation du calage de N_Haut_Mont.	68
Tableau 10 : Validation du calage de N_Village.	69
Tableau 11 : Validation du calage de P1.....	70
Tableau 12 : Validation du calage de P2.....	71
Tableau 13 : Validation du calage de P3.....	71
Tableau 14 : Validation du calage de P4.....	72
Tableau 15 : Validation du calage de P6.....	73
Tableau 16 : Validation du calage de P7.....	74
Tableau 17 : Validation du calage de P8.....	74
Tableau 18 : Bilan du calage.	76
Tableau 19 : Vitesses d'écoulement au sein des conduites – Période actuelle moyenne.	78
Tableau 20 : Vitesses d'écoulement au sein des conduites – Période actuelle de pointe.	79
Tableau 21 : Pressions maximales – Situation actuelle.	80
Tableau 22 : Pressions minimales – Situation actuelle.	80
Tableau 23 : Amplitudes de pression sur une journée – Situation actuelle.	84
Tableau 24 : Temps de séjour des eaux – Situation actuelle.	85
Tableau 25 : Bilan du diagnostic actuel.	88
Tableau 26 : Bilan du diagnostic futur.	91

1. INTRODUCTION ET OBJECTIFS DE L'ETUDE DIAGNOSTIQUE

La réglementation en vigueur impose aux collectivités territoriales compétentes en service d'eau potable de se conformer à plusieurs textes que sont :

- Le **Décret n° 2012-97 du 27 Janvier 2012** relatif à la définition d'un descriptif détaillé des réseaux des services publics de l'eau et d'un plan d'actions pour la réduction des pertes d'eau du réseau de distribution d'eau potable.
- Le **Décret et Arrêté du 2 Mai 2007** relatif aux rapports annuels sur le prix et la qualité des services publics d'eau potable et d'assainissement : indicateurs de performance, de connaissance patrimoniale...
- **L'article 161 de la Loi Grenelle II** modifiant l'article L.2224-7-1 du Code général des Collectivités territoriales qui veut désormais que les communes exerçant la compétence de distribution d'eau potable mettent en place avant le 1^{er} Janvier 2014 un Schéma de Distribution d'eau potable déterminant les zones desservies par le réseau de distribution et un descriptif détaillé des ouvrages de transport et de distribution d'eau potable.
- La **note DGS/EA4/2012/366** concernant un inventaire spécifique des canalisations en PVC posées avant 1980 avec corrélation des temps de séjours de l'eau.
- Le **Décret n°95-363** du 5 avril 1995 qui interdit la pose des canalisations en Plomb (article 28).

L'objet de la présente étude porte sur la réalisation d'un diagnostic et d'un inventaire détaillé du réseau de la commune de Trémonzey, afin que celle-ci puisse **disposer d'un outil de programmation et de gestion lui permettant d'avoir une vision globale et actualisée de son service d'alimentation en eau potable.**

En vue de faire apparaître les insuffisances de fonctionnement et proposer les mesures adéquates à retrouver et à maintenir une exploitation optimale, le diagnostic du réseau communal, qui fonctionne en régie communale directe, doit porter sur :

- La typologie du réseau et l'inventaire du patrimoine existant ;
- L'analyse de la production, de la consommation et de la qualité de l'eau distribuée ;
- L'évaluation du fonctionnement hydraulique du réseau dans la situation actuelle et en situation future (campagne de mesure et modélisation) ;
- Les risques d'interruption de l'alimentation en eau potable vis-à-vis des pollutions accidentelles, de la vulnérabilité des systèmes de production et d'adduction et de la vulnérabilité des ressources ;
- L'analyse de la gestion quotidienne du service.

Cette étude se déroulera suivant trois phases différentes, pour un délai d'exécution global de six mois :

- Phase 1 : études préliminaires et cartographie du réseau ;
- Phase 2 : analyse et modélisation du réseau de distribution ;
- Phase 3 : proposition d'actions et d'un programme de travaux hiérarchisé.

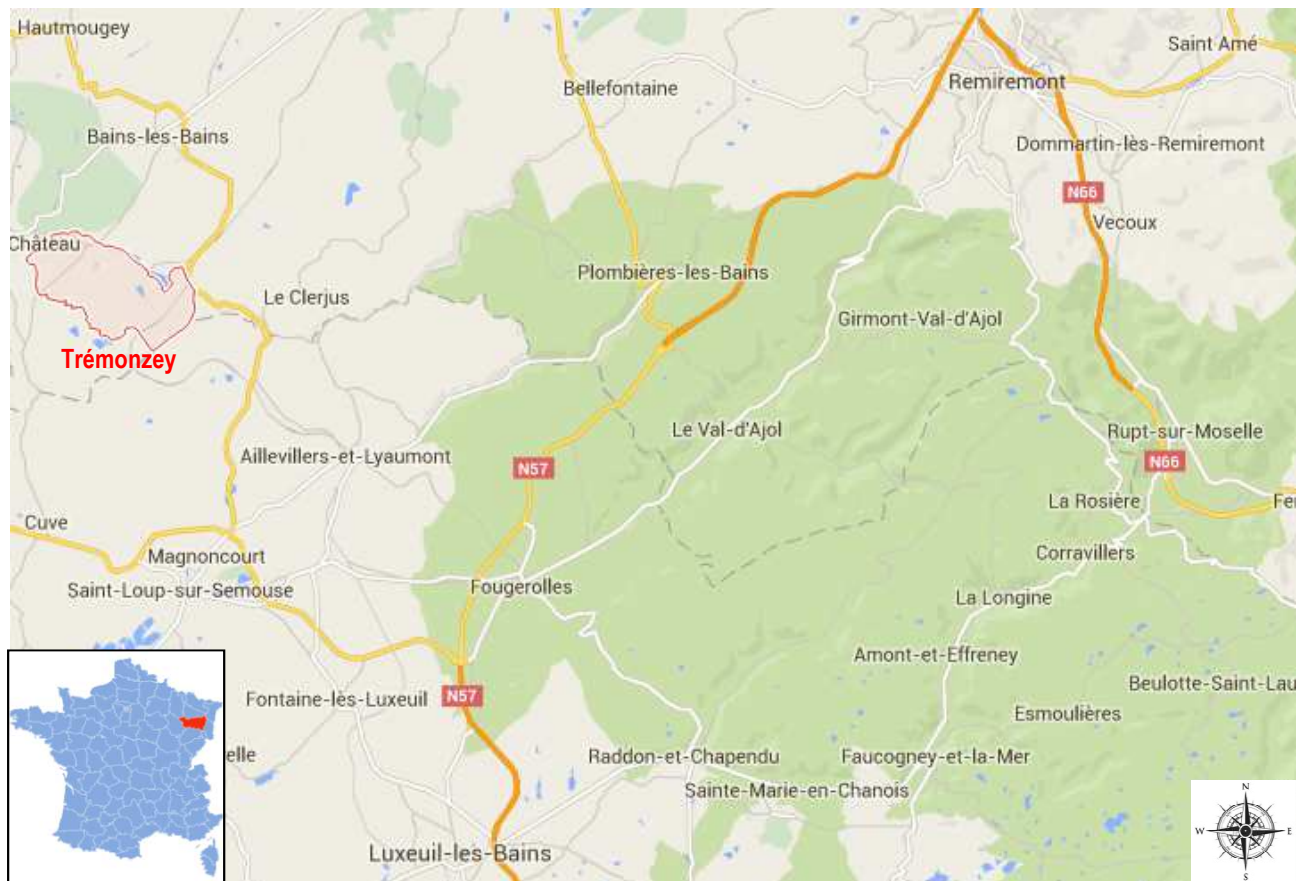
L'objectif principal, outre que le maître d'ouvrage souhaite disposer d'une très bonne connaissance de son réseau d'eau potable, est d'améliorer le rendement du réseau et de mettre en place un outil de simulation.

Le présent document constitue le Rapport de Phase 2 de l'étude, et présente donc :

1. La campagne de mesures hydrauliques réalisées sur les réseaux ;
2. La construction et le calage d'un outil de modélisation ;
3. L'analyse du fonctionnement actuel des réseaux.

2. PRESENTATION GENERALE DE LA COMMUNE

La commune de Trémonzey est située dans le département des Vosges (88), en limite de frontière avec la Haute-Saône, à environ 35 km à l'Ouest de Remiremont et 30 km au Nord de Luxeuil-les-Bains.



Source : Google Maps, G2C ingénierie, 2017 – Echelle non normalisée.

Figure 1 : Localisation de la zone d'étude.

La commune de Trémonzey est autonome en termes d'approvisionnement, de production, de traitement, de transfert et distribution d'eau potable. L'exploitation de son réseau et de ses ouvrages s'effectue en régie communale directe et revient donc aux compétences des services techniques de la commune.

Le patrimoine de la commune est constitué d'environ 10,5 km de réseaux, deux réservoirs, deux surpresseurs et d'une station de traitement. Deux sources permettent l'approvisionnement en eau de la station de production et la distribution d'eau potable aux habitants.

3. MODIFICATIONS APPORTEES SUR LE RESEAU

La phase 1 de l'étude avait abouti à la préconisation d'améliorations sur la sectorisation des réseaux de la commune. Les travaux réalisés par l'entreprise Houillon sont détaillés dans ce paragraphe.

3.1. Mise en place de nouveaux compteurs

Afin de faciliter la compréhension du fonctionnement des réseaux et la détection / recherche de fuites, l'implantation de **trois compteurs supplémentaires** avait été préconisée à l'issue de la phase 1.

La mise en place de ces compteurs supplémentaires **permet une sectorisation complète de la distribution sur la commune**, à savoir :

1. C_Gare : réseaux situés sous la Route de la Gare et la Route de Fontenoy ;
2. C_Centre : distribution vers la Place du Centre et la Rue de la Deuxième Jus ;
3. C_Jus : réseaux situés sous les Rues de la Basse et Haute Jus.

Ces trois compteurs supplémentaires, tous situés au sein de regards, ont les caractéristiques décrites dans le tableau suivant :

Nom	Comptage	Emplacement	Modèle	N° de série	Calibre	Année	Q nominal	Télégestion
Q_Fontenoy	Route de la Gare Route de Fontenoy	Regard	Elster H5000	J17NH702718Q	DN80	2017	160 m³/h	Non
Q_Centre	Place du Centre Rue de la Deuxième Jus	Regard	Schlumberger Woltex M	D14XH106753M	DN80	2014	40 m³/h	Non
Q_Jus	Rue de la Basse Jus Rue de la Haute Jus	Regard	Elster H4000	A17WG700618X	DN65	2017	63 m³/h	Non

Source : G2C Ingénierie, 2017.

Tableau 1 : Caractéristiques des compteurs supplémentaires.

La localisation de ces compteurs est reprise dans le bilan de sectorisation du §1.1.

Nota : la mise en place des compteurs C_Fontenoy et C_Centre permet la répartition des volumes précédemment mesurés par C_Village. La relève de ce compteur n'est donc plus nécessaire.

Les volumes transitant au sein de chacune des branches principales du réseau de distribution sont désormais quantifiables.

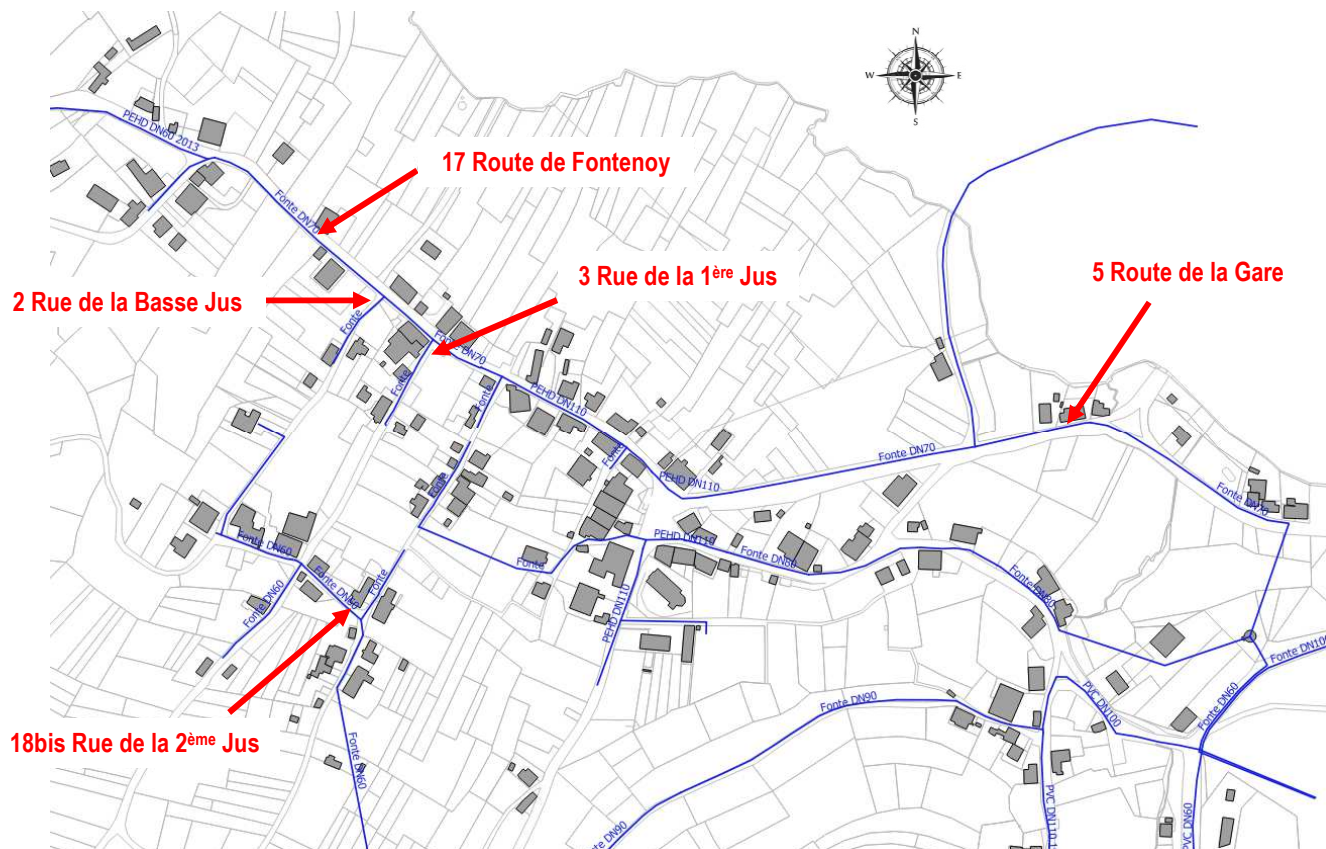
3.2. Remplacement de vannes

3.2.1. Nature des travaux

Afin de permettre une recherche de fuites efficace et d'obtenir des résultats significatifs, il est nécessaire que l'ensemble des vannes de sectorisation soient manœuvrables et étanches.

C'est pour cela qu'une campagne de test des vannes a été réalisée par le fontainier communal, M. Aurélien Remolato, dans le courant du mois de Septembre 2016 et que **cinq d'entre elles ont depuis été remplacées sur la commune.**

L'entreprise Houillon a donc procédé au remplacement des vannes suivantes :



Source : G2C Ingénierie, 2017 – Echelle non normalisée.

Figure 2 : Vannes remplacées sur la commune.

La répartition des vannes de sectionnement, et leur état, permettent maintenant la réalisation d'une campagne de recherche de fuites dans des conditions convenables.

3.2.2. Constats réalisés lors des travaux

Afin de mettre en œuvre les nouvelles vannes, certains tronçons ont été découpés, **ce qui a permis à l'entreprise Houillon d'observer l'état intérieur des canalisations** (non accessible sans essais destructifs).

Ainsi, il s'avère que les conduites situées sous la Route de Fontenoy sont très corrodées (dépôt de fer), ce qui confirme certaines plaintes d'abonnés se plaignant de manque de pression dans le secteur.

La photographie suivante présente une coupe réalisée sur la conduite de la Route de Fontenoy sur laquelle la section semble diminuée de moitié en raison de **la présente de corrosion interne** de la canalisation :



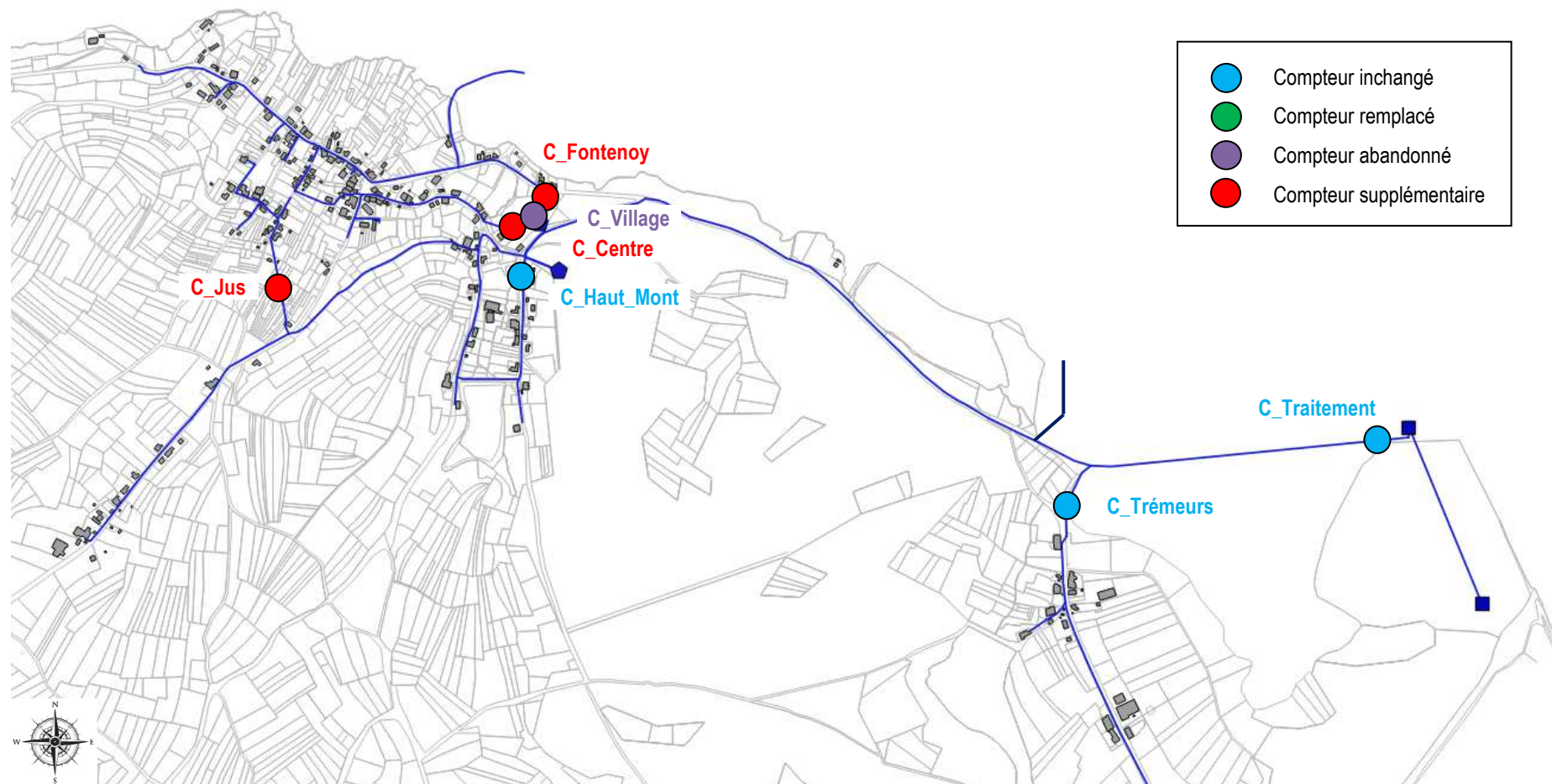
Source : Entreprise Houillon, 2017.

Figure 3 : Photographie d'une section de conduite – Route de Fontenoy.

Cette corrosion accrue des canalisations sera à prendre en compte lors de la modélisation du secteur de la Route de Fontenoy.

3.3. Etat de la sectorisation

Ainsi, suite aux modifications décrites plus tôt, l'état de la sectorisation des réseaux lors de la campagne de mesures hydrauliques est la suivante :



Source : G2C Ingénierie, 2017 – Echelle non normalisée.

Figure 4 : Sectorisation des réseaux communaux.

La codification des différents points de comptage qui apparaît sur la figure ci-dessous sera celle utilisée pour toute la suite de l'étude.

4. CAMPAGNE DE MESURES HYDRAULIQUES

La campagne de mesures hydrauliques consiste en l'instrumentation de points stratégiques du réseau d'eau potable afin d'enregistrer des données permettant l'analyse de son fonctionnement. Les points ici concernés sont : les poteaux incendie et/ou les robinets particuliers (mesures de pressions), les réservoirs (mesures de marnage) et les compteurs (mesures de débits de distribution). L'objectif principal de cette démarche est de comprendre et analyser, de manière fine, le fonctionnement réel du réseau d'eau potable.

4.1. Débits mis en distribution

4.1.1. Principe

Ce type de mesures concerne cinq des six compteurs décrits plus tôt, à savoir :

1. C_Haut_Mont : volumes de distribution vers le secteur du Haut du Mont et des Sauniers ;
2. C_Trémeurs : volumes de distribution vers les Trémeurs ;
3. C_Fondenoy : volumes de distribution vers la Route de la Gare et la Route de Fontenoy ;
4. C_Centre : volumes de distribution vers la Place du Centre ;
5. C_Jus : volumes de distribution vers les Rues de la Basse et Haute Jus.

Les compteurs sont équipés de « têtes émettrices » reliées à un « logger » qui permet d'enregistrer les volumes comptés à un pas de temps 5 minutes. Un ordinateur portable est utilisé afin de configurer les équipements et récupérer les données en fin de campagne de mesures. Les figures ci-dessous présentent les équipements mis en place :



Source : G2C Ingénierie, 2017.

Figure 5 : Programmation et relève du logger.



Source : G2C Ingénierie, 2017.

Figure 6 : Logger et tête émettrice.

4.1.2. Déroulement de la campagne de mesures

La mise en place de ces équipements s'est tenue le 18 Juillet 2017. Certains équipements avaient été posés précédemment à cette date mais certains problèmes logistiques en lien avec les poteaux incendie de la commune (et qui seront détaillés dans un paragraphe dédié) ont amené à des décalages temporels d'intervention sur site.

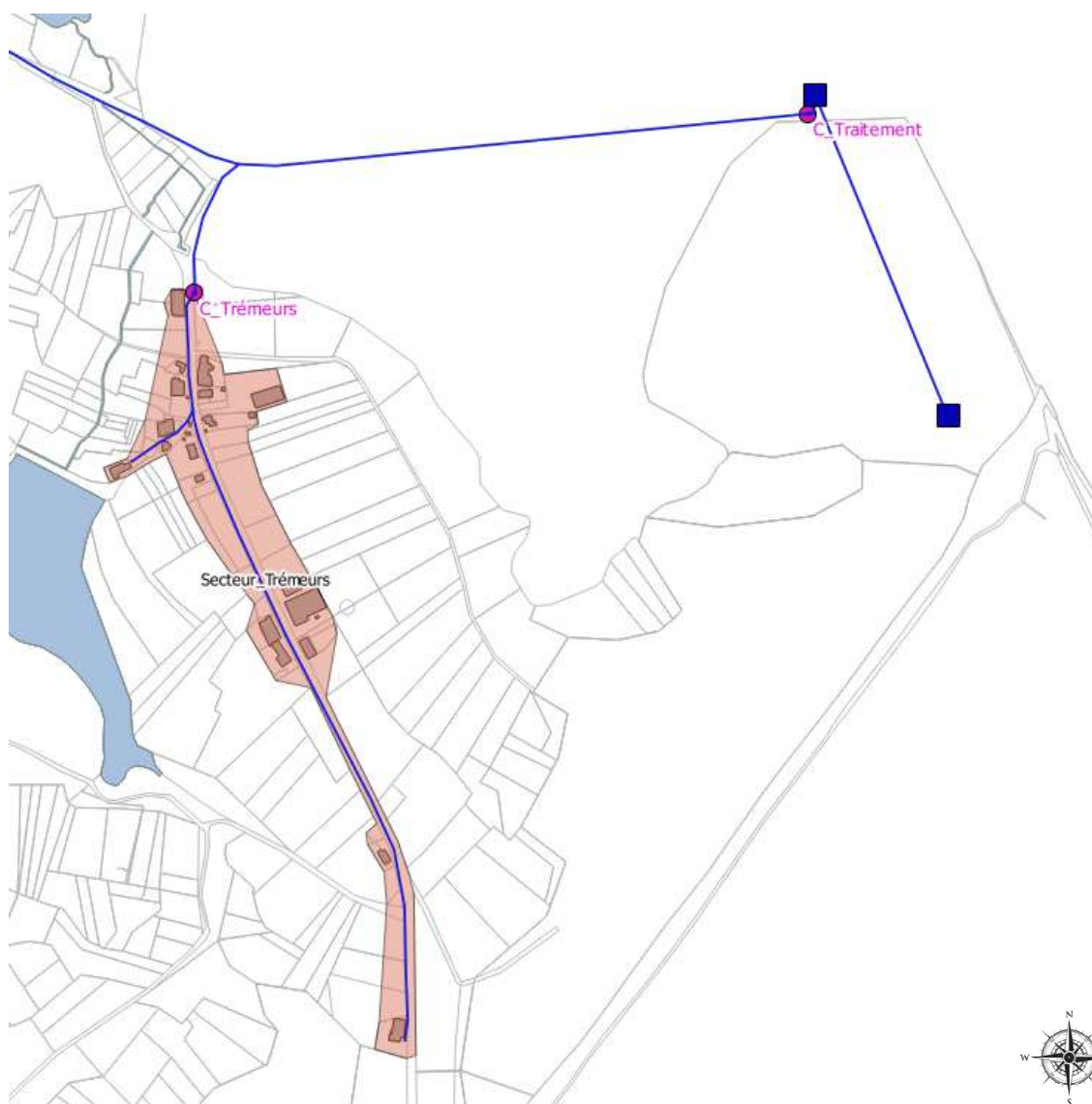
L'ensemble du matériel a été déposé lors de la journée du 1^{er} Août 2017, ce qui implique le déploiement complet de la campagne de mesures sur 13 jours complets consécutifs, dont deux weekends (les journées du 18 Juillet et du 1^{er} Août ne constituant pas des journées complètes de données).

La campagne de mesures des débits mis en distribution s'est tenue du 19 Juillet 2017 au 31 Juillet 2017 (soit 13 jours complets y compris deux weekends), sur cinq des compteurs de sectorisation dont dispose la commune.

4.1.3. Implantation des points de mesure

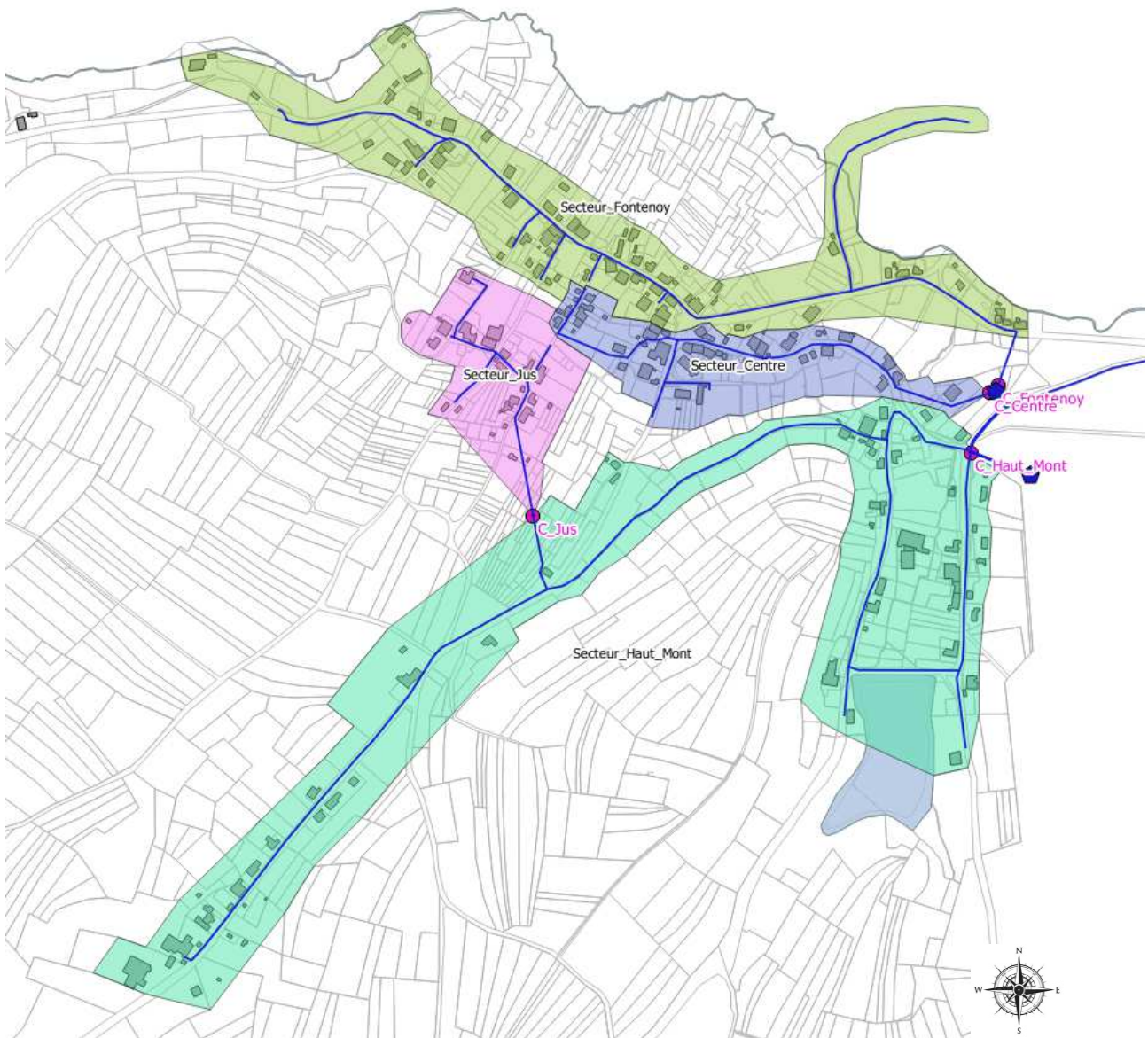
L'utilisation des compteurs décrits plus tôt va **permettre l'analyse de sous-secteurs de distribution associés.**

Bien que décrits sur le synoptique précédent, les extraits cartographiques suivants permettent de localiser l'emplacement exact des compteurs de sectorisation suivis lors de la campagne et des sous-secteurs dont ils permettent l'étude :



Source : G2C Ingénierie, 2017 – Echelle non normalisée.

Figure 7 : Implantation des mesures de débits et sous-secteurs associés – Les Trémeurs.



Source : G2C Ingénierie, 2017 – Echelle non normalisée.

Figure 8 : Implantation des mesures de débits et sous-secteurs associés - Commune.

4.1.4. Exploitation des résultats

L'enregistrement des données au **pas de temps 5 minutes** permet la construction de courbes sur la totalité de la durée de la campagne de mesures.

De plus, certaines caractéristiques des sous-secteurs de distribution peuvent ainsi être analysées, notamment :

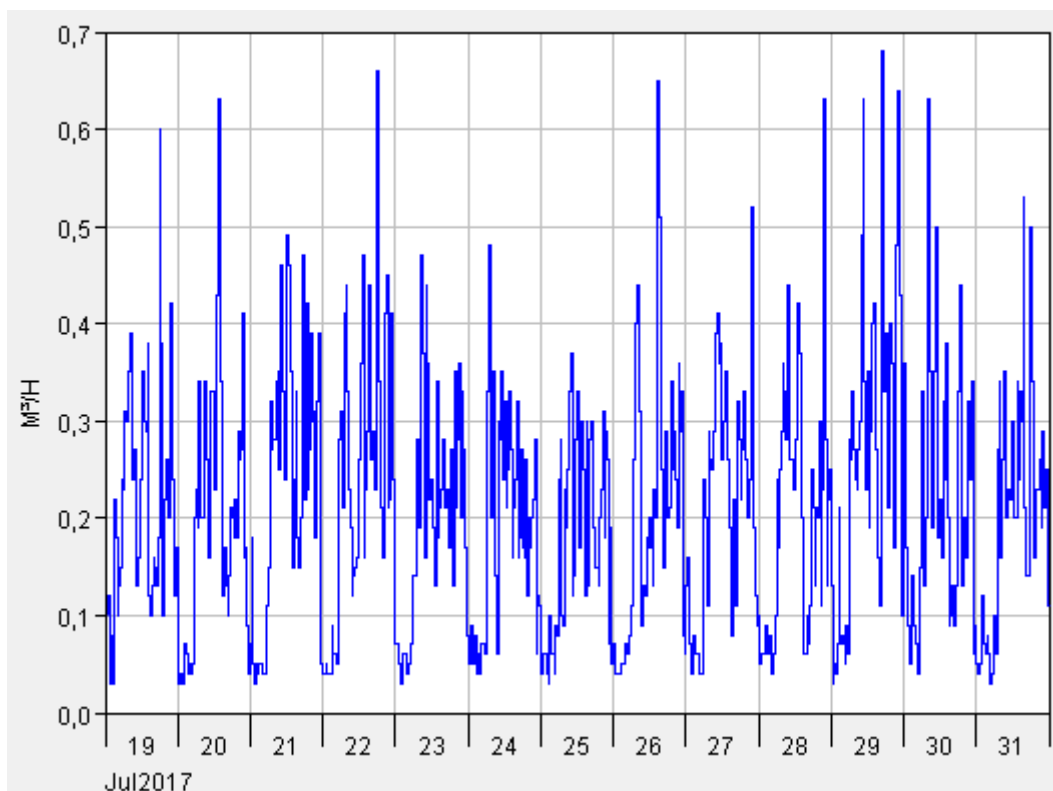
- Les **modulations horaires de fonctionnement**. De manière générale, les habitudes de consommation d'eau potable se répètent tous les jours de la semaine et sont quelque peu modifiées lors des weekends. En effet, les horaires de travail étant principalement fixes, les habitants partent et reviennent du travail à horaires fixes, ce qui influence également leur mode de vie (prise des repas, toilettes...);
- Les **coefficients de pointe des consommations**. Parallèlement aux habitudes de consommations des abonnés, les volumes de demandes en eau potable varient selon les secteurs. Ce coefficient de pointe permet l'estimation de la valeur du pic de consommation par comparaison de la demande moyenne journalière à la demande maximale observée dans une journée ;
- La **demande nocturne**. Mis à part les activités automatisées au sein des exploitations agricoles de la zone d'étude et les chasses d'eau et / ou appareils ménagers programmables, les consommations nocturnes d'eau potable devraient être très faibles. **Les débits transitant la nuit sont donc majoritairement liés à la présence de fuites au sein des réseaux de distribution.**

La suite de ce paragraphe présente les mesures réalisées, ainsi que leur exploitation, pour chacun des sous-secteurs.

4.1.4.1. Secteur des Trémeurs

DONNEES BRUTES

La courbe suivante présente les mesures réalisées au niveau du compteur C_Trémeurs :



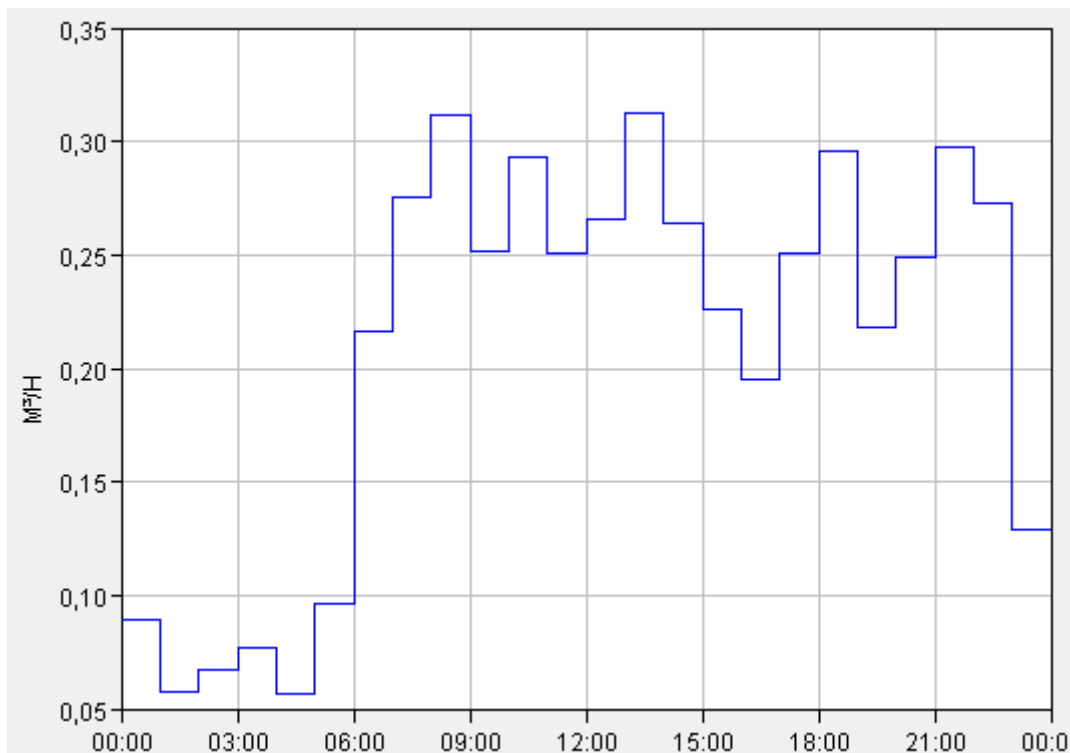
Source : G2C Ingénierie, 2017.

Figure 9 : Débits mesurés à C_Trémeurs.

Au total, 3 744 valeurs ont été enregistrées entre le 19 Juillet et le 31 Juillet 2017, pour un volume total de distribution de 65,25 m³.

COURBE DE MODULATION

Par observation des mesures présentées ci-avant, il apparaît clair que le fonctionnement du secteur est cyclique et que les habitudes de consommation se répètent jour après jour. L'aspect de la courbe suivante permet d'apprécier les variations horaires de ce secteur de distribution (son allure est déterminée par utilisation d'une moyenne sur l'ensemble des données relatives à des jours complets de mesure) :



Source : G2C Ingénierie, 2017.

Figure 10 : Courbe de modulation du secteur des Trémeurs.

Ainsi, deux pics de consommation sont observés dans ce secteur, le premier entre 8h et 14h et le second entre 18h et 22h.

COEFFICIENT DE POINTE

Le débit de distribution moyen du secteur est de 0,21 m³/h, pour une pointe de 1,56 m³/h apparue le 26 Juillet 2017 à 14h55.

Le débit moyen de distribution sur le secteur est de 5 m³/j. La comparaison du débit moyen et du débit maximal aboutit à un coefficient de pointe de 7,4.

MINIMA NOCTURNE

Comme expliqué précédemment, **les débits nocturnes sont principalement liés à l'existence de fuites** au sein des réseaux puisque les habitants ne sont à l'origine que de tirages très faibles (chasse d'eau, appareils programmables...).

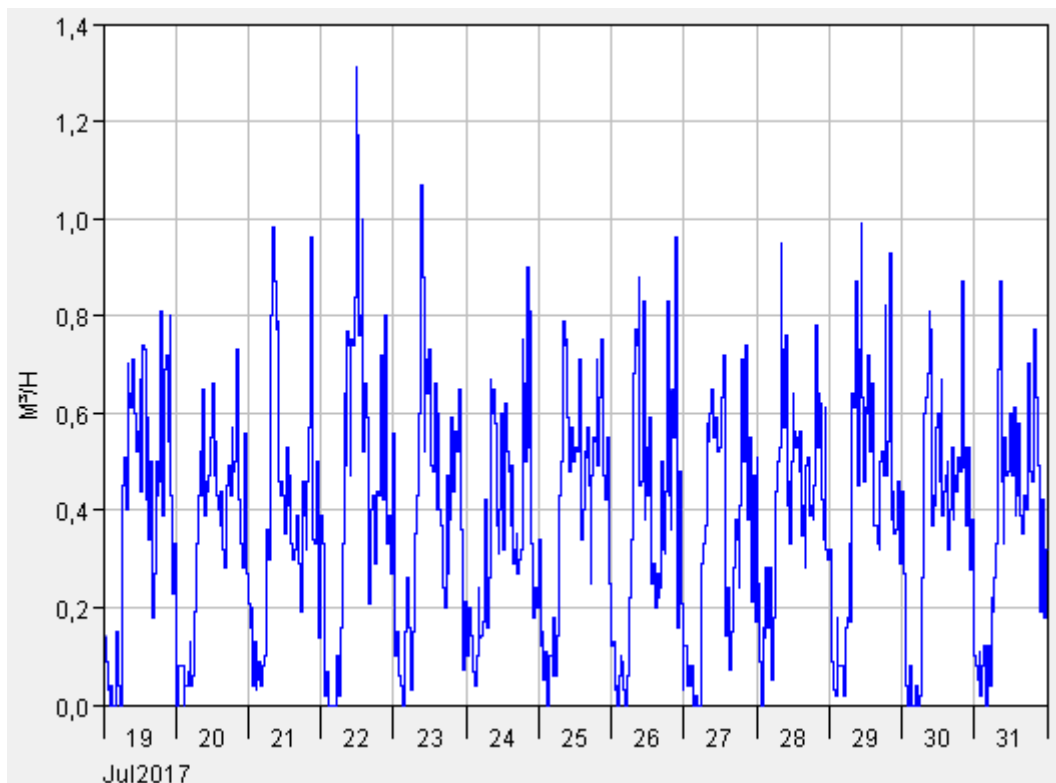
Les débits minimums nocturnes observés quotidiennement atteignent 0 m³/h, ce qui prouve l'absence de fuites sur le secteur.

Le secteur des Trémeurs ne semble donc pas fuyard. En effet, les minimums nocturnes observés sont nuls.

4.1.4.2. Secteur de la Place du Centre

DONNEES BRUTES

La courbe suivante présente les mesures réalisées au niveau du compteur C_Centre :



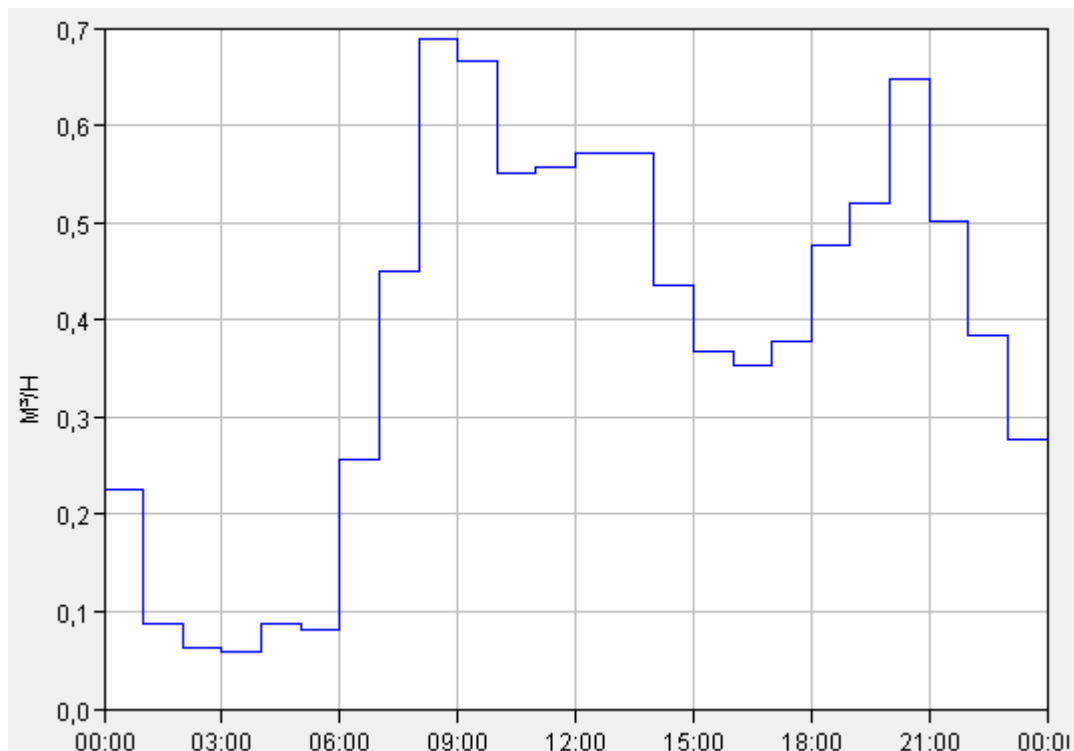
Source : G2C Ingénierie, 2017.

Figure 11 : Débits mesurés à C_Centre.

Au total, 3 744 valeurs ont été enregistrées entre le 19 Juillet et le 31 Juillet 2017, pour un volume total de distribution de 120,2 m³.

COURBE DE MODULATION

Par observation des mesures présentées ci-avant, il apparaît clair que le fonctionnement du secteur est cyclique et que les habitudes de consommation se répètent jour après jour. L'aspect de la courbe suivante permet d'apprécier les variations horaires de ce secteur de distribution (son allure est déterminée par utilisation d'une moyenne sur l'ensemble des données relatives à des jours complets de mesure) :



Source : G2C Ingénierie, 2017.

Figure 12 : Courbe de modulation du secteur de la Place du Centre.

Ainsi, deux pics de consommation sont observés dans ce secteur, le premier entre 8h et 10h et le second entre 20h et 21h.

COEFFICIENT DE POINTE

Le débit de distribution moyen du secteur est de 0,38 m³/h, pour une pointe de 1,68 m³/h apparue le 22 Juillet 2017 à 13h45.

Le débit moyen de distribution sur le secteur est de 9,25 m³/j. La comparaison du débit moyen et du débit maximal aboutit à un coefficient de pointe de 4,4.

MINIMA NOCTURNE

Comme expliqué précédemment, **les débits nocturnes sont principalement liés à l'existence de fuites** au sein des réseaux puisque les habitants ne sont à l'origine que de tirages très faibles (chasse d'eau, appareils programmables...).

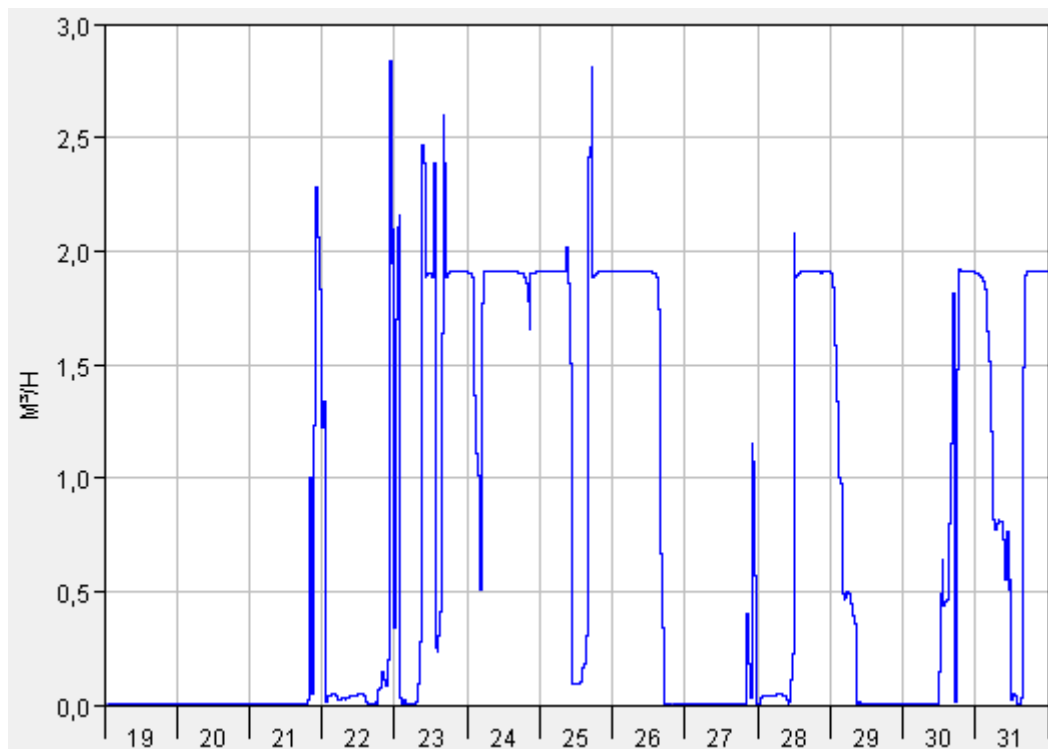
Les débits minimums nocturnes observés quotidiennement atteignent 0 m³/h, ce qui prouve l'absence de fuites sur le secteur.

Le secteur de la Place du Centre ne semble donc pas fuyard. En effet, les minimums nocturnes observés sont nuls.

4.1.4.3. Secteur de la Route de Fontenoy

DONNEES BRUTES

La courbe suivante présente les mesures réalisées au niveau du compteur C_Fontenoy :



Source : G2C Ingénierie, 2017.

Figure 13 : Débits mesurés à C_Fontenoy.

Au total, 3 744 valeurs ont été enregistrées entre le 19 Juillet et le 31 Juillet 2017, pour un volume total de distribution de 230,75 m³.

Cependant, l'allure des données enregistrées amène à **plusieurs incohérences** :

1. Les débits mesurés sont quasi-nuls entre le 19 et 21 Juillet ;
2. Les variations des enregistrements ne sont pas cycliques ;
3. Les débits les plus importants sont mesurés la nuit, alors qu'ils devraient être les plus faibles (en lien avec des consommations domestiques).

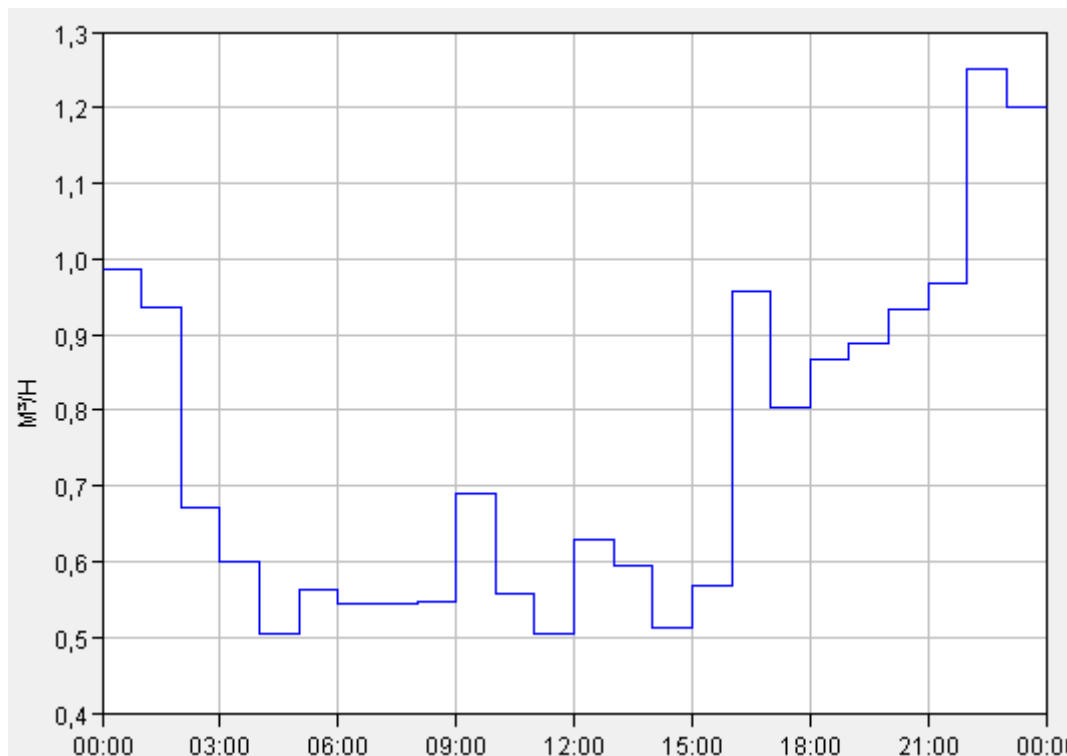
Ainsi, bien que le bilan volumétrique soit globalement cohérent, des réserves sont émises quant à la pertinence des mesures réalisées sur ce compteur.

Ces défauts de relèves peuvent avoir plusieurs origines :

1. Le compteur Elster H5000 a été équipé d'une tête de lecture à transmission optique. La présence de fluides (eau, vapeur...) ou de particules (poussière, terre...) entre le compteur et la tête émettrice peut être à l'origine de divergences dans les données ;
2. La présence d'eau au sein du regard peut conduire à une atmosphère humide pouvant être à l'origine de faux-contacts sur les connectiques reliant la tête émettrice au logger en place.

COURBE DE MODULATION

Contrairement aux courbes d'enregistrement habituellement observées, les variations des débits de distribution sur le secteur de la Route de Fontenoy ne sont pas réellement cycliques et semblent décalés dans le temps (les consommations les plus fortes sont enregistrées lors des périodes nocturnes). L'aspect de la courbe suivante permet d'apprécier les variations horaires de ce secteur de distribution (son allure est déterminée par utilisation d'une moyenne sur l'ensemble des données relatives à des jours complets de mesure) :



Source : G2C Ingénierie, 2017.

Figure 14 : Courbe de modulation du secteur de la Route de Fontenoy.

Ainsi, un pic de consommation est observé dans ce secteur, entre 22h et 2h le lendemain, ce qui n'est pas cohérent à la vue du secteur (consommations domestiques).

Comme évoqué précédemment, les consommations du secteur étant domestiques, cette courbe de modulation n'est pas représentative des habitudes des consommateurs et ne sera pas prise en compte dans la suite de l'étude.

COEFFICIENT DE POINTE

Le débit de distribution moyen du secteur est de 0,74 m³/h, pour une pointe de 3,77 m³/h apparue le 22 Juillet 2017 à 22h50.

Le débit moyen de distribution sur le secteur est de 17,75 m³/j. La comparaison du débit moyen et du débit maximal aboutit à un coefficient de pointe de 5,1.

MINIMA NOCTURNE

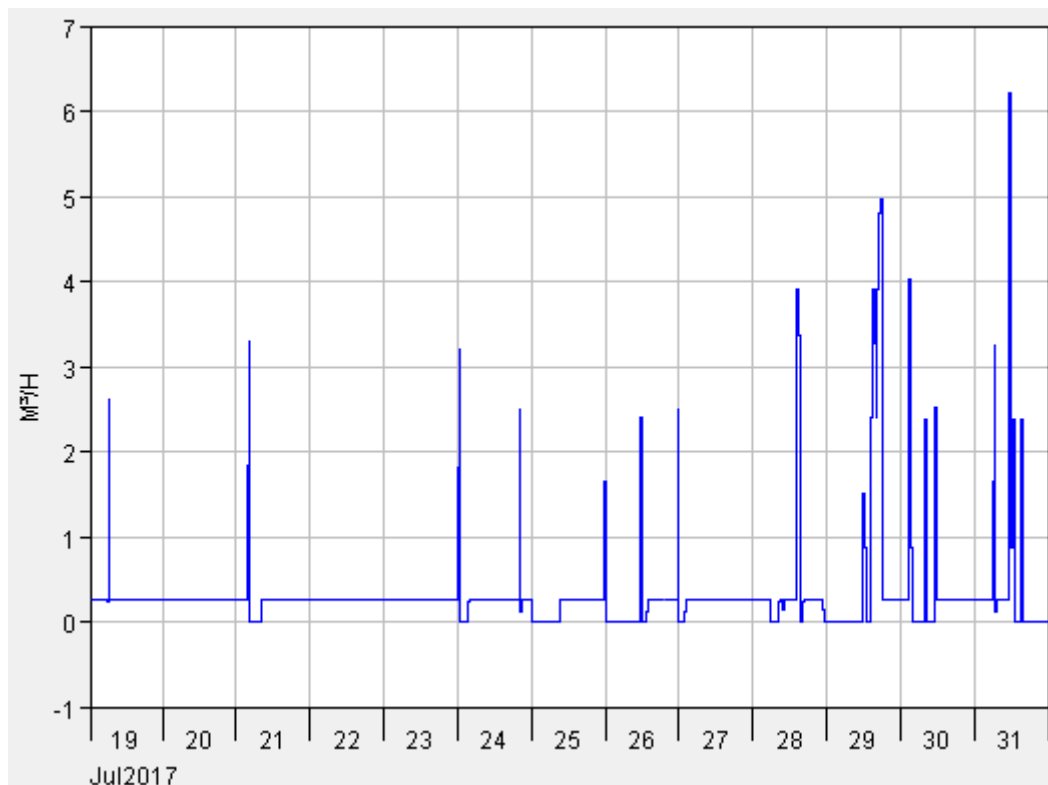
Comme expliqué précédemment, les débits nocturnes sont principalement liés à l'existence de fuites au sein des réseaux puisque les habitants ne sont à l'origine que de tirages très faibles (chasse d'eau, appareils programmables...).

Cependant, la courbe de modulation a montré que les débits nocturnes du secteur ne sont pas représentatifs de la réalité, cette analyse n'est donc pas ici pertinente.

4.1.4.4. Secteur des Jus

DONNEES BRUTES

La courbe suivante présente les mesures réalisées au niveau du compteur C_Jus :



Source : G2C Ingénierie, 2017.

Figure 15 : Débits mesurés à C_Jus.

Au total, 3 744 valeurs ont été enregistrées entre le 19 Juillet et le 31 Juillet 2017, pour un volume total de distribution de 215,5 m³.

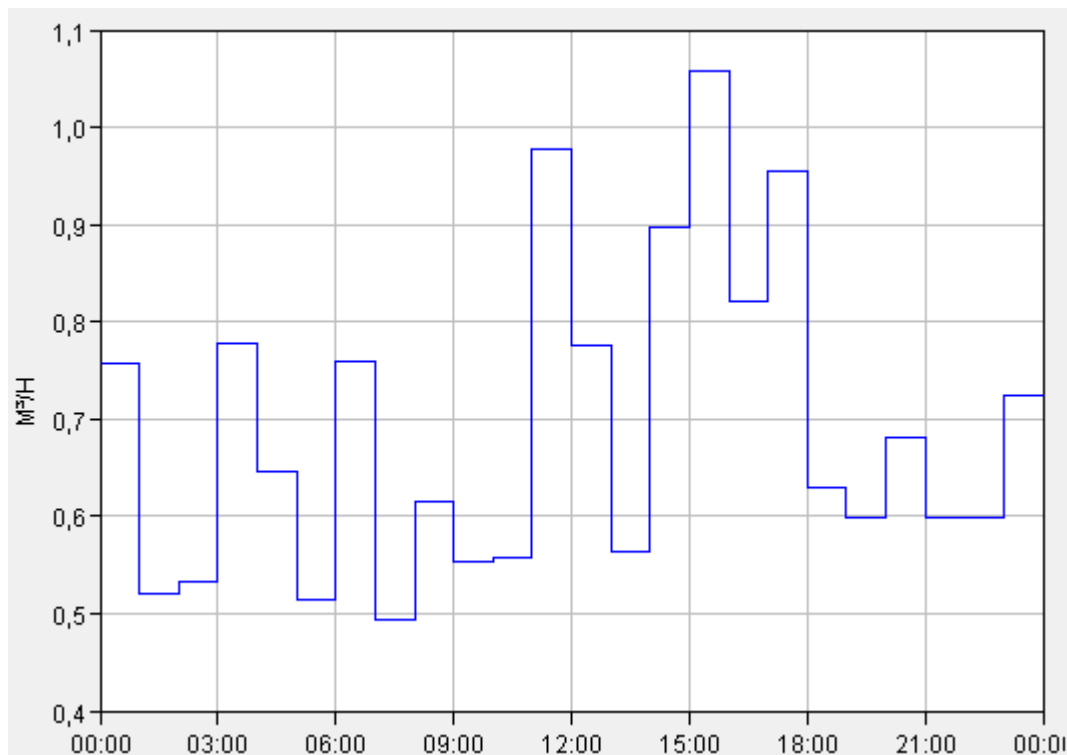
Cependant, l'allure des données enregistrées amène à **plusieurs incohérences** :

1. Les débits mesurés sont constants lors de plusieurs journées consécutives (de 19 au 20 Juillet, du 21 au 23 Juillet et le 27 Juillet par exemple) ;
2. Les variations des enregistrements ne sont pas cycliques.

Ainsi, bien que le bilan volumétrique soit globalement cohérent, des réserves sont émises quant à la pertinence des mesures réalisées sur ce compteur.

COURBE DE MODULATION

Contrairement aux courbes d'enregistrement habituellement observées, les variations des débits de distribution sur le secteur des Jus ne sont pas réellement cycliques. L'aspect de la courbe suivante permet d'apprécier les variations horaires de ce secteur de distribution (son allure est déterminée par utilisation d'une moyenne sur l'ensemble des données relatives à des jours complets de mesure) :



Source : G2C Ingénierie, 2017.

Figure 16 : Courbe de modulation du secteur des Jus.

Ainsi, deux pics de consommation sont observés dans ce secteur, le premier entre 11h et 13h et le second entre 15h et 18h.

COEFFICIENT DE POINTE

Le débit de distribution moyen du secteur est de 0,69 m³/h, pour une pointe de 6,57 m³/h apparue le 31 Juillet 2017 à 12h00.

Le débit moyen de distribution sur le secteur est de 16,55 m³/j. La comparaison du débit moyen et du débit maximal aboutit à un coefficient de pointe de 9,5.

MINIMA NOCTURNE

Comme expliqué précédemment, **les débits nocturnes sont principalement liés à l'existence de fuites** au sein des réseaux puisque les habitants ne sont à l'origine que de tirages très faibles (chasse d'eau, appareils programmables...).

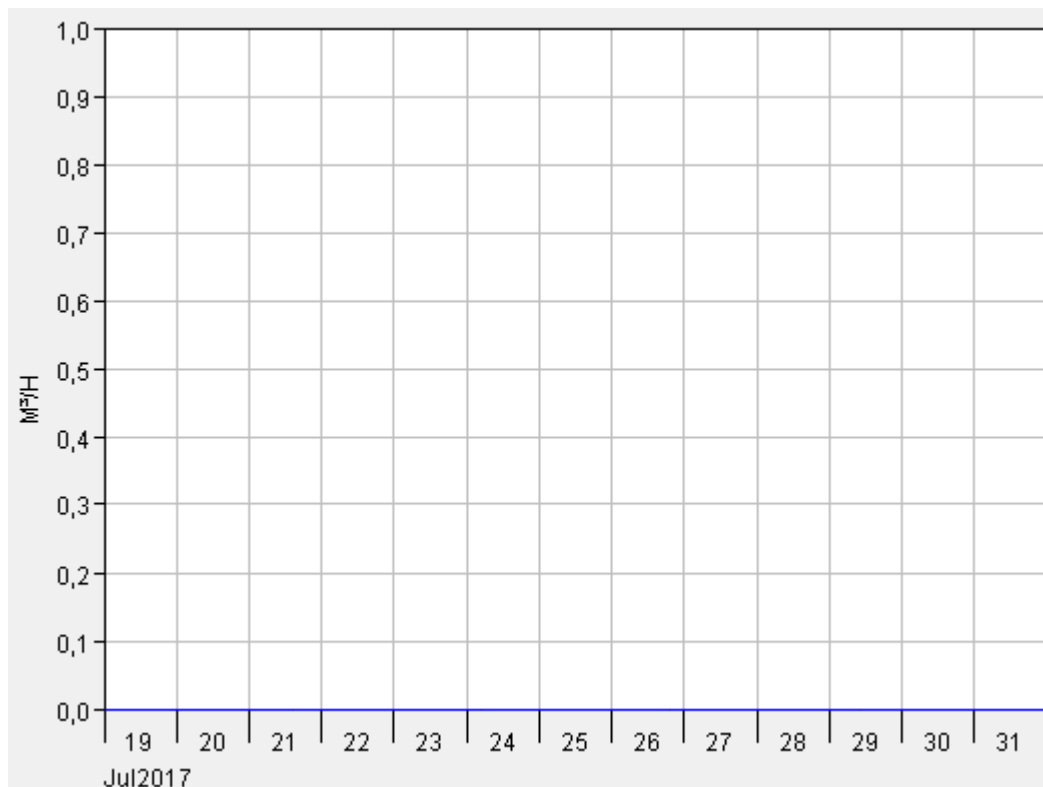
Mis à part lors des journées où aucune variation n'a été enregistrée (du 19 au 20 Juillet, du 21 au 23 Juillet et le 27 Juillet), les débits minimums nocturnes observés quotidiennement atteignent 0 m³/h, ce qui prouve l'absence de fuites sur le secteur.

Le secteur des Jus ne semble donc pas fuyard. En effet, les minimums nocturnes observés sont nuls.

4.1.4.5. Secteur du Haut du Mont

DONNEES BRUTES

La courbe suivante présente les mesures réalisées au niveau du compteur C_Haut_Mont :



Source : G2C Ingénierie, 2017.

Figure 17 : Débits mesurés à C_Haut_Mont.

Ainsi, l'enregistrement du compteur en lien avec le secteur du Haut du Mont n'a pas été fonctionnel. En effet, l'ensemble des valeurs enregistrées sont nulles.

Cependant, **le compteur est strictement similaire à celui situé dans le secteur des Trémeurs** : la technique d'enregistrement a donc été en tout point identique, ce qui implique **un dysfonctionnement des connectiques du compteur**. En effet, ces compteurs (de marque KMT) ont été équipés grâce à la présence de dominos servant à la connexion directe de nos têtes émettrices. C'est ce dispositif qui est probablement hors d'usage sur le compteur C_Haut_Mont.

COURBE DE MODULATION

De part l'absence de mesures, ce paragraphe est sans objet.

COEFFICIENT DE POINTE

L'utilisation des relevés manuels effectués par l'employé communal les vendredis matin a permis **l'estimation d'un volume moyen de distribution de 26 m³/j sur le secteur**.

De part l'absence de mesures fines, le coefficient de pointe n'a pu être estimé.

MINIMA NOCTURNE

De part l'absence de mesures, ce paragraphe est sans objet.

4.1.5. Synthèse des résultats de débits

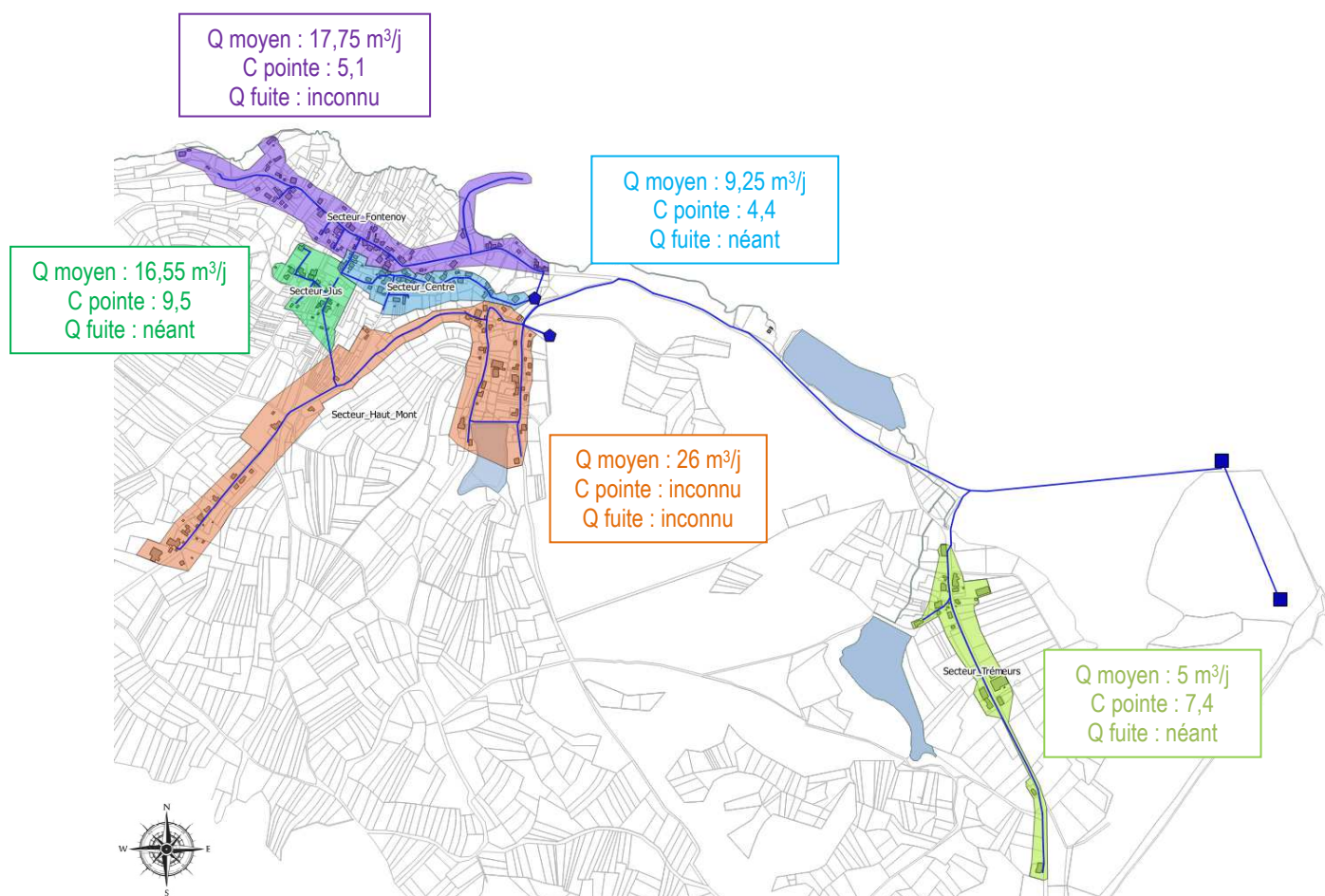
Le tableau et la figure suivante synthétisent les résultats issus des mesures de débits :

Secteur	Débit moyen	Pointes de consommation	Coefficient de pointe	Débit de fuite
Trémeurs	5 m ³ /j	8 à 14h et 18 à 22h	7,4	0 m ³ /j
Centre	9,25 m ³ /j	8 à 10h et 20 à 21h	4,4	0 m ³ /j
Fontenoy	17,75 m ³ /j	-	5,1	-
Jus	16,55 m ³ /j	11 à 13h et 15 à 18h	9,5	0 m ³ /j
Haut du Mont	26 m ³ /j	-	-	-

Source : G2C Ingénierie, 2017.

Tableau 2 : Synthèse de résultats – Mesures de débits.

Nota : les tirets indiquent des données non disponibles ou incohérentes.



Source : G2C Ingénierie, 2017 – Echelle non normalisée.

Figure 18 : Synthèse des résultats – Mesures de débits.

4.2. Pressions de fonctionnement

4.2.1. Principe

La mesure des pressions de fonctionnement **s'effectue habituellement sur les poteaux incendie** du fait que ces derniers ne sont que rarement utilisés (la gêne occasionnée est donc mineure). Dans le cas où des longues portions de réseaux sont dépourvues de poteaux incendie, ou que ces derniers nécessitent des raccords spécifiques, la mesure peut être réalisée au sein d'une habitation par utilisation d'un robinet qui n'est pas régulièrement utilisé.

C'est cette variante qui a été utilisée sur le territoire de la commune puisque les poteaux incendie disponibles, de marque « Fonte Haut Marnaise » datent de 1938 et qu'**aucun raccord n'est disponible ni dans le commerce, ni auprès du Service Départemental d'Incendie et de Secours (SDIS) du département**. G2C Ingénierie tenait à remercier Mme le Maire et M. Remolato pour leur aide et leur patience lors de la recherche de raccords adaptables.

Cette complication logistique a entraîné un retard dans le planning de campagne initialement annoncé.

Afin de réaliser les mesures de pression, les robinets particuliers sont vidangés puis équipés d'un « bouchon pression » relié à un « logger » (la vidange évite que des impuretés viennent fausser les mesures). Une fois le bouchon pression en place, le robinet est laissé ouvert afin que **l'enregistreur mesure les pressions de fonctionnement des réseaux toutes les 5 minutes**. En cas de réelle nécessité, voire de dysfonctionnement (fuites par exemple), les particuliers peuvent bénéficier d'un accès à leur robinet par simple démontage du bouchon pression. Un ordinateur portable est utilisé afin de configurer les équipements et récupérer les données en fin de campagne de mesures.

Les figures suivantes présentent les équipements mis en place :



Source : G2C Ingénierie, 2017.

Figure 19 : Bouchon pression et enregistreur de P5.



Source : G2C Ingénierie, 2017.

Figure 20 : Bouchon pression et enregistreur de P2.

4.2.2. Déroulement de la campagne de mesures

Au total, **8 points de mesure de pression** ont été instrumentés, en totalité chez des particuliers.

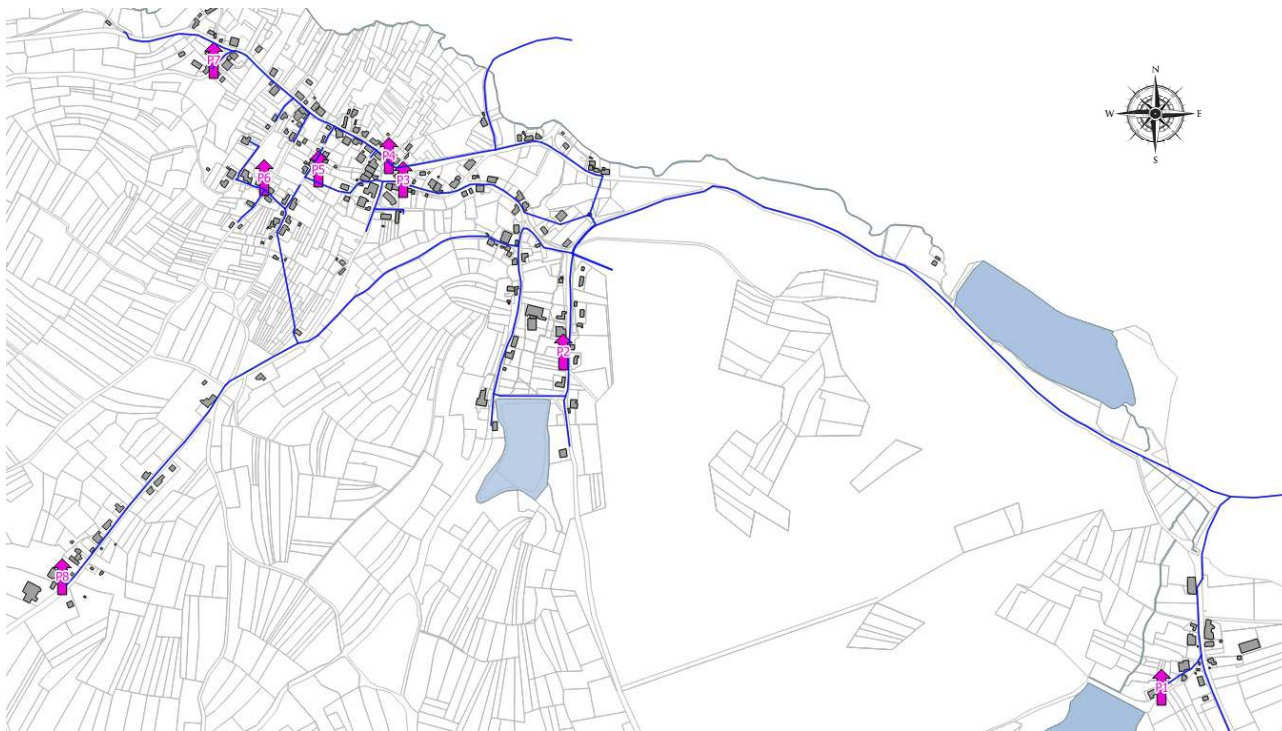
La mise en place de ces équipements s'est tenue le 11 Mai 2017 pour les points P1 et P2 et le 18 Juillet 2017 pour les autres (décalage dû aux problèmes logistiques rencontrés avec les raccords incendie). L'ensemble du matériel a été déposé lors de la journée du 1^{er} Août 2017, ce qui implique le déploiement complet de la campagne de mesures sur 13 jours complets.

Aucune dérive de mesures ou dysfonctionnement n'a été relevée, mis à part le point de pression P5 qui n'a pas fonctionné et qui n'a enregistré aucune variation de pression (dysfonctionnement de la sonde pression ou de l'enregistreur).

La campagne de mesures de pression s'est tenue du 19 Juillet 2017 au 31 Juillet 2017 (13 jours complets), sur 8 robinets situés chez les particuliers de la commune. Le point P5 n'a pas été fonctionnel.

4.2.3. Implantation des points de mesure

Comme évoqué précédemment, 8 points de mesures de pression ont été installés sur le territoire de la commune. L'extrait cartographique ci-dessous en précise les différents emplacements :



Source : G2C Ingénierie, 2017 – Echelle non normalisée.

Figure 21 : Implantation des points de mesures de pression.

Pour rappel, les points de mesures de pression ont été installés sur des robinets particuliers. Nous tenions à remercier l'ensemble des administrés concernés pour la mise à disposition d'un robinet au sein de leur habitation.

La liste suivante donne l'adresse des différents robinets équipés :

- P1 : 6 Chemin des Harnigaises, Les Trémeurs ;
- P2 : 8 Route des Arsondieux ;
- P3 : 34 Place du Centre (local communal) ;
- P4 : Mairie, Place du Centre (garage communal) ;
- P5 : 11 Rue de la 2^{ème} Jus ;
- P6 : 12 Rue de la 1^{ère} Jus ;
- P7 : 2 Rue de la Gotelle ;
- P8 : 34 Route des Sauniers.

4.2.4. Exploitation des résultats

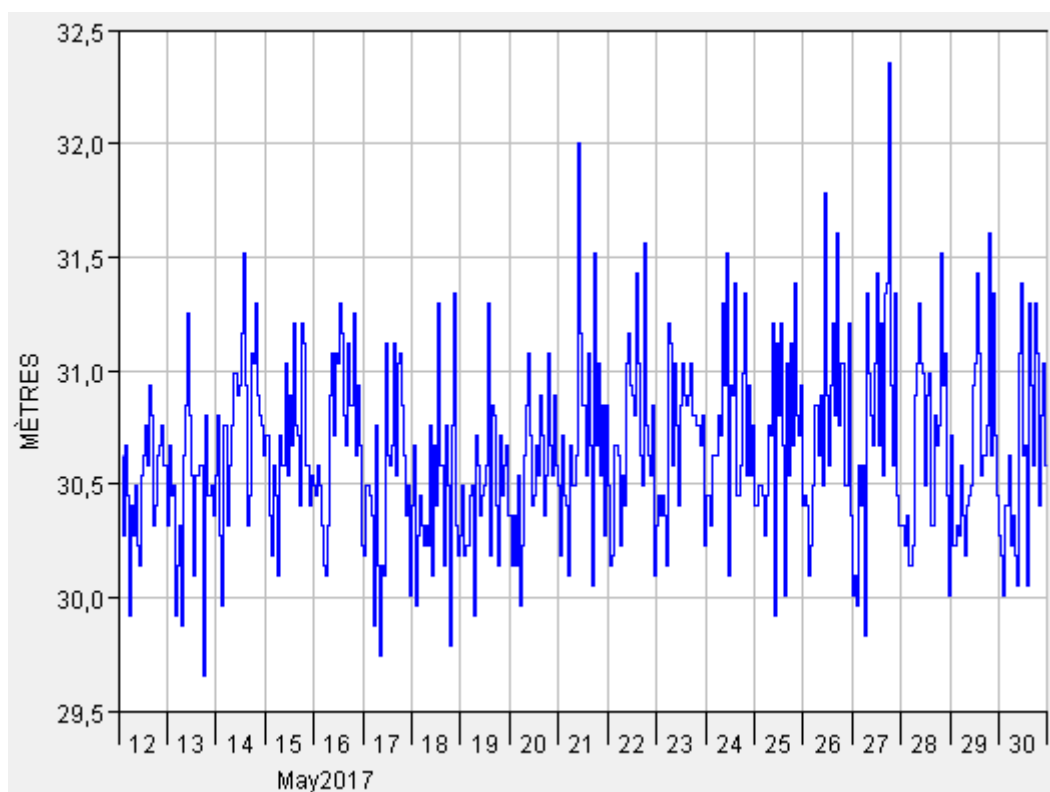
L'enregistrement des pressions de fonctionnement permet l'analyse de la réaction des réseaux, parallèlement aux variations horaires décrites plus tôt. Il s'agit également de mettre en évidence les portions de réseaux au sein desquelles les pressions sont, soit trop fortes, soit trop faibles.

Il est usuellement admis que **la pression de distribution en réseau gravitaire doit être comprise entre 2 et 6,5 bars, soit 20 et 65 mCE**. En deçà de 2 bars, la pression de service à l'utilisateur n'est pas satisfaisante, notamment au regard du code de la santé publique. Au-delà de 6,5 bars, la pression est trop importante et entraîne des sollicitations sur les réseaux et ouvrages jusqu'à provoquer leur fragilisation, voire leur casse.

4.2.4.1. Point de mesures P1

DONNEES BRUTES

La courbe ci-après présente l'ensemble des données enregistrées au point de mesures P1 :



Source : G2C Ingénierie, 2017.

Figure 22 : Pressions mesurées à P1.

EXPLOITATION DES RESULTATS

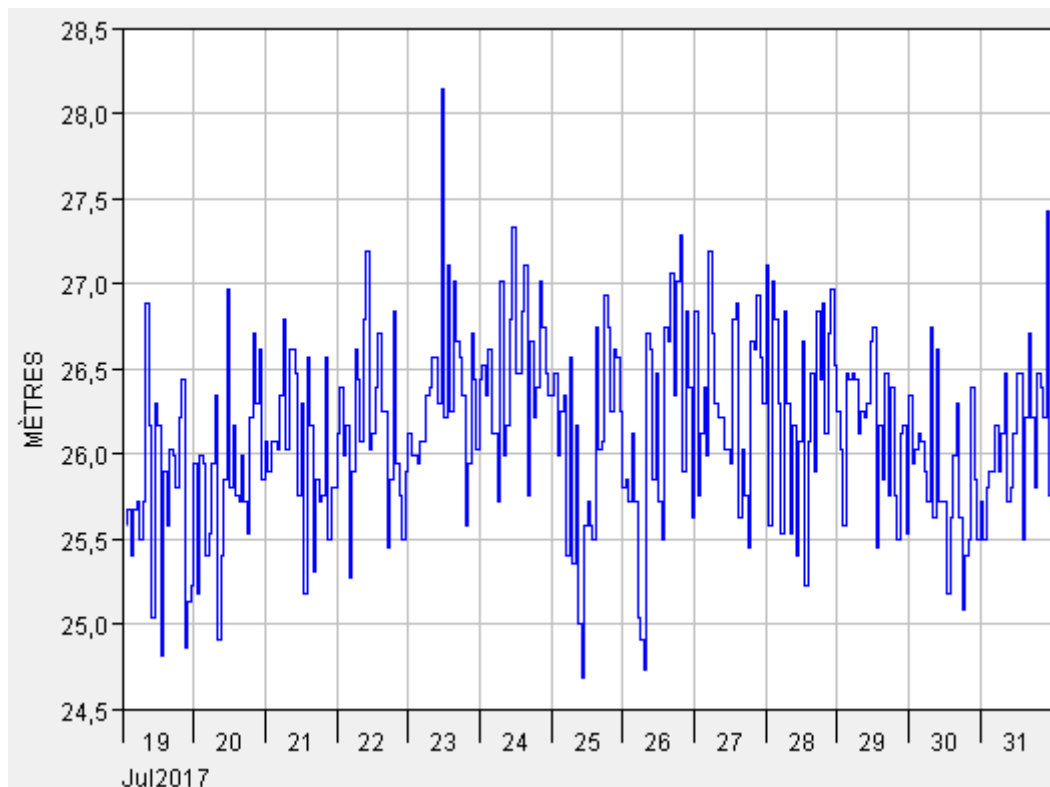
Au total, 5 472 mesures de pression ont été réalisées en ce point. Des variations cycliques sont observées entre les valeurs extrêmes de 24,47 et 36,16 mCE.

La pression moyenne en ce point est de 30,64 mCE (3,06 bars) et connaît des variations de plus ou moins 6 mCE. La pression de distribution en ce point du réseau est donc satisfaisante.

4.2.4.2. Point de mesures P2

DONNEES BRUTES

La courbe ci-après présente l'ensemble des données enregistrées au point de mesures P2 :



Source : G2C Ingénierie, 2017.

Figure 23 : Pressions mesurées à P2.

EXPLOITATION DES RESULTATS

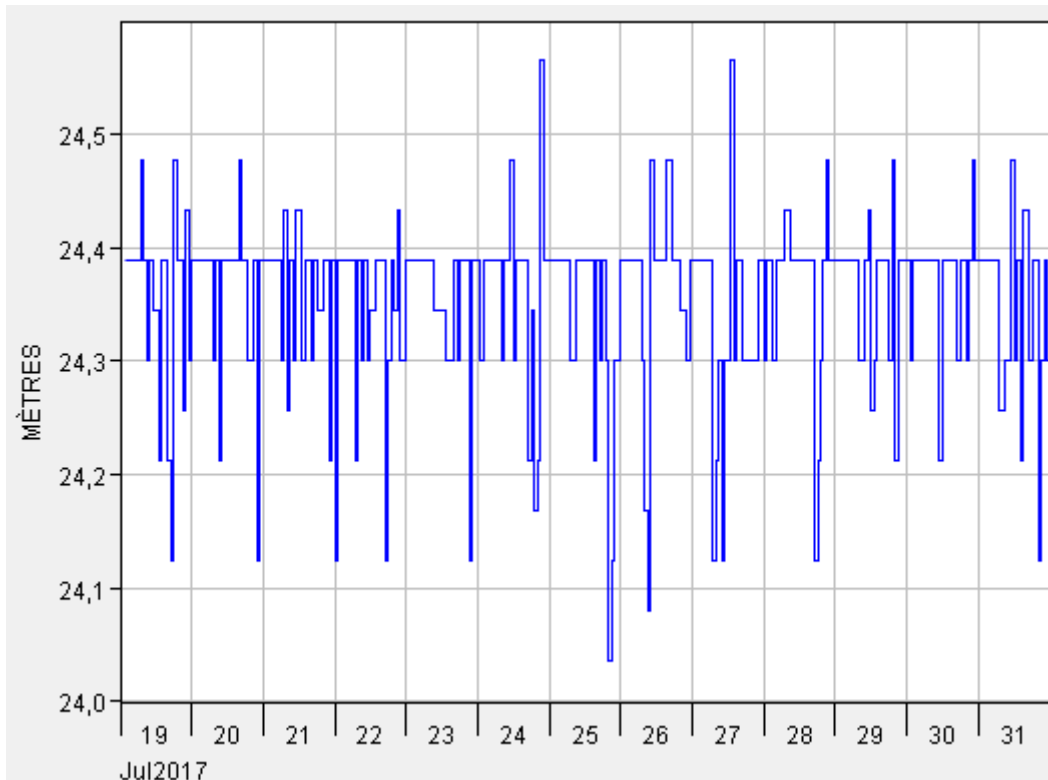
Au total, 3 744 mesures de pression ont été réalisées en ce point. Des variations cycliques sont observées entre les valeurs extrêmes de 20,46 et 32,31 mCE.

La pression moyenne en ce point est de 26,12 mCE (2,61 bars) et connaît des variations de plus ou moins 6 mCE. La pression de distribution en ce point du réseau est donc satisfaisante.

4.2.4.3. Point de mesures P3

DONNEES BRUTES

La courbe ci-après présente l'ensemble des données enregistrées au point de mesures P3 :



Source : G2C Ingénierie, 2017.

Figure 24 : Pressions mesurées à P3.

EXPLOITATION DES RESULTATS

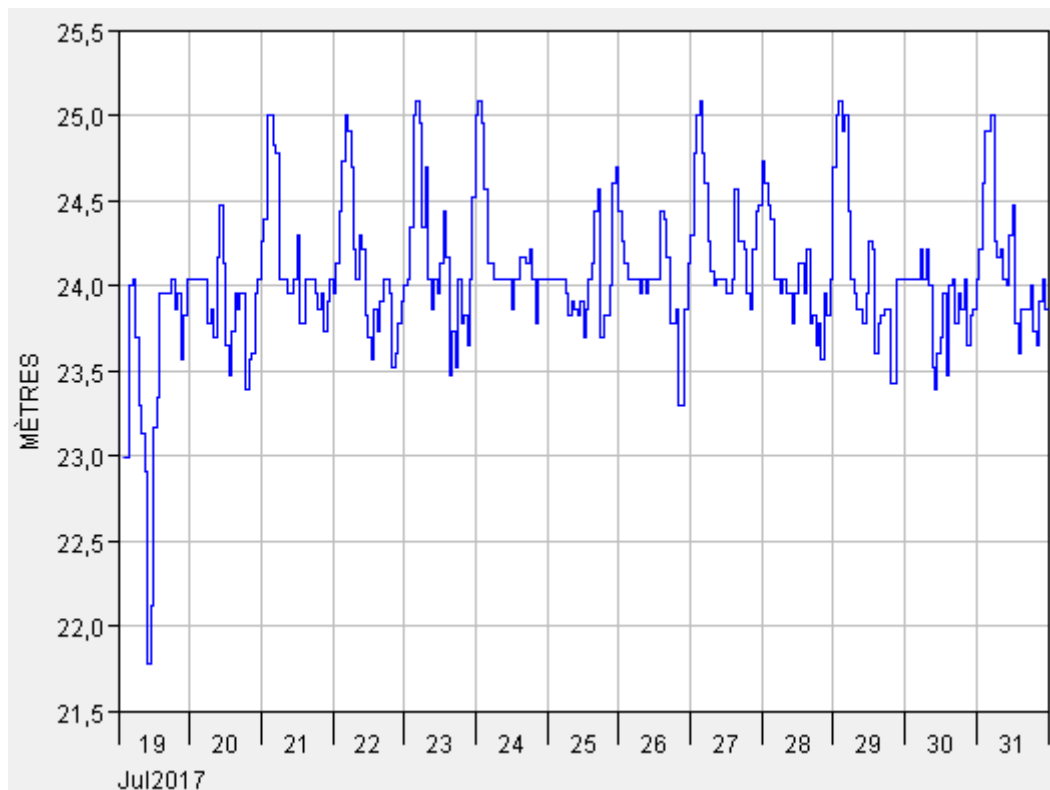
Au total, 3 744 mesures de pression ont été réalisées en ce point. Des variations cycliques sont observées entre les valeurs extrêmes de 21,21 et 25,45 mCE.

La pression moyenne en ce point est de 24,36 mCE (2,44 bars) et connaît des variations de plus ou moins 2 mCE. La pression de distribution en ce point du réseau est donc satisfaisante.

4.2.4.4. Point de mesures P4

DONNEES BRUTES

La courbe ci-après présente l'ensemble des données enregistrées au point de mesures P4 :



Source : G2C Ingénierie, 2017.

Figure 25 : Pressions mesurées à P4.

EXPLOITATION DES RESULTATS

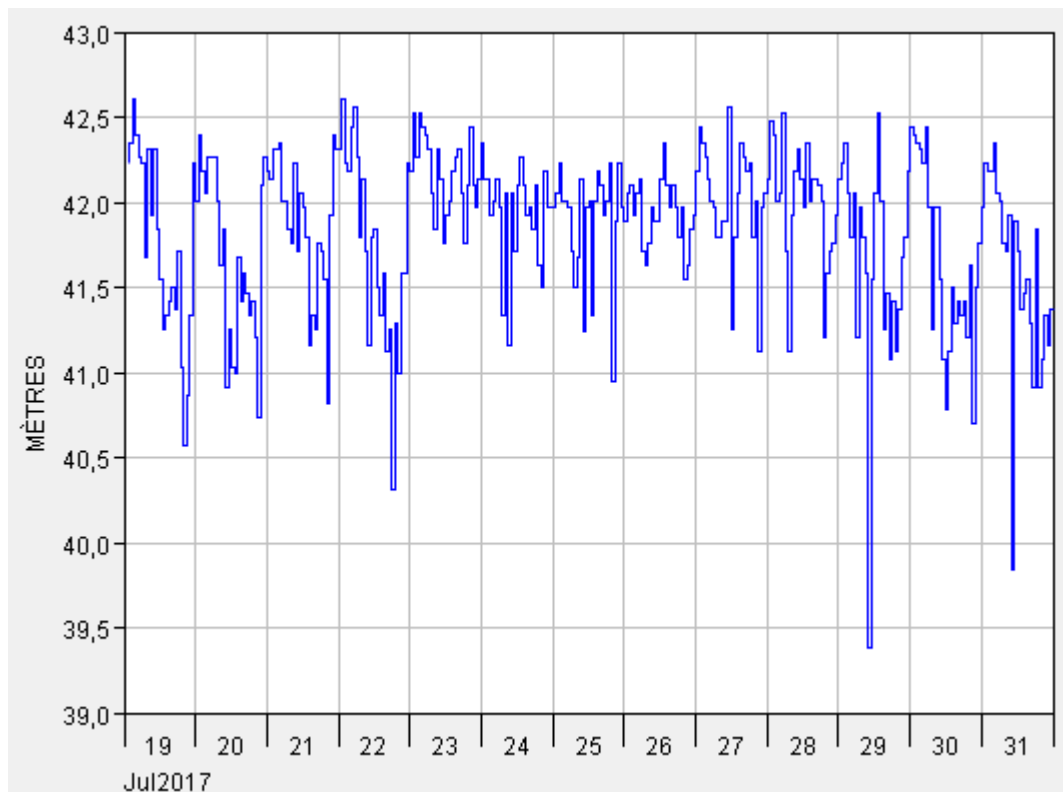
Au total, 3 744 mesures de pression ont été réalisées en ce point. Des variations cycliques sont observées entre les valeurs extrêmes de 20,90 et 25,08 mCE.

La pression moyenne en ce point est de 24,03 mCE (2,40 bars) et connaît des variations de plus ou moins 2,5 mCE. La pression de distribution en ce point du réseau est donc satisfaisante.

4.2.4.5. Point de mesures P6

DONNEES BRUTES

La courbe ci-après présente l'ensemble des données enregistrées au point de mesures P6 :



Source : G2C Ingénierie, 2017.

Figure 26 : Pressions mesurées à P6.

EXPLOITATION DES RESULTATS

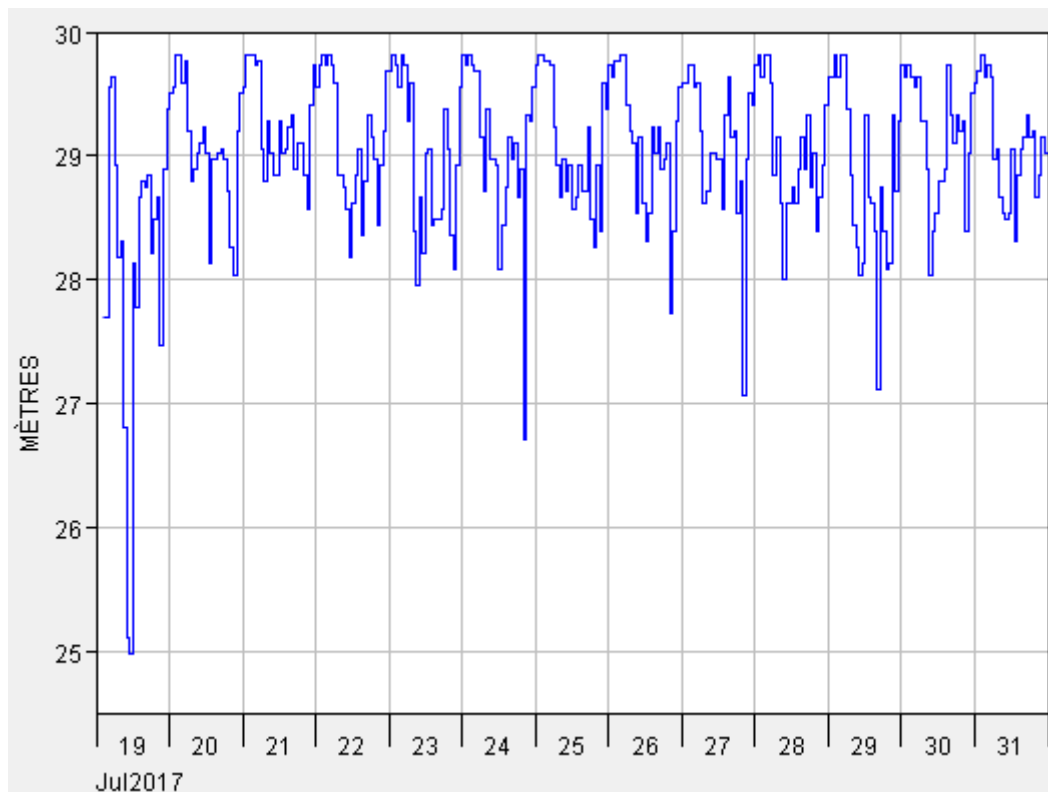
Au total, 3 744 mesures de pression ont été réalisées en ce point. Des variations cycliques sont observées entre les valeurs extrêmes de 33,65 et 43,84 mCE.

La pression moyenne en ce point est de 41,84 mCE (4,18 bars) et connaît des variations de plus ou moins 5 mCE. La pression de distribution en ce point du réseau est donc satisfaisante.

4.2.4.6. Point de mesures P7

DONNEES BRUTES

La courbe ci-après présente l'ensemble des données enregistrées au point de mesures P7 :



Source : G2C Ingénierie, 2017.

Figure 27 : Pressions mesurées à P7.

EXPLOITATION DES RESULTATS

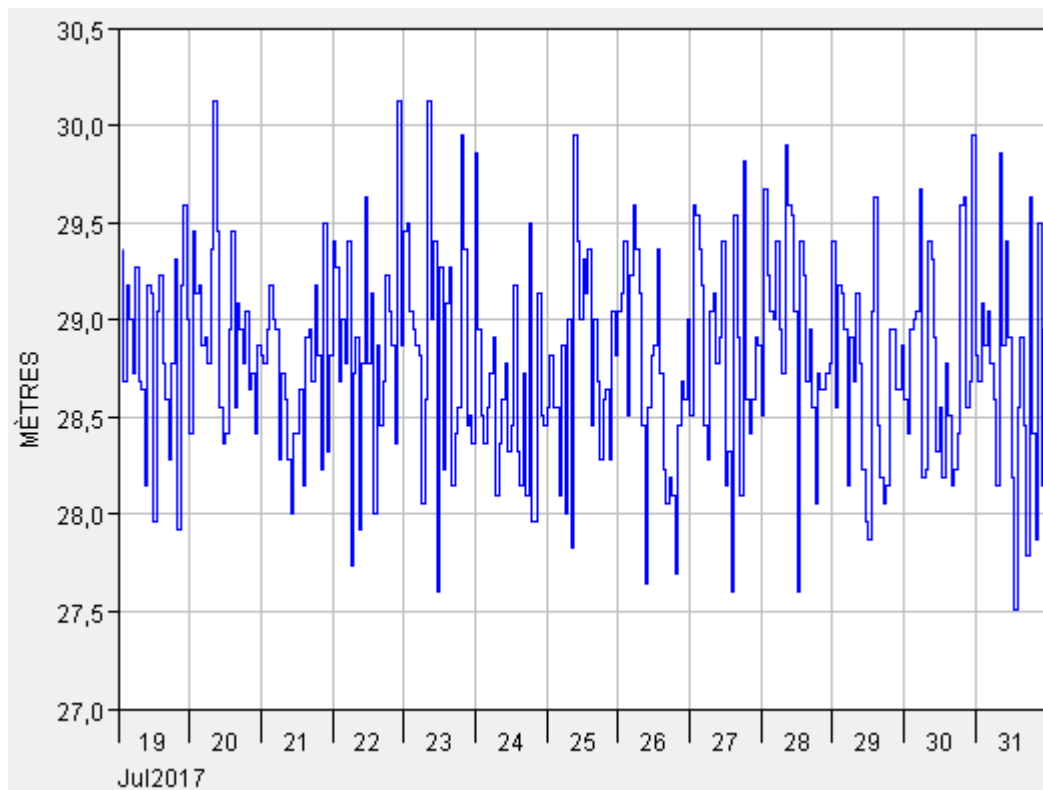
Au total, 3 744 mesures de pression ont été réalisées en ce point. Des variations cycliques sont observées entre les valeurs extrêmes de 14,91 et 31,94 mCE.

La pression moyenne en ce point est de 29,00 mCE (2,9 bars) et connaît des variations de plus ou moins 8,5 mCE. La pression de distribution en ce point du réseau est donc satisfaisante.

4.2.4.7. Point de mesures P8

DONNEES BRUTES

La courbe ci-après présente l'ensemble des données enregistrées au point de mesures P8 :



Source : G2C Ingénierie, 2017.

Figure 28 : Pressions mesurées à P8.

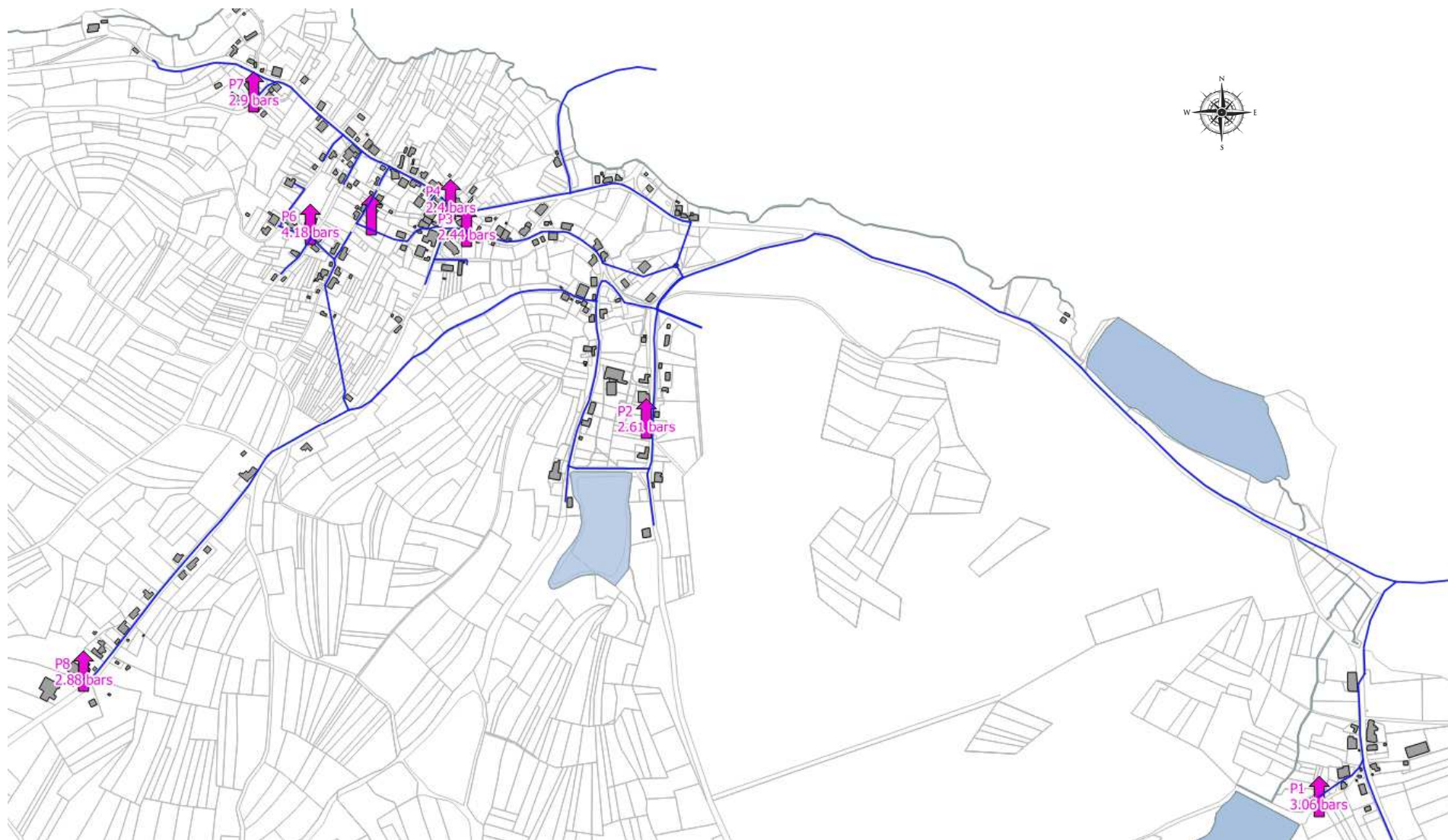
EXPLOITATION DES RESULTATS

Au total, 3 744 mesures de pression ont été réalisées en ce point. Des variations cycliques sont observées entre les valeurs extrêmes de 22,73 et 34,63 mCE.

La pression moyenne en ce point est de 28,79 mCE (2,88 bars) et connaît des variations de plus ou moins 6 mCE. La pression de distribution en ce point du réseau est donc satisfaisante.

4.2.5. Synthèse des résultats de pression

L'extrait cartographique suivant présente les pressions moyennes mesurées aux différents points de mesures :



Source : G2C Ingénierie, 2017 – Echelle non normalisée.

Figure 29 : Synthèse de résultats - Mesures de pression.

4.3. Marnage des réservoirs

4.3.1. Principe

Les réservoirs de la commune ont été équipés de « sondes piézométriques ». Ce type de matériel est constitué d'un capteur lesté, qui est déposé en fond de cuve, relié à un logger, resté en surface. Deux sondes ont donc été mises en place :

1. Dans la cuve du réservoir du Haut du Mont ;
2. Au sein du réservoir dit « Village ».

Les photographies suivantes présentent le matériel mis en place :



Source : G2C Ingénierie, 2017.

Figure 30 : Mesures de marnage – Réservoir Haut du Mont.



Source : G2C Ingénierie, 2017.

Figure 31 : Mesures de marnage – Réservoir Village.

De même que précédemment, le logger permet l'enregistrement des niveaux d'eau dans les cuves toutes les 5 minutes.

4.3.2. Déroulement de la campagne de mesures

Les sondes piézométriques ont été installées lors de la journée du 11 Mai 2017, puis déposées en date du 1^{er} Août 2017.

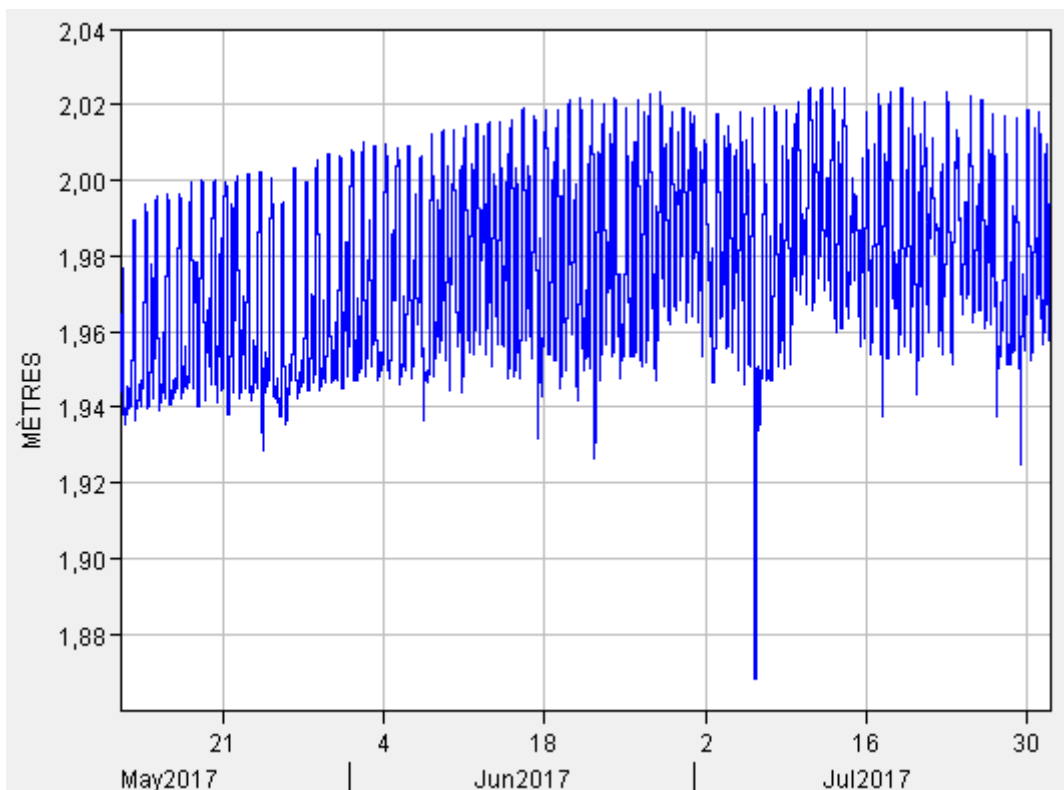
Les relevés des niveaux d'eau au sein des réservoirs ont donc été enregistrés à des pas de temps 5 minutes, entre les dates du 12 Mai et du 31 Juillet 2017, soit plus de 2,5 mois complets de mesures.

4.3.3. Exploitation des résultats

4.3.3.1. Réservoir du Haut du Mont

DONNEES BRUTES

La courbe ci-après présente l'ensemble des niveaux enregistrés au sein du réservoir du Haut du Mont :



Source : G2C Ingénierie, 2017.

Figure 32 : Niveau d'eau au sein du RV Haut du Mont.

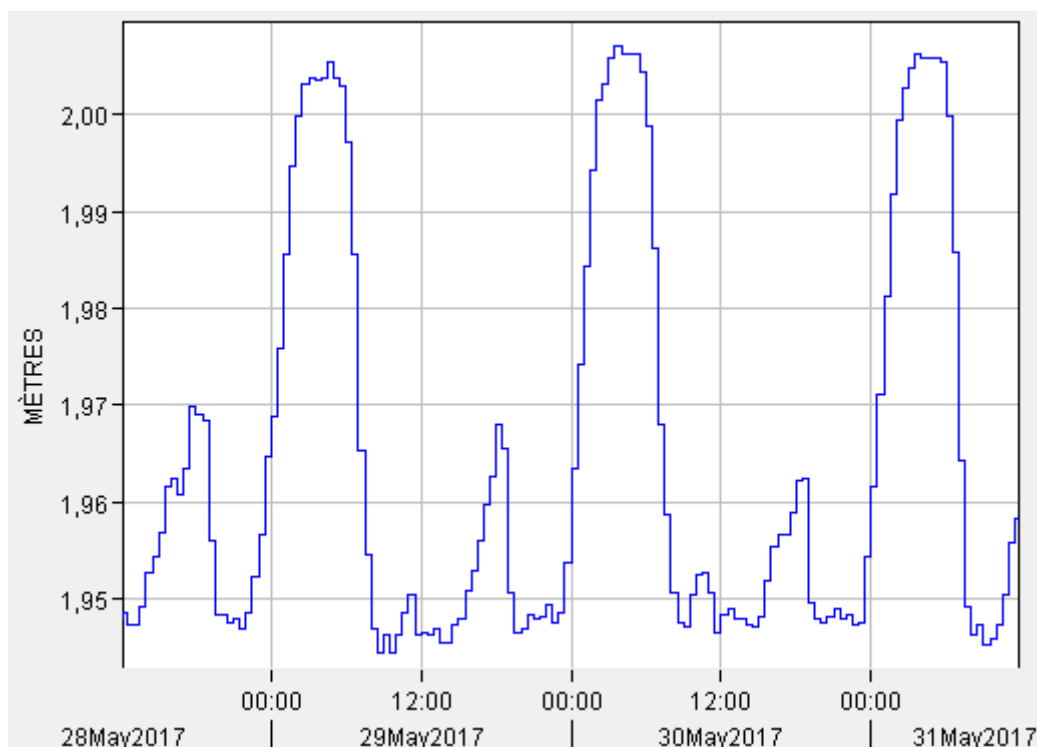
EXPLOITATION DES RESULTATS

Au total, 23 328 mesures de niveau d'eau ont été enregistrées en ce point. Le niveau d'eau courant varie entre les valeurs de 1,86 et 2,02 m. Le niveau le plus bas, apparu en date du 6 Juillet 2017, n'a pas d'explication particulière.

Ainsi, le niveau d'eau moyen au sein du réservoir du Haut du Mont a une hauteur moyenne de 1,98 m, soit un volume moyen de stockage de 51,3 m³.

MARNAGES JOURNALIERS

L'extrait suivant présente le marnage « type » du réservoir du Haut du Mont :



Source : G2C Ingénierie, 2017.

Figure 33 : Marnage « type » du RV Haut du Mont.

Ainsi, le niveau d'eau au sein de la cuve du réservoir du Haut du Mont ne varie que de 6 cm mais connaît tout de même un remplissage quotidien, entre 0h et 6h le matin. Une légère hausse du niveau d'eau a également lieu entre 14h et 17h, en lien avec la diminution des demandes domestiques lors de cette plage horaire.

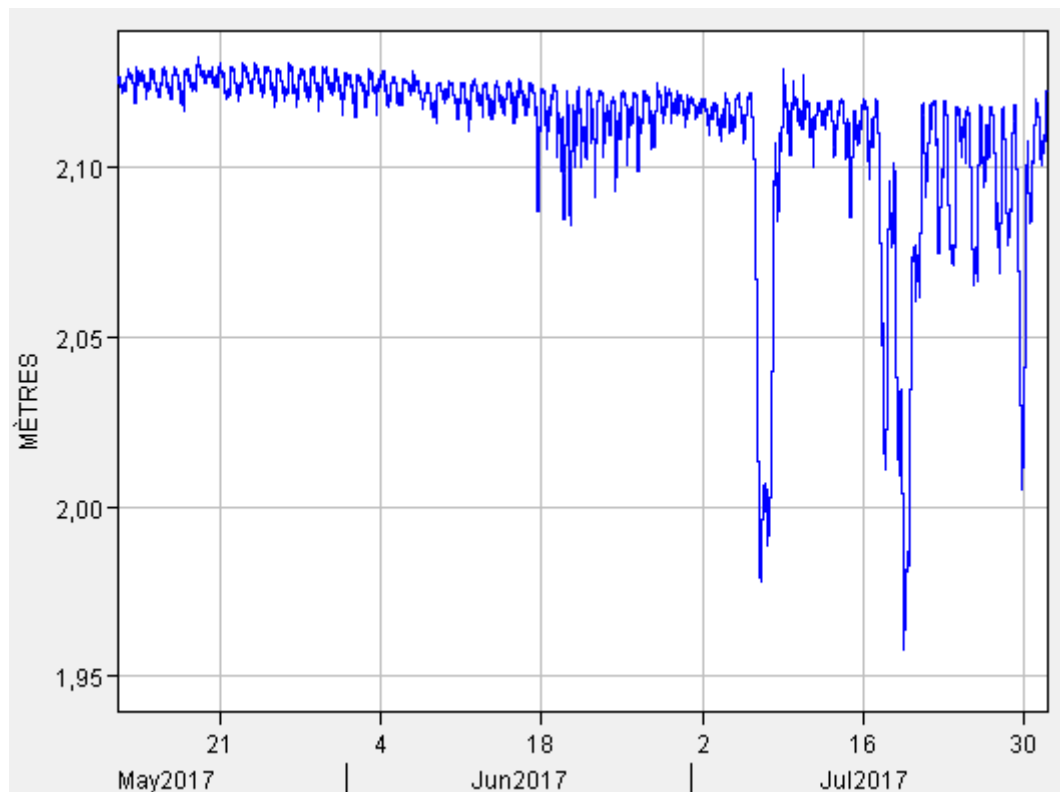
Ces marnages relativement faibles ne permettent une variation de volume utile que d'environ 1,55 m³ par jour. En prenant en compte les consommations journalières desservies par le réservoir (estimées à 30 m³/j), le temps de séjour des eaux est d'environ 1,5 jours.

Ce temps de séjour est inférieur à la limite de temps garantissant une bonne désinfection des eaux de consommation (2 jours).

4.3.3.2. Réservoir « Village »

DONNEES BRUTES

La courbe ci-après présente l'ensemble des niveaux enregistrés au sein du réservoir « Village » :



Source : G2C Ingénierie, 2017.

Figure 34 : Niveau d'eau au sein du RV Village.

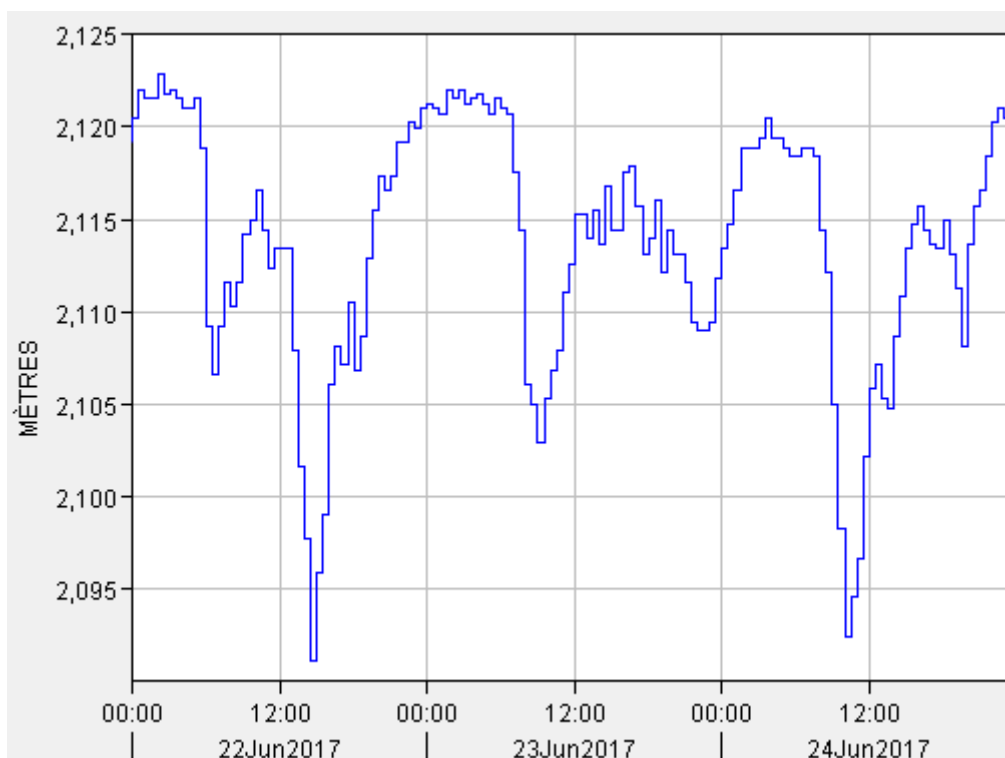
EXPLOITATION DES RESULTATS

Au total, 23 328 mesures de niveau d'eau ont été enregistrées en ce point. Le niveau d'eau varie entre les valeurs de 1,95 et 2,13 m. Trois niveaux bas, apparus en dates des 7, 19 et 29 Juillet 2017, atteignent respectivement 1,97 m, 1,95 m et 2m de hauteur d'eau et n'ont pas d'explications particulières.

Ainsi, le niveau d'eau moyen au sein du réservoir « Village » a une hauteur moyenne de 2,11 m, soit un volume moyen de stockage de 70 m³.

MARNAGES JOURNALIERS

L'extrait suivant présente le marnage « type » du réservoir « Village » :



Source : G2C Ingénierie, 2017.

Figure 35 : Marnage « type » du RV Village.

Ainsi, le niveau d'eau au sein de la cuve du réservoir « Village » ne varie que de 5 cm mais connaît tout de même un remplissage quotidien, entre 11h et 6h le matin.

Ces marnages relativement faibles ne permettent une variation de volume utile que d'environ 1,65 m³ par jour. En prenant en compte les consommations journalières desservies par le réservoir (estimées à 15 m³/j), le temps de séjour des eaux est d'environ 6 jours.

Ce temps de séjour est largement supérieur à la limite de temps garantissant une bonne désinfection des eaux de consommation (2 jours).

4.3.4. Synthèse des résultats de marnage

Les différents ouvrages de stockage de la commune connaissent des marnages quotidiens qui peuvent être qualifiés de « **très faibles** ». En effet, l'amplitude de ces marnages (qui n'atteint que quelques centimètres) entraîne un temps de séjour presque 3 fois supérieur à celui garantissant une désinfection correcte des eaux de distribution (à savoir 48 heures) au sein du réservoir « Village ».

Le fonctionnement des ouvrages étant régulé par la présence de robinets à flotteur, le marnage sera difficilement amplifiable sans recours à la mise en place de vannes automatiques, ce qui n'est pas recommandé pour une commune de cette ampleur.

La mise en place de points de chloration relais serait préférable et sera envisagée lors des propositions d'aménagements formulées en Phase 3.

4.4. Poteaux incendie

4.4.1. Principe

Les manipulations réalisées sur les poteaux incendie consistent à **mesurer les débits disponibles sous 1 bar**. En effet, la circulaire interministérielle du 10 Décembre 1951 indique que **la lutte contre l'incendie nécessite un débit de 60 m³/h, sous la pression dynamique de 1 bar, pendant 2 heures**.

Les essais ici réalisés ne permettent pas de vérifier que les débits sont disponibles pendant 2 heures, mais permettent tout de même d'imposer une pression de 1 bar et de mesurer les débits alors disponible.

Pour cela, les poteaux incendie sont tout d'abord purgés, afin d'éliminer tous les dépôts pouvant fausser les mesures. Puis un appareil adapté, communément appelé « testeur incendie », est branché sur la prise principale du poteau incendie. Une vanne, couplée à un manomètre, permet de faire varier la pression dynamique. Le système comprend également un débitmètre, qui permet de mesurer les débits instantanés correspondants aux différentes pressions testées (1 bar ici).

Comme évoqué précédemment, cette phase de la campagne de mesures a engendré **des difficultés logistiques**. En effet, les poteaux incendie présents sur le territoire de la commune sont de marque « Fonte Haut Marnaise » et datent des années 1936. Les raccords nécessaires à la réalisation des tests ne sont actuellement plus vendus dans le commerce, ni détenus par le SDIS 88. Une solution alternative a finalement été trouvée grâce à des raccords « fabriqués » par l'employé communal.

La photographie ci-dessous présente le matériel de test, ainsi que les raccords nécessaires :



Source : G2C Ingénierie, 2017.

Figure 36 : Mise en place du testeur incendie.

4.4.2. Déroulement de la campagne de mesures

Les manipulations de terrain ont été réalisées lors de la journée du 1^{er} Août 2017, en compagnie de M. Remolato (employé communal).

Malgré les difficultés logistiques rencontrées, les mesures sur les 10 poteaux incendie de la commune se sont déroulées dans de bonnes conditions.

Par ailleurs, deux bouches à incendie sont présentes sur le secteur des Trémeurs et une réserve incendie est située à l'entrée des Sauniers, mais ces infrastructures n'ont fait l'objet d'aucune mesure (les raccords nécessaires n'étant pas disponibles).

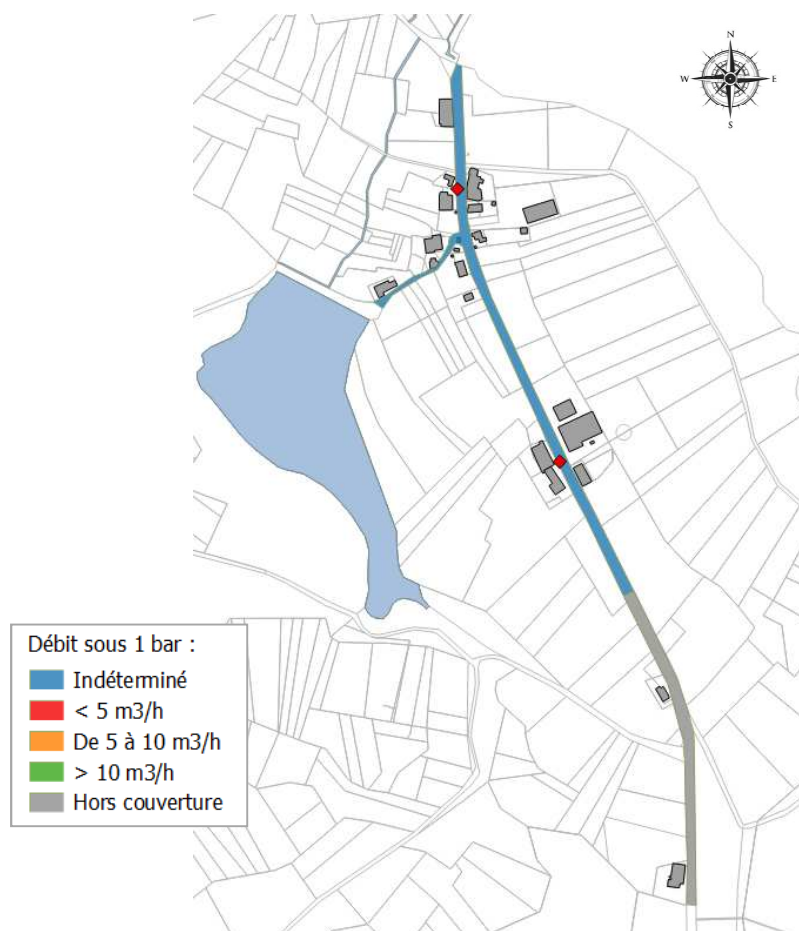
4.4.3. Exploitation des résultats

Les principales observations réalisées sont consignées au sein de **fiches descriptives des poteaux incendie**, qui sont fournies en *Annexe 1* du présent rapport.

Ces fiches détaillent notamment :

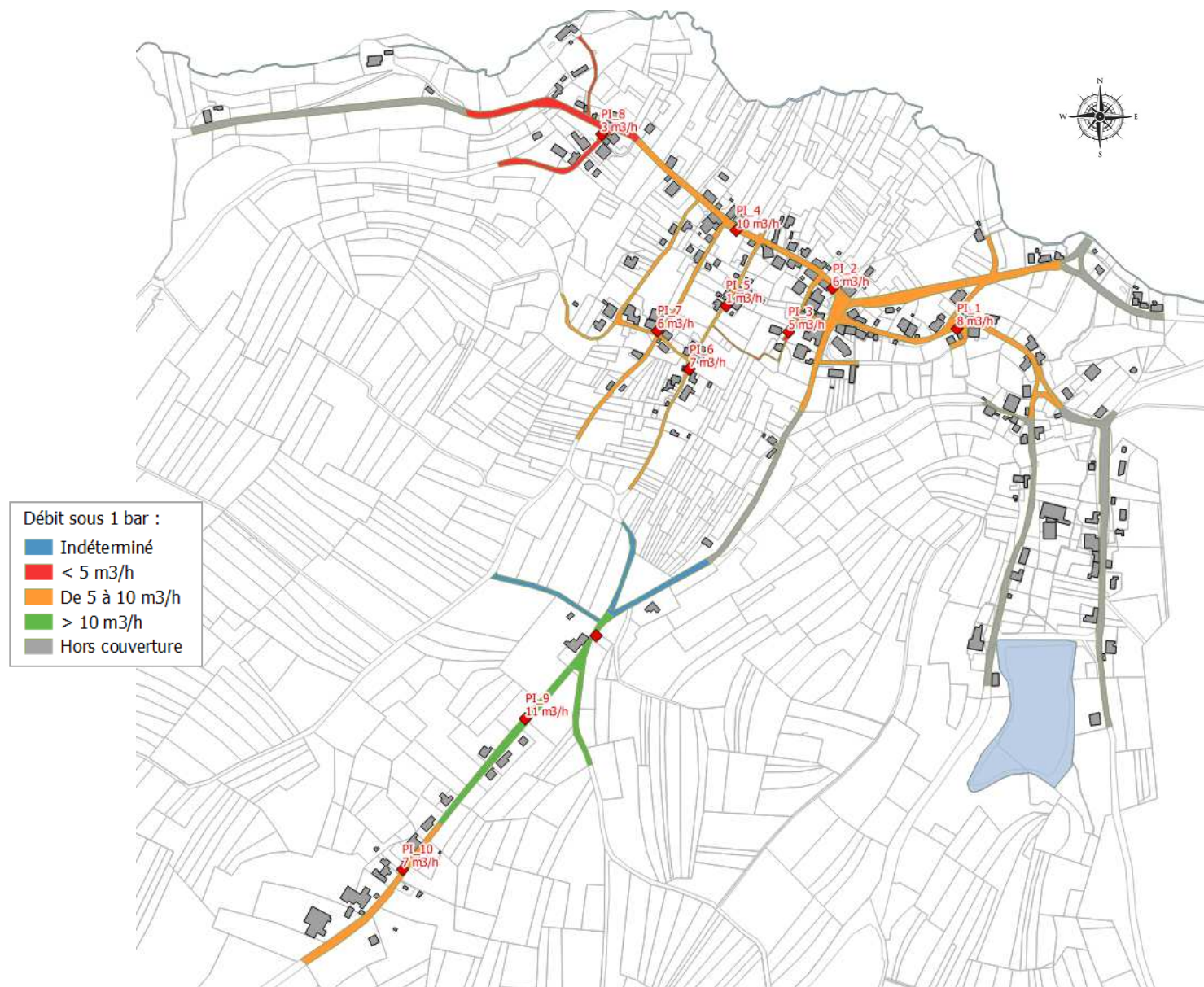
- Localisation du poteau incendie : Rue, cordonnées X, Y et Z ;
- Caractéristiques générales : marque, diamètre, protections, distances de manœuvre et distance à la voirie ;
- Etat extérieur : peinture, présence des obturateurs, manœuvrabilité, état du presse-étoupe ;
- Caractéristiques hydrauliques : pression statique, débit gueule bée et débit sous 1 bar ;
- Conformités hydrauliques et NFS62-200.

Les figures suivantes synthétisent les résultats obtenus :



Source : G2C Ingénierie, 2017 – Echelle non normalisée.

Figure 37 : Mesures sur poteaux incendie – Les Trémeurs.



Source : G2C Ingénierie, 2017 – Echelle non normalisée.

Figure 38 : Mesures sur poteaux incendie – Reste de la commune.

Les tableaux suivants reprennent les données principales des tests effectués :

Commune	Identifiant	Emplacement	Pression statique (bars)	Débit Max (m³/h)	Débit sous 1 bar (m³/h)	Conformité NFS62-200
Trémonzey	PI_01	1 Chemin du Haut du Mont	1,5 bars	16 m³/h	8 m³/h	NON
	PI_02	2 Place du Centre	1,2 bars	22 m³/h	6 m³/h	NON
	PI_03	4 Rue de la Fossé	1,9 bars	33 m³/h	5 m³/h	NON
	PI_04	14 Route de Fontenoy	1,7 bars	17 m³/h	10 m³/h	NON
	PI_05	8 Rue de la 2 ^{ème} Jus	1,3 bars	6 m³/h	1 m³/h	NON
	PI_06	20 Rue de la 2 ^{ème} Jus	2,2 bars	31 m³/h	7 m³/h	NON
	PI_07	14 Rue de la 1 ^{ère} Jus	3 bars	21 m³/h	6 m³/h	NON
	PI_08	3 Chemin de la Gotelle	1,4 bars	19 m³/h	3 m³/h	NON
	PI_09	18 Route des Sauniers	2,8 bars	14 m³/h	11 m³/h	NON
	PI_10	32 Route des Sauniers	2,4 bars	30 m³/h	7 m³/h	NON
	RI	3 Route des Sauniers	-	-	-	NON
	BI_1	6 Route des Trémeurs	-	-	-	NON
	BI_2	22 Route des Trémeurs	-	-	-	NON

Source : G2C Ingénierie, 2017.

Tableau 3 : Bilan des tests sur la défense incendie.

Ainsi, parmi les 10 poteaux incendie testés, le débit maximal observé sous 1 bar est de 10 m³/h, ce qui est bien loin des attentes du SDIS (60 m³/h pendant 2 heures). Par ailleurs, aucune des infrastructures n'est conforme à la norme NFS62-200 (accès aux équipements).

De part les débits mesurés très faibles, et les problèmes logistiques liés aux raccords nécessaires à une quelconque intervention, l'ensemble de la défense incendie de la commune est considérée comme obsolète. Ce volet fera l'objet d'une attention particulière en Phase 3 (propositions de travaux).

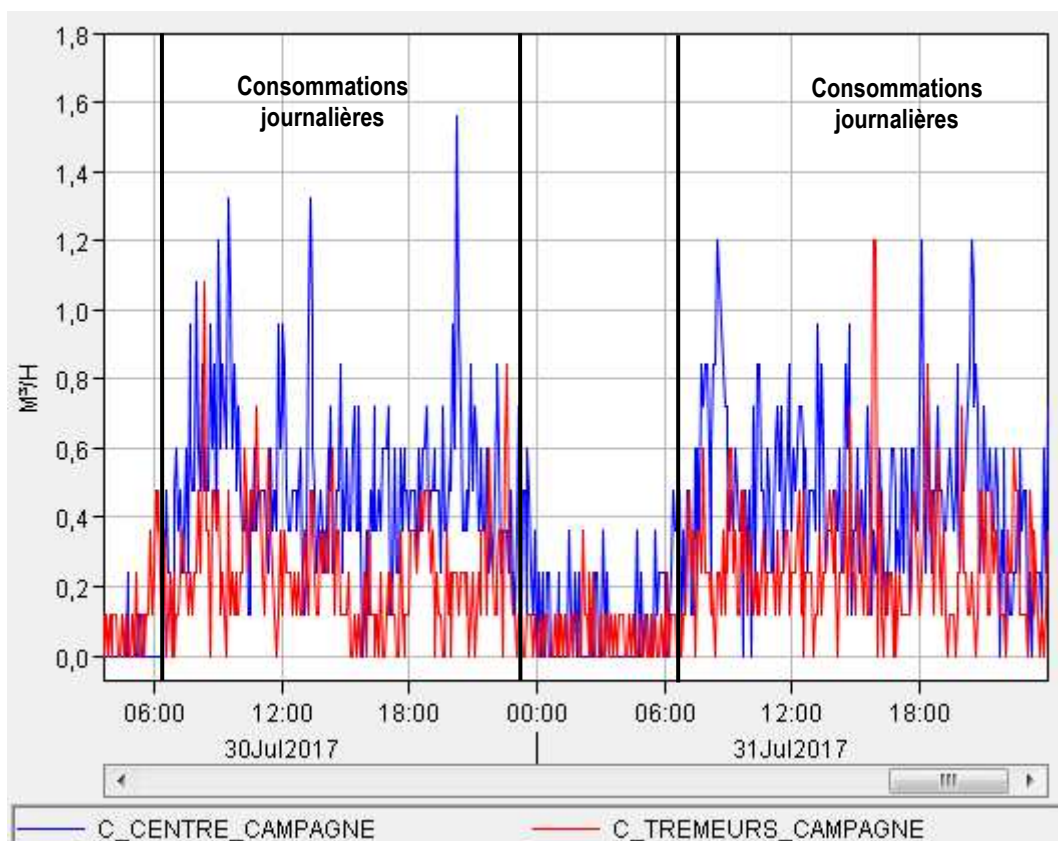
5. MISE EN COHERENCE DES DONNEES

La superposition de l'ensemble des données présentées ci-avant, notamment sur des dates similaires, est nécessaire afin de vérifier la cohérence de certaines données et analyser le fonctionnement des systèmes.

5.1. Débits de distribution

Comme analysé plus tôt, les débits de distribution permettent la construction des courbes de modulation sur chacun des sous-secteurs de distribution. Il a été vu que des pics de consommation quotidiens sont observés sur les différents secteurs et que ces pics, sont quasi simultanés (à quelques dizaines de minutes près).

La superposition de courbes de débits de distribution (C_Centre et C_Trèmeurs) permet de confirmer cette observation :



Source : G2C Ingénierie, 2017.

Figure 39 : Superposition des débits de distribution.

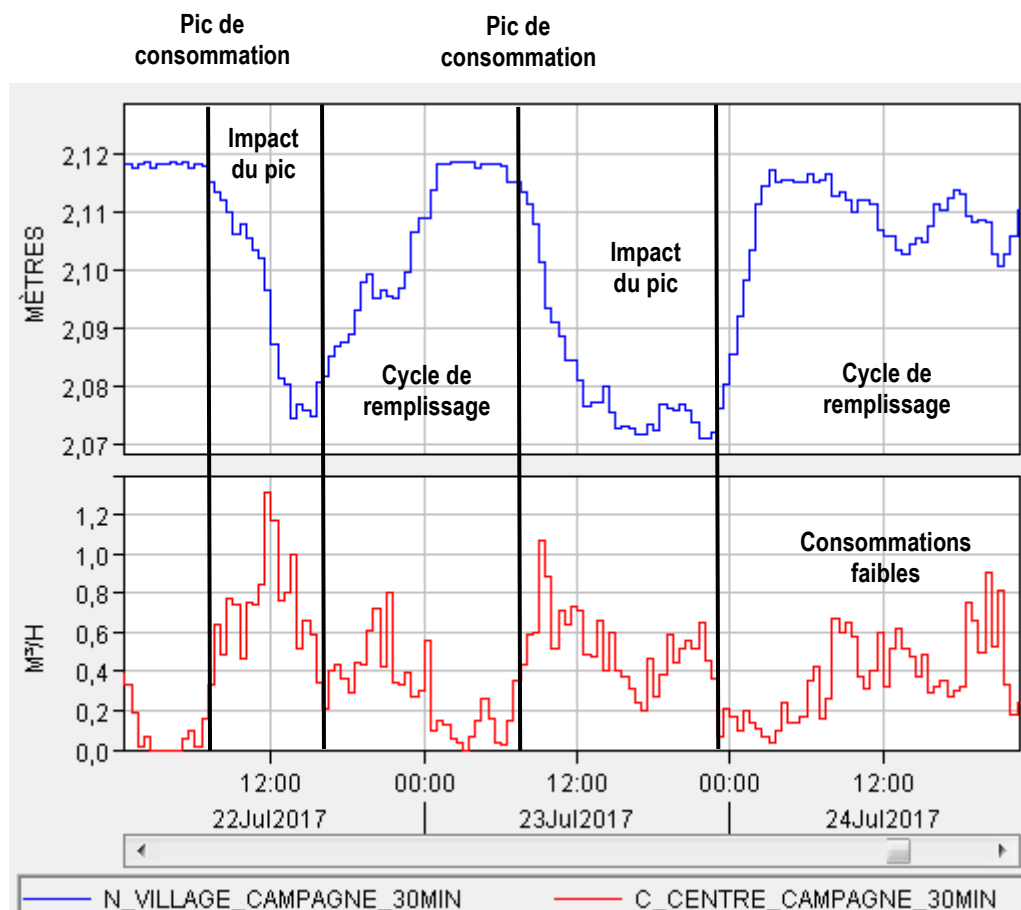
Ainsi, les consommations (et les courbes de modulation qui en découlent) sont, à quelques dizaines de minutes près, concomitantes sur le territoire de la commune.

5.2. Marnages et débits de distribution

Les débits de distribution sont à l'origine de la diminution du niveau d'eau au sein des réservoirs.

L'analyse se base ici sur le réservoir « Village » (courbe de niveau bleue ci-dessous) et les consommations du secteur de la Place du Centre (courbes de débit rouge ci-après).

Le niveau d'eau est globalement constant en tout début de journée, jusqu'à l'apparition du premier pic de consommation, vers 6h du matin. Les consommations dites « usuelles » sur le reste de la journée entraînent la diminution progressive du niveau d'eau jusqu'à la diminution des consommations en fin de journée et donc un nouveau cycle de remplissage du réservoir :



Source : G2C Ingénierie, 2017.

Figure 40 : Impact des consommations sur le marnage – Réservoir « Village ».

Les consommations desservies par le réservoir « Village » sont donc en cohérence avec ses cycles de marnage.

5.2.1. Synthèse de la mise en cohérence

Les débits de distribution ont, à quelques dizaines de minutes près, les mêmes allures et sont cohérents avec les marnages des réservoirs. Ces constats valident donc la cohérence des données mesurées.

6. CAMPAGNE DE SECTORISATION ET DE RECHERCHES DE FUITES

6.1. Principe

Comme évoqué précédemment dans le rapport, **les débits transitant au sein des réseaux entre 23h et 5h (période nocturne) sont majoritairement liés à la présence de fuites** sur le réseau de distribution. En effet, mis à part les appareils programmables (lave vaisselle, lave linge...) et les chasses d'eau éventuelles, les demandes d'eaux nocturnes sont nulles. La présence de telles consommations ponctuelles (chasses d'eau par exemple) sont détectables lors des opérations de terrain et ne perturbent en rien les résultats pouvant être obtenus.

Ainsi, la recherche de fuites nocturnes s'effectue selon deux équipes :

1. Le personnel de G2C Ingénierie, qui travaille au niveau des compteurs de sectorisation en place ;
2. M. Remolato, employé communal, qui manœuvre les différentes vannes.

Pour rappel, le personnel de G2C Ingénierie n'a, en aucun cas, le droit de manœuvrer seul les vannes de sectorisation, d'où la présence d'un représentant communal sur place.

Préalablement aux opérations de terrain, des plans de sectorisation ont été établis en fonction de la localisation des différentes vannes de sectionnement fonctionnelles au sein des réseaux.

Le travail nocturne consiste à **comptabiliser les volumes s'écoulant en 86 secondes** (à l'aide des roues dentées présentes sur les compteurs) **afin d'estimer les volumes de fuites en m³/j**. En effet, une journée totalisant 86 400 secondes, l'utilisation d'un pas temps 86 secondes permet de simplifier les estimations par utilisation d'un facteur 1 000. **La fermeture de jeux de vannes données permet d'isoler des secteurs de distribution** et donc d'étudier l'impact des différents secteurs sur le volume de fuites initial.

Nota : la recherche de fuites par cette méthode se limite à la localisation de fuites supérieures à 5 m³/j, les incertitudes de mesure en dessous de ce seuil étant trop importantes.

Les équipes sont donc en communication permanente afin pour l'une, de manœuvrer les vannes indiquées par G2C Ingénierie, pour l'autre réaliser plusieurs mesures successives (ce qui permet de s'affranchir des éventuelles consommations nocturnes pouvant fausser les mesures réalisées).

6.2. Déroulement de la nuit

G2C Ingénierie tenait à remercier M. Remolato pour sa présence lors des opérations nocturnes.

La sectorisation nocturne des réseaux a été réalisée lors de la nuit du 11 au 12 Mai 2017, dans de bonnes conditions.

6.3. Exploitations des résultats

Pour rappel, les compteurs de sectorisation en place permettent le découpage de cinq sous-secteurs de distribution :

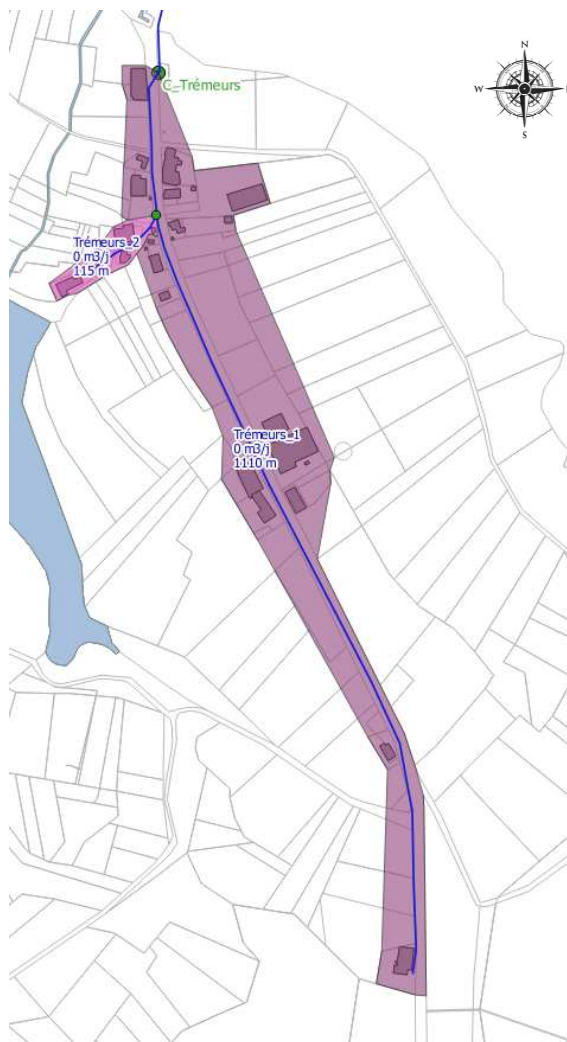
1. C_Haut_Mont : volumes de distribution vers le secteur du Haut du Mont et des Sauniers ;
2. C_Trémeurs : volumes de distribution vers les Trémeurs ;
3. C_Fontenoy : volumes de distribution vers la Route de la Gare et la Route de Fontenoy ;
4. C_Centre : volumes de distribution vers la Place du Centre ;
5. C_Jus : volumes de distribution vers les Rues de la Basse et Haute Jus.

La recherche de fuites par sous-secteurs de distribution est affinée par la manœuvre des différentes vannes en place, qui permettent l'isolement de tronçons à l'intérieur même du sous-secteur de distribution.

Les paragraphes suivants s'attachent à la description des résultats de recherches de fuites sur l'ensemble de ces sous-secteurs, en détaillant chacun des tronçons concernés.

6.3.1. Secteur des Trémeurs

L'hélice du compteur C_Trémeurs ne tournait pas lors des opérations de terrain. La figure ci-après présente les résultats par secteurs de recherches de fuites, et précise les linéaires de réseau concernés :



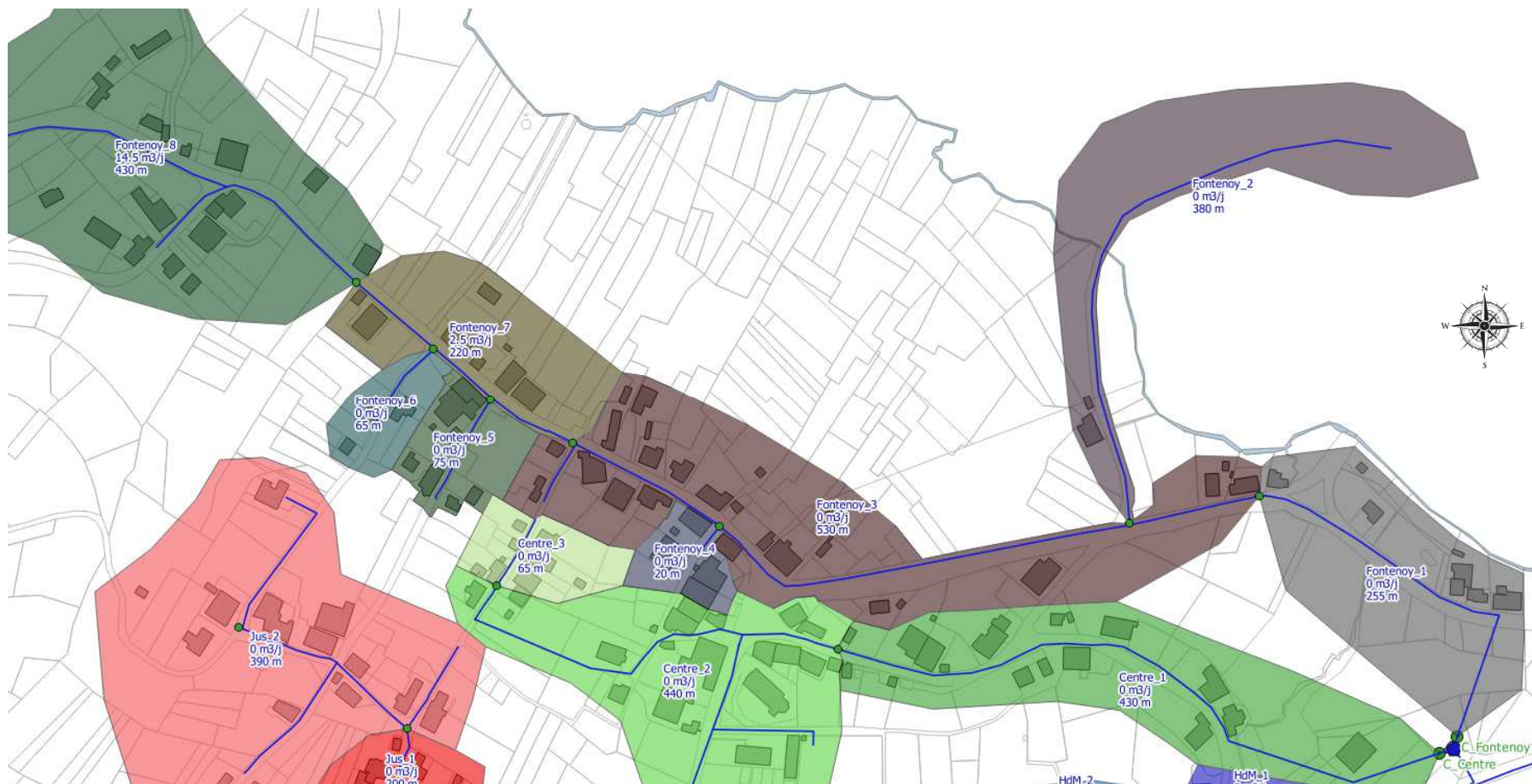
Source : G2C Ingénierie, 2017 – Echelle non normalisée.

Figure 41 : Résultats de la sectorisation nocturne – Les Trémeurs.

Aucune fuite n'est présente dans le secteur des Trémeurs.

6.3.2. Secteur de Fontenoy

Lors de notre intervention sur site, le compteur C_Fontenoy indiquait des fuites à hauteur de 17 m³/j. La figure ci-après présente les résultats par secteurs de recherches de fuites, et précise les linéaires de réseau concernés :



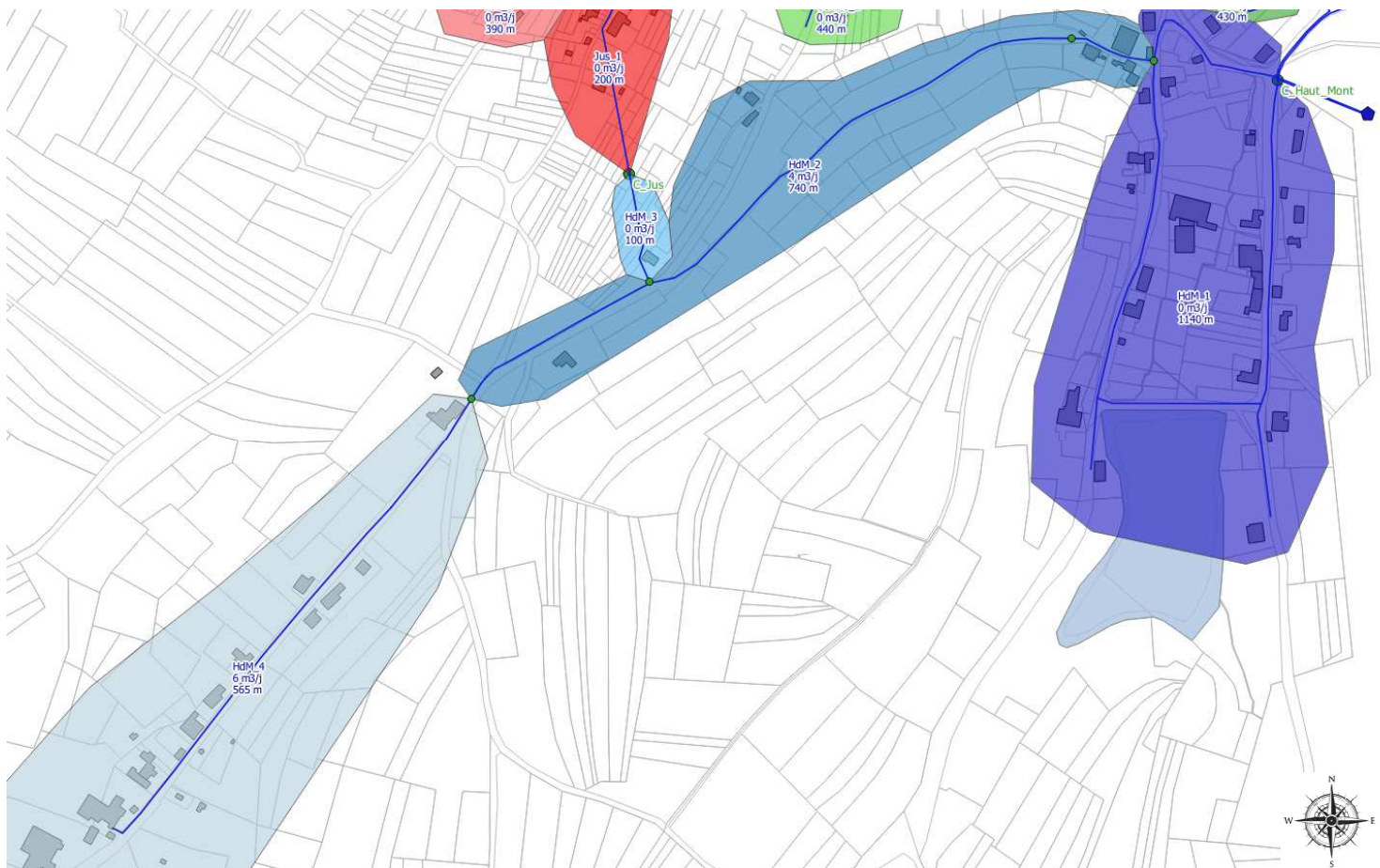
Source : G2C Ingénierie, 2017 – Echelle non normalisée.

Figure 42 : Résultats de la sectorisation nocturne – Route de Fontenoy.

Ainsi, des fuites à hauteur de 17 m³/j sont présentes sur le secteur de la Route de Fontenoy, dont 14,5 m³/j en extrémité de réseau (à partir du 32 Route de Fontenoy) et 2,5 m³/j entre les habitations 12 et 24 Route de Fontenoy. Les linéaires concernés sont d'environ 650 ml, matériaux fonte et PEHD.

6.3.3. Secteur du Haut du Mont

Lors de notre intervention sur site, le compteur C_Haut_Mont indiquait des fuites à hauteur de 10 m³/j. La figure ci-après présente les résultats par secteurs de recherches de fuites, et précise les linéaires de réseau concernés :



Source : G2C Ingénierie, 2017 – Echelle non normalisée.

Figure 43 : Résultats de la sectorisation nocturne – Le Haut du Mont.

Ainsi, des fuites à hauteur de 10 m³/j sont présentes sur le secteur du Haut du Mont, dont 6 m³/j au lieu dit Les Sauniers et 4 m³/j sur le Chemin des Champs Jobard. Les linéaires concernés sont d'environ 1 305 ml, matériaux fonte et PVC.

6.3.4. Secteur de la Place du Centre

L'hélice du compteur C_Centre ne tournait pas lors des opérations de terrain. La figure ci-après présente les résultats par secteurs de recherches de fuites, et précise les linéaires de réseau concernés :



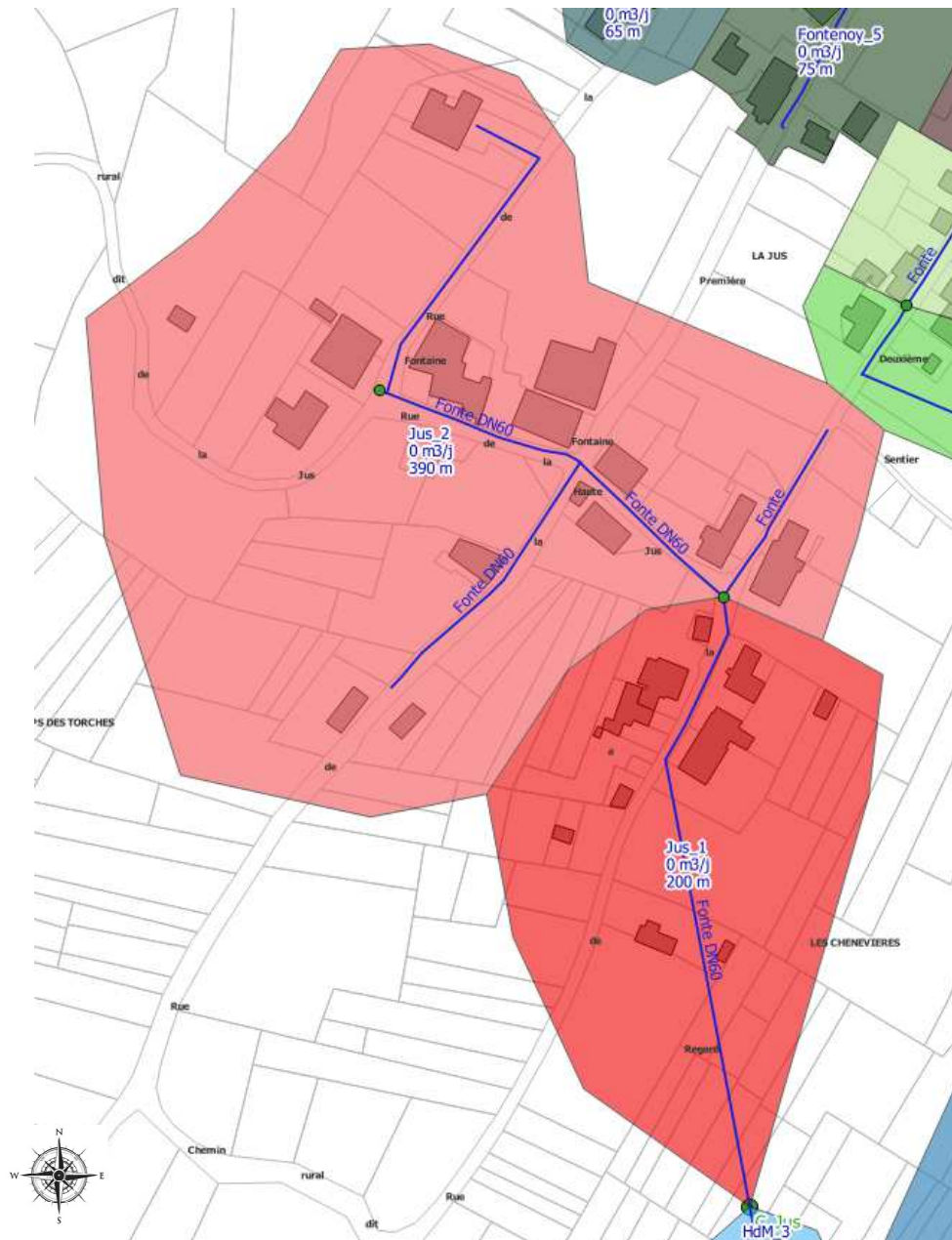
Source : G2C Ingénierie, 2017 – Echelle non normalisée.

Figure 44 : Résultats de la sectorisation nocturne – Place du Centre.

Aucune fuite n'est présente dans le secteur de la Place du Centre.

6.3.5. Secteur des Jus

L'hélice du compteur C_Jus ne tournait pas lors des opérations de terrain. La figure ci-après présente les résultats par secteurs de recherches de fuites, et précise les linéaires de réseau concernés :



Source : G2C Ingénierie, 2017 – Echelle non normalisée.

Figure 45 : Résultats de la sectorisation nocturne – Les Jus.

Aucune fuite n'est présente dans le secteur des Jus.

6.3.6. Synthèse de la sectorisation nocturne

En complément des investigations menées sur le terrain et des résultats de la campagne de mesures de débits, **une analyse de cohérence globale** a été réalisée grâce aux relevés des compteurs effectués chaque vendredi matin par M. Remolato.

Ces derniers ont été moyennés et indiquent les volumes suivants :

	Volume moyen journalier	Mise en cohérence
5 compteurs de distribution	72,3 m ³ /j	72,3 m ³ /j
Consommation des abonnés	45,2 m ³ /j	72,2 m ³ /j
Volumes de fuites détectés	27 m ³ /j	

Source : G2C Ingénierie, 2017.

Tableau 4 : Mise en cohérence des volumes de fuites.

Ainsi, les volumes de fuites mis en évidence lors de la sectorisation nocturne sont cohérents. En effet, une fois ajoutés aux volumes de consommation des abonnés, la somme est égale à l'ensemble des volumes comptabilisés sur la distribution.

Par ailleurs, les relevés des volumes d'adduction ont été analysés. Il apparaît alors qu'une moyenne de 155 m³/j soit comptabilisée en sortie de la station de traitement. Cette indication permet l'estimation des fuites sur le réseau d'adduction de la commune, à savoir environ 85 m³/j.

Cependant, la majorité du réseau d'adduction étant composé de canalisations fonte de DN100, des recherches acoustiques peuvent facilement être engagées afin de localiser précisément cette fuite.

Il apparaît donc que des fuites, à hauteur de 85 m³/j, sont localisées sur la conduite d'adduction principale de la commune.

Le tableau suivant reprend les principaux résultats issus de la sectorisation nocturne des réseaux et détaille les linéaires de réseaux sur lesquels les fuites peuvent être localisées :

Secteur	Linéaire de réseau	Volume de fuites	Indice Linéaire de Pertes	Linéaire concerné
Les Trémeurs	1 225 ml	-	-	-
Fontenoy	1 975 ml	17 m ³ /j	8,6 m ³ /j/km	650 ml
Centre	935 ml	-	-	-
Jus	590 ml	-	-	-
Haut du Mont	2 545 ml	10 m ³ /j	3,9 m ³ /j/km	1 350 ml
Adduction	3 475 ml	85 m ³ /j	24,5 m ³ /j/km	3 475 ml

Source : G2C Ingénierie, 2017.

Tableau 5 : Résultats de la sectorisation nocturne des réseaux.

Des techniques d'investigations complémentaires doivent être envisagées sur les tronçons concernés par des fuites, telle que la pose de matériel d'écoute par exemple, afin de localiser encore plus précisément les fuites.

A la vue de la répartition des fuites sur le territoire de la commune, ces investigations sont à engager de manière prioritaire sur le réseau d'adduction principal.

Nota : les techniques d'écoute acoustique semblent ici les mieux adaptées. En effet, la partie aval du réseau d'adduction (la plus ancienne et donc susceptible d'être soumise à la présence de fuites) est en fonte, matériau renvoyant les meilleurs résonnances.

Les volumes de fonctionnement relevés lors du mois de Mai 2017 aboutissent à un **rendement net de 42,9%**.

La suppression des fuites présentes sur l'adduction, permettrait d'atteindre un rendement d'environ 93%.

7. CONCLUSION DE LA CAMPAGNE DE MESURES

Malgré certaines difficultés logistiques initiales, la campagne de mesures hydrauliques s'est déroulée dans de bonnes conditions, et sur **une durée globale de 13 jours pleins**. Les dérives de données ont été minimales et seules les données d'un enregistreur de pression et d'une mesure de débits n'ont pas été exploitables.

Au total, ont été recueillis :

- Les **débits mis en distribution** au niveau de cinq compteurs de sectorisation ;
- Le **marnage** des deux réservoirs de la commune ;
- Les **pressions de distribution** au sein de 7 habitations particulières.

D'une manière générale, les courbes de consommation des différents sous-secteurs connaissent deux pics de consommation quotidiens, le premier vers 8 - 10h et le second aux alentours de 19 - 20 h.

Bien qu'assez faibles, les marnages des réservoirs sont quotidiens et sont en lien direct avec les variations de consommation évoquées plus tôt.

Les pressions de fonctionnement n'ont mis en exergue aucune zone de pression extrême (ni trop forte, ni trop faible).

La totalité des poteaux incendie ne sont ni conformes d'un point de vue hydraulique, ni d'un point de vue de leur configuration d'accès (norme NFS62-200).

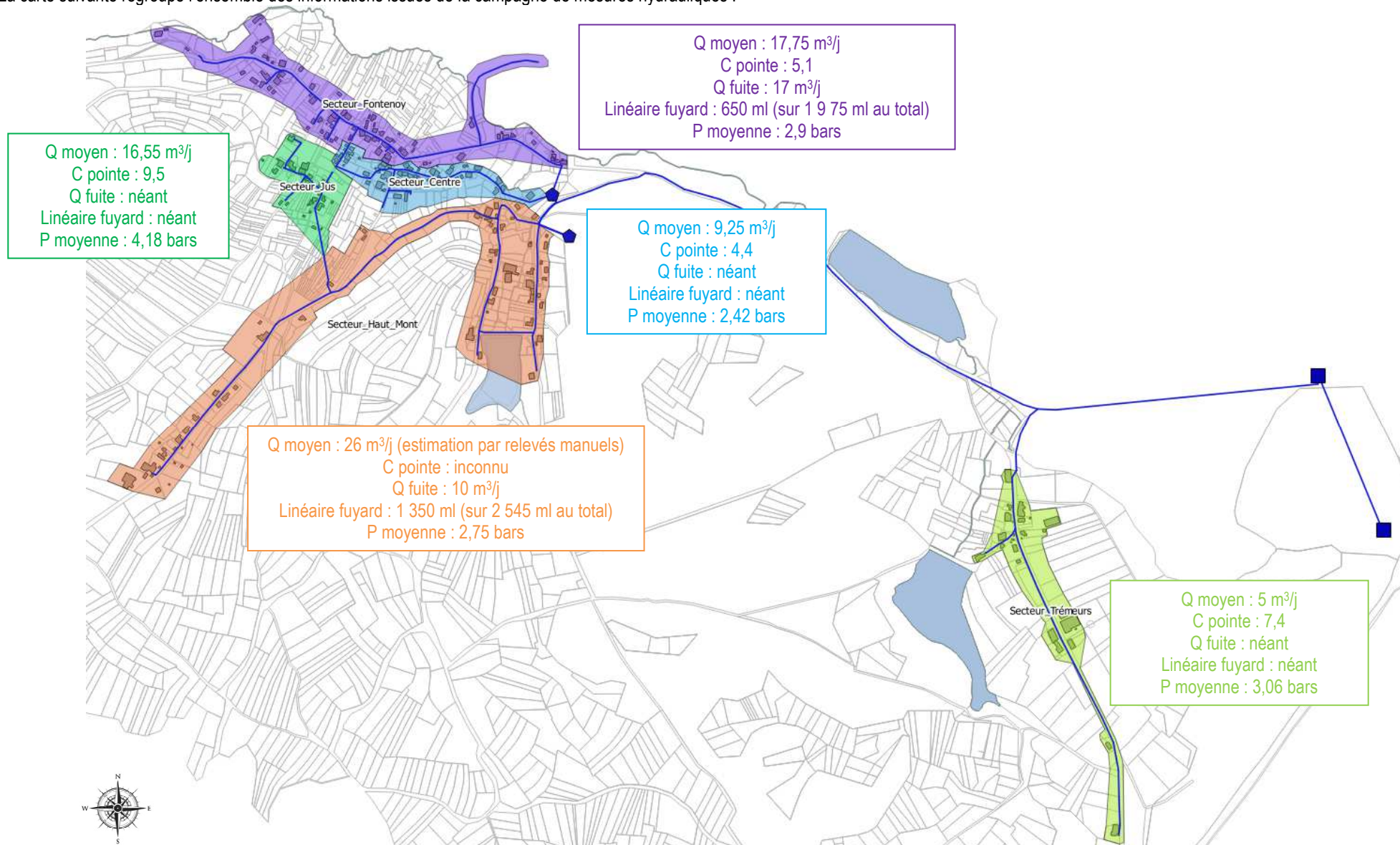
Les données mesurées sont en cohérence les unes avec les autres, sans réel décalage temporel.

La sectorisation nocturne des réseaux a montré l'existence des fuites suivantes :

- 10 m³/j sur le secteur du Haut du Mont (6 m³/j au niveau des Sauniers et 4 m³/j sur le Chemin des Champs Jobard) ;
- 17 m³/j sur la Route de Fontenoy (14,5 m³/j en extrémité de réseau et 2,5 m³/j entre le 12 et le 24 Route de Fontenoy) ;
- 85 m³/j sur l'adduction principale de la commune.

L'ensemble de ces données permettront de définir des jours de calage (représentatifs d'un fonctionnement « type » des réseaux) afin de réaliser l'ajustement et le calage du modèle informatique qui va suivre.

La carte suivante regroupe l'ensemble des informations issues de la campagne de mesures hydrauliques :



Source : G2C Ingénierie, 2017 – Echelle non normalisée.

Figure 46 : Synthèse globale des résultats.

8. MODELISATION HYDRAULIQUE DES RESEAUX

La modélisation mathématique est un outil permettant l'**analyse fine du fonctionnement des réseaux d'eau potable** et permet la **simulation d'aménagements futurs**, et/ou améliorations des infrastructures, afin d'en étudier l'impact. Les phases de modélisation s'effectuent toujours suite à une **campagne de mesures hydrauliques afin de valider les résultats issus des calculs mathématiques**.

8.1. Objectifs de la modélisation

Les objectifs de la modélisation sont multiples :

- Vérifier la constitution du réseau (diamètres, altitudes...) ;
- Dresser le diagnostic hydraulique du fonctionnement des réseaux (pressions, vitesses et sens d'écoulement...) ;
- Suivre la qualité des eaux (temps de séjour, diffusion de pollution...) ;
- Etudier des situations de crise (pollution, panne mécanique, ressource indisponible, casses...) ;
- Analyser de la défense incendie ;
- Optimiser les coûts énergétiques (temps de fonctionnement des pompes...) ;
- Définir des aménagements et examiner des solutions envisageables pour optimiser le fonctionnement du réseau ;
- Etudier l'impact d'une augmentation de la demande en eau.

L'un des objectifs principaux de cette phase est d'analyser de manière fine le fonctionnement actuel des réseaux d'eau potable et d'en améliorer certains aspects, le cas échéant.

8.2. Construction du modèle

Le modèle hydraulique a été construit sur la base des données cartographiques éditées lors de la Phase 1 de l'étude. Il a ensuite été complété au regard des différentes étapes de construction détaillées ci-après. Enfin, son calage a été réalisé à l'aide des données de la campagne de mesures hydrauliques.

8.2.1. Logiciel de modélisation utilisé

L'outil de modélisation retenu est le logiciel EPANET. Il est développé par l'EPA – Agence Fédérale de Protection de l'Environnement des Etats Unis et se base sur une méthode de résolution des équations de KIRCHOFF, de type hybride. Ce logiciel est dit « libre » et ne nécessite pas l'acquisition d'une licence d'exploitation.

Le logiciel EPANET permet de modéliser toutes les configurations de réseau, et permet la prise en compte de tous les appareils rencontrés au sein de réseaux d'eau potable (pompe à vitesse fixe ou variable, STAB amont, STAB aval, brise charge, vanne télécommandée, vanne altimétrique, surpresseur...) et leur régulation, qu'elle soit simplement basée sur une grandeur hydraulique à un point donné du réseau ou sophistiquée. En effet, un éditeur de régulateur "logique", est implémenté dans le logiciel. Plusieurs types de consommateurs, possédant leur propre courbe de consommation journalière, peuvent également être associés à un même nœud.

EPANET calcule la vitesse et le débit dans chaque conduite, la pression et la charge à chaque nœud, la hauteur d'eau dans chaque réservoir et l'évolution de chaque constituant chimique propre à la qualité de l'eau (chlore, nitrate...) dans tout le réseau, que ce soit en statique ou régime dynamique. EPANET permet de définir des réactions du premier ordre, entre les composants chimiques propres à la qualité de l'eau et les composants du réseau (réaction avec les parois des conduites...).

EPANET permet également de calculer les temps de séjour, temps de parcours et de suivre l'origine de l'eau (suivi d'un constituant injecté au niveau d'une source).

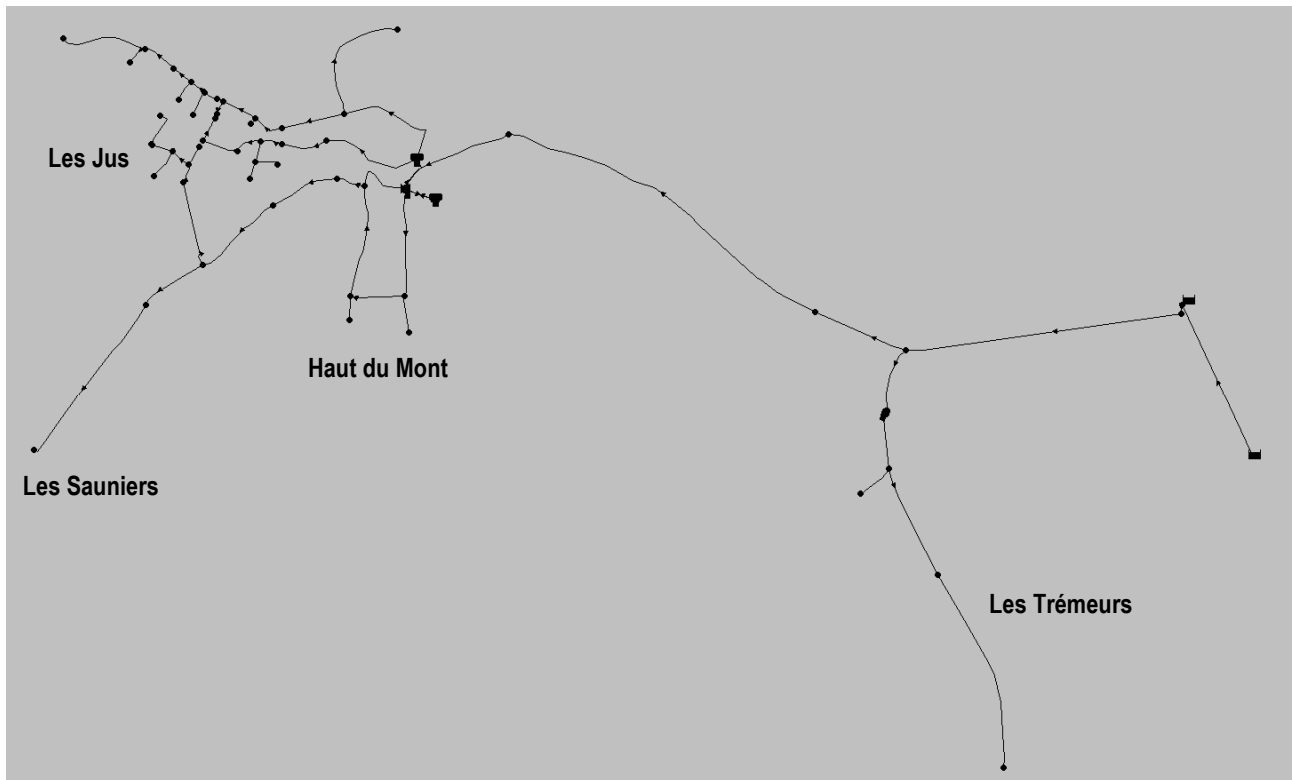
EPANET, qui est un logiciel libre, est donc adapté aux demandes présentes dans le CCTP de l'étude.

8.2.2. Ossature du modèle

Le réseau modélisé comprend :

- 64 nœuds ;
- 65 canalisations, pour une longueur totale de 10,55 km ;
- 2 réservoirs ;
- 2 ressources ;
- 2 pompes.

La figure ci-après présente l'ossature du modèle :



Source : G2C Ingénierie, 2017.

Figure 47 : Ossature du modèle mathématique.

Le réseau modélisé comprend l'ensemble des canalisations de la commune, soit 10,55 km, sans limitation de diamètres, à l'exception des branchements particuliers qui ne sont pas ici pris en compte.

8.2.3. Attribution de l'altitude des nœuds

Afin de retranscrire au mieux les variations de pression au sein des réseaux, **il est nécessaire d'affecter à chacun des nœuds de l'ossature du modèle une altitude**. En effet, les différences d'altitudes constituent un paramètre essentiel dans les variations de charges hydrauliques et permet donc d'identifier d'éventuels secteurs soumis à des pressions trop faibles, ou trop fortes.

L'attribution des altitudes aux nœuds a été possible grâce à l'utilisation du tamis de points GPS réalisés par G2C Ingénierie dans le cadre de la mise en place de la base de données cartographiques. La figure suivante présente l'étendue de ce tamis de points :



Source : G2C Ingénierie, 2017 – Echelle non normalisée.

Figure 48 : Données altimétriques sur le territoire d'étude.

Ces 216 points, ont alors permis le calcul d'un Modèle Numérique de Terrain (MNT) servant à l'extrapolation des altitudes sur l'ensemble du territoire de l'étude. En effet, les altitudes sont calculées, et donc estimées, en fonction des distances par rapport aux tamis de points disponible.

La figure suivante présente ce MNT, sur lequel les variations d'intensité représentent les variations d'altitude :



Source : G2C Ingénierie, 2017 – Echelle non normalisée.

Figure 49 : Construction du MNT sur le territoire d'étude.

La localisation des nœuds du réseau, par superposition avec le MNT créé, permet donc l'association d'une altitude à chacun des points stratégiques de l'ossature du modèle.

Ainsi, chacun des nœuds du modèle s'est vu associé une altitude la plus précise possible.

8.2.4. Etude des consommations

Les consommations d'eau potable, en provoquant une sortie d'eau du réseau principal, sont directement à l'origine de la circulation d'eau dans les canalisations. Leur représentation dans le modèle hydraulique est donc capitale afin de retranscrire au mieux les débits. Les consommations d'eau sont donc, dans un premier temps, réparties dans l'espace (au sens physique, chaque compteur représentant un point de puisage), puis réparties dans le temps au cours de la procédure de calage.

Pour la simulation du fonctionnement du réseau, deux points sont donc fondamentaux :

1. la répartition spatiale des consommations ;
2. les modulations journalières des consommations.

8.2.4.1. Répartition spatiale des consommations

Afin de permettre la répartition des consommations dans l'espace, une analyse des consommations des abonnés a été réalisée sur la base des données disponibles, à savoir les rôles d'eau de l'exercice 2015. Cette analyse a pour objectif d'attribuer les consommations aux différents nœuds des réseaux modélisés en se basant sur l'adresse de chacun des compteurs.

Les abonnés ont donc été répartis aux différents nœuds du réseau modélisé de la façon la plus précise possible, en fonction des adresses de consommation figurant sur les factures émises par la commune et le bilan des enquêtes compteurs réalisées chez les particuliers en Phase 1 de l'étude. Cette répartition permet, au final, l'attribution d'une consommation moyenne annuelle par nœud et par secteur hydraulique.

La figure ci-après présente la répartition spatiale des 185 compteurs abonnés présents dans les rôles d'eau disponibles, qui ont ensuite été attribués au nœud du réseau le plus proche :



Source : G2C Ingénierie, 2017 – Echelle non normalisée.

Figure 50 : Répartition spatiale des consommations.

Ainsi, 185 compteurs particuliers ont été répartis spatialement afin d'attribuer une consommation moyenne totale de 1,88 m³/h (soit 16 480 m³/an) parmi les 64 nœuds du réseau modélisé.

8.2.4.2. Modulation journalière des consommations

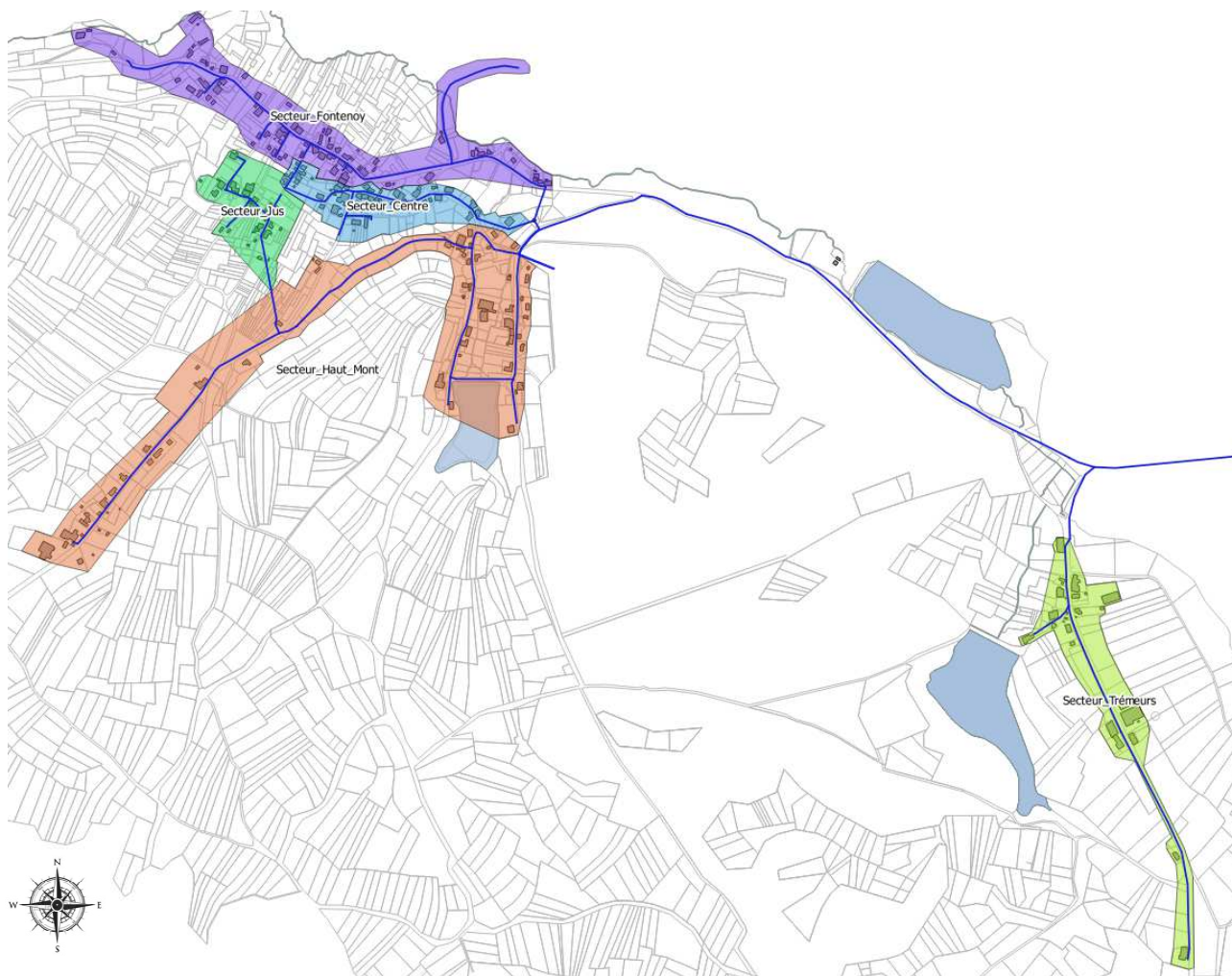
En réalité, deux types de consommations sont renseignées dans le modèle hydraulique représentent, à savoir :

1. Les consommations au sens propre du terme, c'est-à-dire l'eau qui est consommée par les abonnés (mesurée par les compteurs des particuliers) ;
2. Les fuites, c'est-à-dire l'eau qui sort du réseau sans pour autant être utilisée, ni même comptabilisée.

Les modulations journalières des consommations ont pu être évaluées grâce à la campagne de mesures hydrauliques (voir paragraphes précédents).

Le jour de calage retenu est le 25 Juillet 2017 (voir le §8.3.1). En conséquence, les modulations journalières ont été établies pour ce jour, en particulier. Pour rappel, l'analyse des courbes de modulation, sur une semaine entière, avait montré que les profils de consommation sont relativement proches d'un jour à l'autre, sans réelle influence des weekends.

Les étapes ci-après présentent le travail réalisé sur chacun des cinq secteurs disponibles, qui sont rappelés sur la figure ci-dessous :

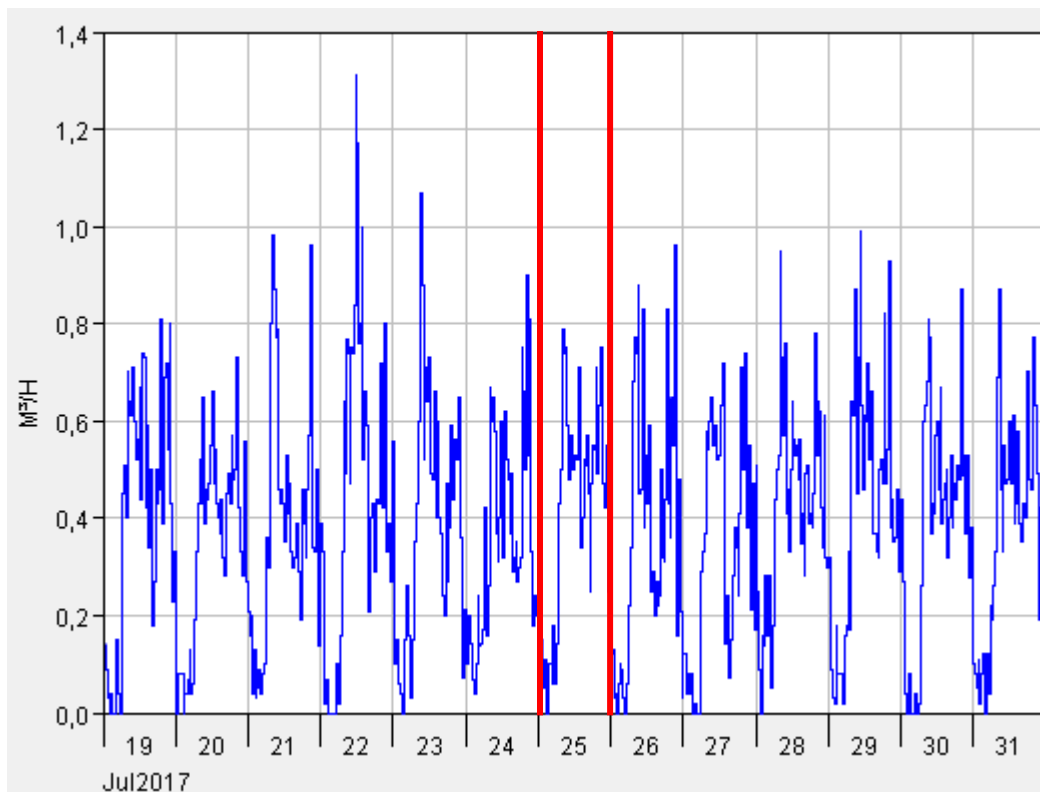


Source : G2C Ingénierie, 2017 – Echelle non normalisée.

Figure 51 : Secteurs de distribution et modulations des consommations.

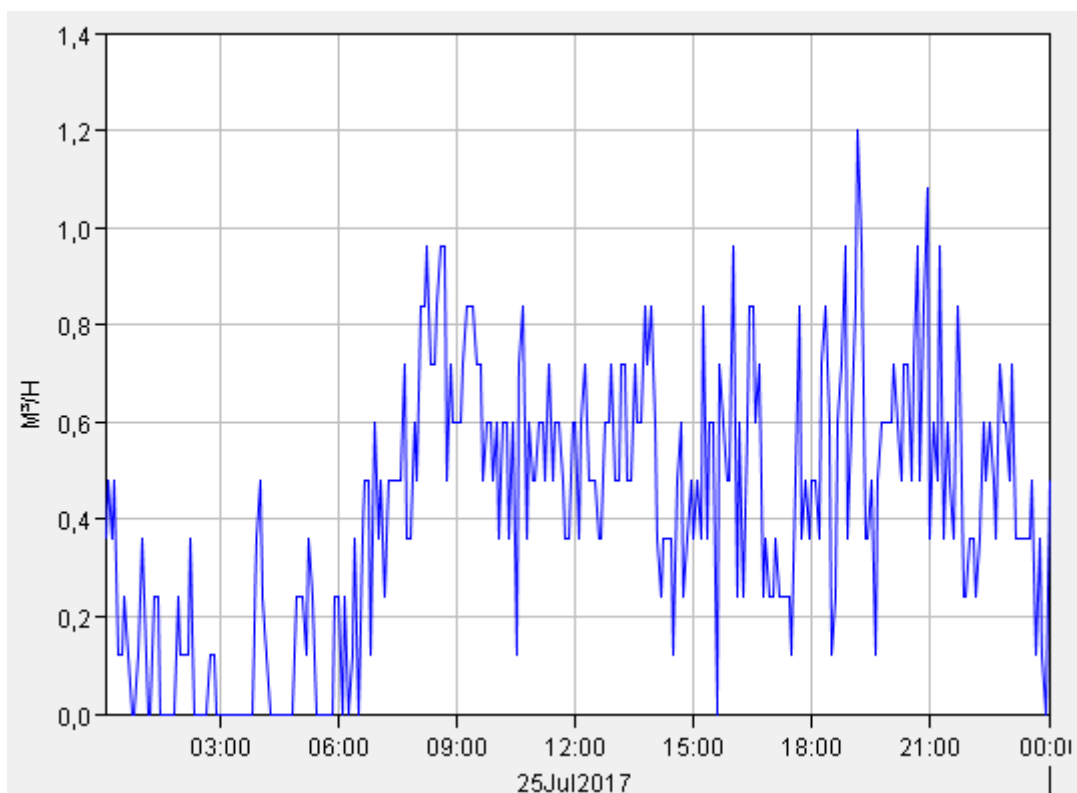
ÉTAPE 1 – EXTRACTION DES DONNÉES DE CALAGE

La première manipulation consiste à extraire les données du jour de calage parmi l'ensemble des enregistrements disponibles suite à la campagne de mesures :



Source : G2C Ingénierie, 2017.

Figure 52 : Débits mesurés à C_Centre – Totalité de la campagne de mesures.

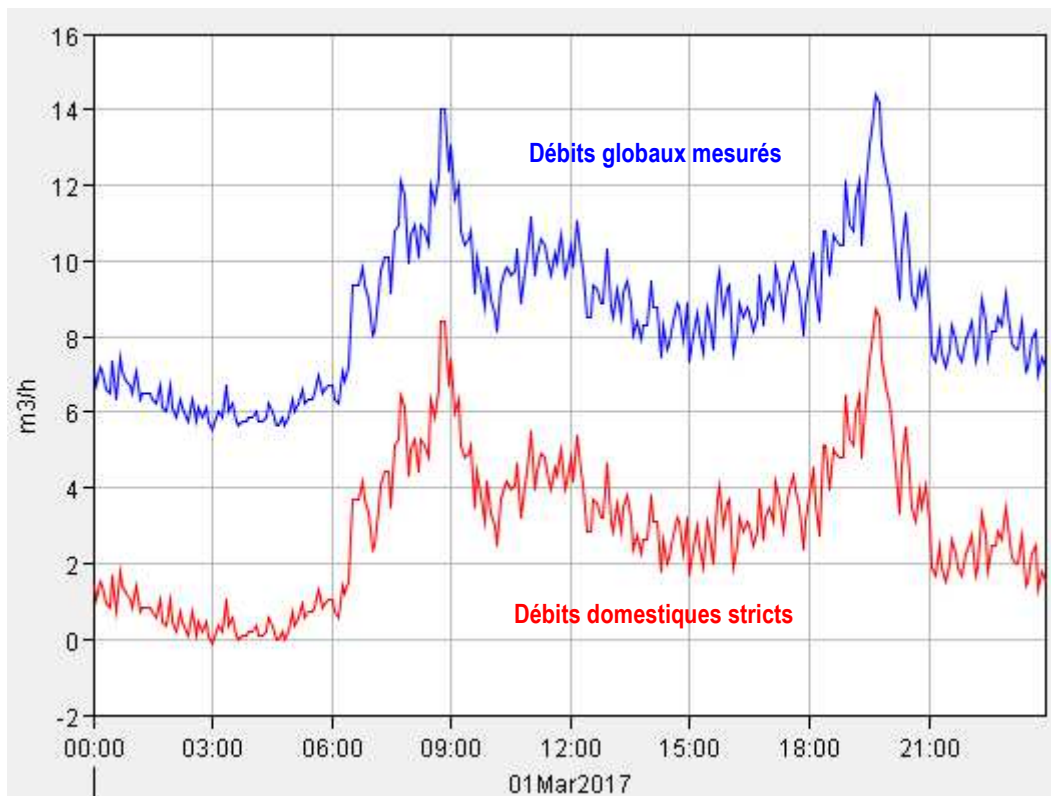


Source : G2C Ingénierie, 2017.

Figure 53 : Débits mesurés à C_Centre – Jour de calage.

ETAPE 2 – DEBIT DOMESTIQUE

Les débits mesurés par les compteurs de sectorisation représentent à la fois les débits liés aux consommations domestiques et aux fuites. Pour rappel, les volumes de fuites par secteur ont été déterminés plus tôt dans l'étude, par analyse des minima nocturnes mesurés et/ou des investigations de sectorisation nocturnes. Cette étape consiste donc à soustraire les débits de fuites aux débits globaux mesurés afin de reconstituer les débits stricts de consommations :



Source : G2C Ingénierie, 2017.

Figure 54 : Principe de reconstitution des débits domestiques.

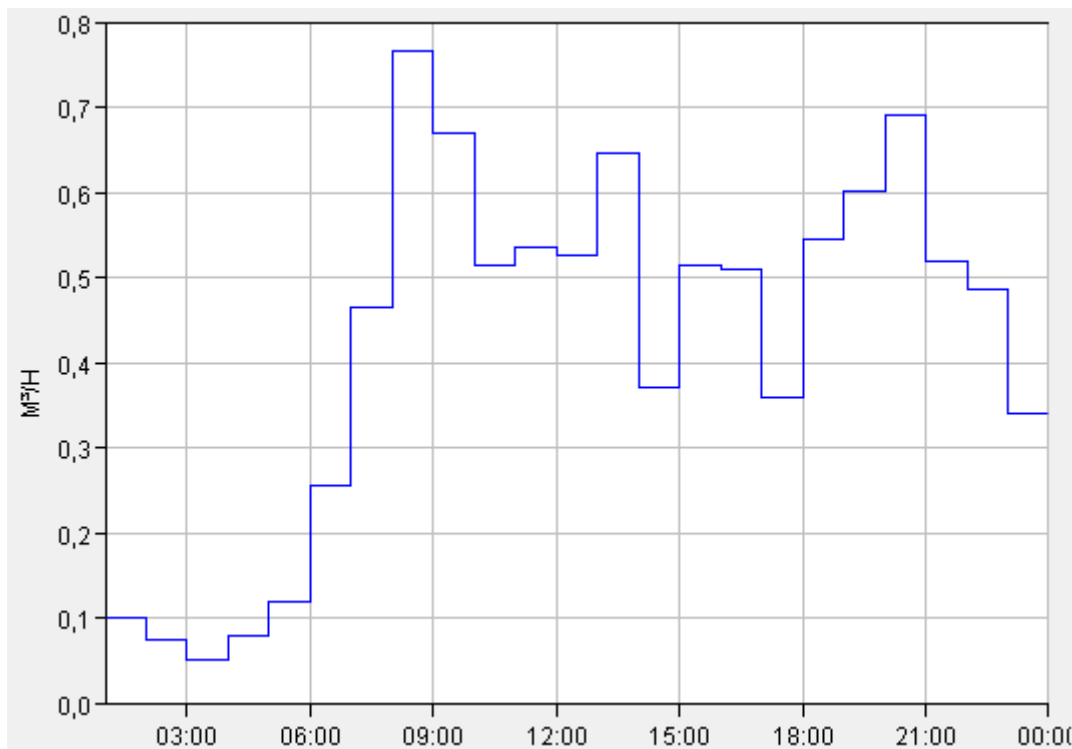
Lorsqu'une consommation non domestique (activité industrielle) est présente au sein d'un secteur de consommation, les débits qui en découlent sont également soustraits aux débits mesurés.

En effet, sur cet exemple, **le débit domestique calculé atteint des valeurs nulles en période nocturnes** : les mesures ont donc bien été affranchies des débits de fuites et des débits non domestiques.

En raison du dysfonctionnement des compteurs présents au sein des secteurs fuyards de la commune (Haut du Mont et Route de Fontenoy) et de l'absence de consommations particulières, cette étape n'a pas été utilisée sur le secteur d'étude.

ÉTAPE 3 – COURBE DE MODULATION

La courbe de modulation est construite par comparaison des débits moyens horaires au débit moyen global observé lors de la journée de calage :



Source : G2C Ingénierie, 2017.

Figure 55 : Débits mesurés à C_Centre – Courbe de modulation.

ÉTAPE 4 – INTÉGRATION AU MODELE

Comme vu précédemment, chacun des nœuds de l'ossature du modèle s'est vu attribuer une consommation moyenne horaire sur la base de la répartition spatiale des consommations.

Les consommations aux différents nœuds se sont donc vues complétées par l'intégration des courbes de modulation domestiques.

Les fuites, quant à elles, ont été estimées par étude des minima nocturnes et d'une sectorisation des réseaux réalisée de nuit. Leur répartition est effectuée sur l'ensemble des nœuds d'un secteur déterminé comme étant fuyard, par rapport entre le volume de fuites mesuré et le nombre de nœuds du secteur. La courbe de modulation associée aux fuites est constante et égale à 1. En effet, il est considéré que les fuites ne varient pas au cours de la journée.

Les consommations non domestiques, lorsqu'elles sont identifiées, se voient également attribuer une consommation moyenne horaire et une courbe de modulation spécifique.

Ainsi, chaque nœud contient désormais : une consommation moyenne horaire, une courbe de modulation domestique et un débit de fuite.

8.3. Calage du modèle

Le calage du modèle mathématique est une étape incontournable. En effet, cette dernière permet de fiabiliser les résultats en les mettant en cohérence avec les données réellement mesurées lors de la campagne de mesures.

8.3.1. Choix de la journée de calage

Le fonctionnement de tout réseau d'eau potable suit, pour l'essentiel, un cycle journalier (minimum nocturnes, pointes matinales et de fin de journée...). Comme l'a montré l'analyse de la campagne de mesures, les courbes de modulation sont quasiment identiques tout au long de la campagne de mesures et sur tous les sous-secteurs de distribution.

Le cycle de 24h utilisé pour réaliser le calage, est choisi de manière à optimiser les deux critères suivants :

1. Journée ayant le plus de données disponibles exploitables ;
2. Journée de plus forte consommation (cette journée permettra de caler plus précisément les rugosités).

Le jour de calage retenu doit représenter au mieux le fonctionnement dit « normal » du réseau. Il est donc nécessaire d'identifier les dates auxquelles des dysfonctionnements sont apparus :

- Niveaux de réservoirs anormalement haut ou bas : 19/07/17, 20/17/17, 27/07/17 et 29/07/17 ;
- Pointes de consommation plus importantes ou faibles que la moyenne : 26/07/17.

Ainsi, la journée de calage retenue est le Mardi 25 Juillet 2017.

8.3.2. Etapes de calage

8.3.2.1. Définition et validation

PRINCIPE

Le calage est la partie la plus importante de la modélisation.

Il a une double utilité :

1. d'une part, ajuster le modèle à la réalité afin d'assurer une bonne représentativité des résultats ;
2. d'autre part, mettre en évidence certaines caractéristiques du réseau dont la connaissance n'était jusqu'alors que partielle ou nulle (rugosité, état des conduites, état des vannes...).

Le calage est un processus itératif, c'est-à-dire qu'il s'agit, par comparaison des calculs et des mesures, d'effectuer des hypothèses sur le réseau. Ces hypothèses, transmises au modèle, seront alors infirmées ou confirmées par les résultats d'un nouveau calcul. Elles pourront ensuite être affinées de la même manière, jusqu'à l'obtention d'une précision suffisante.

Les différentes mesures de calage (débits, marnages et pressions) ont été intégrées dans EPANET, ce qui permet la comparaison rapide des mesures et des calculs.

VALIDATION DU CALAGE

Comme évoqué plus tôt, le calage a pour but de mettre en cohérence les calculs mathématiques et les mesures enregistrées lors de la campagne de mesures.

Afin de valider cette mise en cohérence, plusieurs critères sont utilisés :

1. Le critère de Nash, dont la formule est la suivante :

$$NASH = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{simulé} - Q_{mesuré})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{simulé} - \overline{Q_{simulé}})^2}$$

Ce critère utilise donc la comparaison des débits simulés et mesurés, ainsi que la moyenne des débits simulés, afin d'estimer la variance exprimée par le modèle. Ce critère est donc **particulièrement adapté afin de valider le calage des débits. Une valeur supérieure à 70% est généralement considérée comme satisfaisante**, la valeur optimale de 100%.

2. L'écart de volume, dont la formule est la suivante :

$$Ecart \text{ en Volume} = \left| \frac{Q_{mesuré} - Q_{simulé}}{Q_{simulé}} \right|$$

Ce critère estime la différence de quantité d'eau entre les mesures et les calculs réalisés par le modèle. **Une erreur d'environ 5% sera considérée comme satisfaisante.**

3. Concordance temporelle. Ce critère temporel permet de **valider la concomitance des calculs et des mesures.**

La détermination des ces différents paramètres permet l'évaluation de la qualité du calage, selon le tableau suivant :

		Critères de Nash					
		> 70 %		De 50 à 70 %		< 50 %	
	Critère temporel	Synchrone	Asynchrone	Synchrone	Asynchrone	Synchrone	Asynchrone
Ecart en volume	< 5 %	Bon	Bon	Moyen	Moyen	Moyen	Mauvais
	De 5 à 15 %	Bon	Moyen	Mauvais	Mauvais	Mauvais	Mauvais
	> 15 %	Moyen	Mauvais	Mauvais	Mauvais	Mauvais	Mauvais

Source : G2C Ingénierie, 2017.

Tableau 6 : Validation du calage en fonction des différents critères.

Chacun des points de mesures disponibles a donc fait l'objet d'un calage, puis d'une validation.

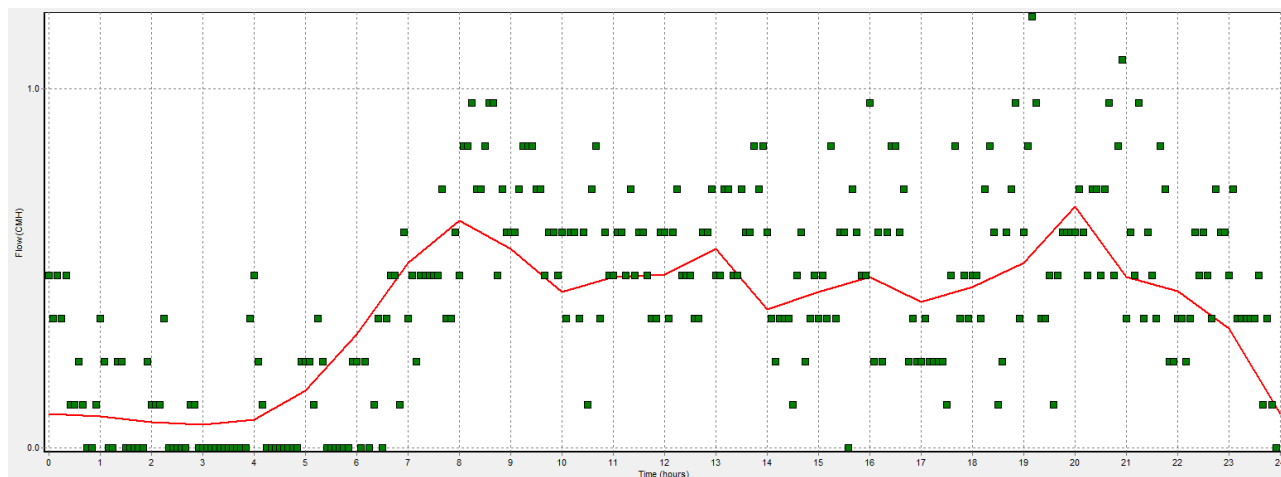
Nota : l'utilisation de ces indicateurs permet de s'affranchir du caractère « subjectif » que peuvent avoir les courbes de résultats. En effet, en cas de débits de distribution relativement faibles, les courbes peuvent paraître erronées (échelles de représentation, variations minimales non représentatives...) mais l'utilisation des indicateurs permet la validation du calage.

8.3.2.2. Calage en débit

Dans un premier temps, il importe d'ajuster les volumes mis en distribution lors du jour de calage avec ceux simulés par le modèle sur la même durée. La consommation aux nœuds ayant été déterminée plus tôt, il s'agit d'ajuster un coefficient de consommation qui correspond à la journée de mesures. Ce coefficient est variable pour chaque secteur de distribution.

Q_CENTRE

La courbe ci-après présente le calage des débits de distribution sur le secteur de la Place du Centre. Les points verts représentent les mesures réelles et la courbe rouge les calculs effectués par le modèle :



Source : G2C Ingénierie, 2017.

Figure 56 : Calage en débit du secteur du Centre.

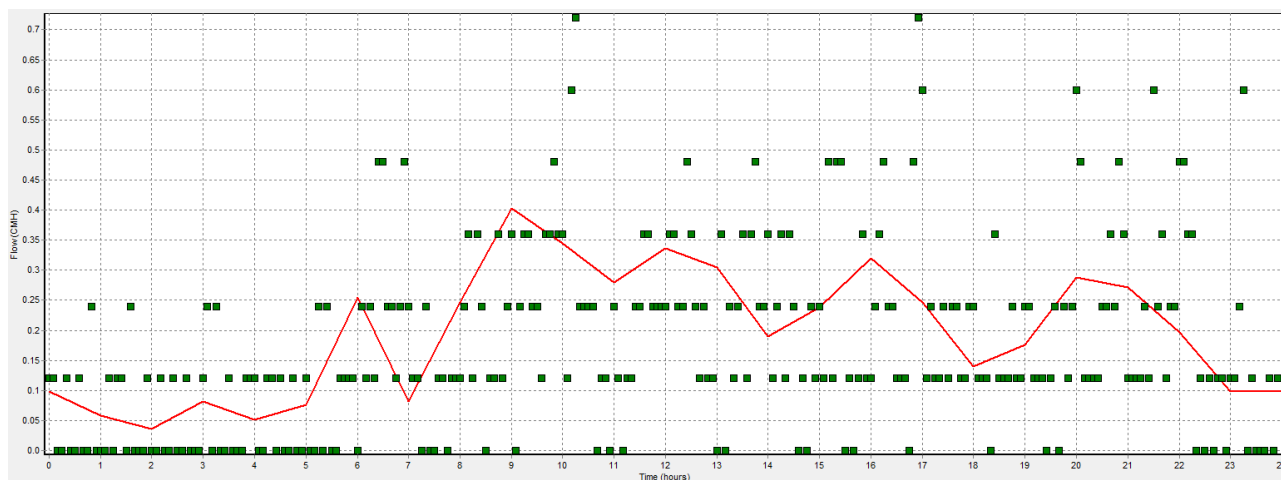
Critère de Nash	0,87
Ecart en volume	13,00%
Concordance temporelle	Synchrone
Qualité du calage	Bon

Source : G2C Ingénierie, 2017.

Tableau 7 : Validation du calage de Q_Centre.

Q_TREMEURS

La courbe ci-après présente le calage des débits de distribution sur Les Trémeurs. Les points verts représentent les mesures réelles et la courbe rouge les calculs effectués par le modèle :



Source : G2C Ingénierie, 2017.

Figure 57 : Calage en débit du secteur des Trémeurs.

Critère de Nash	0,81
Ecart en volume	13,13%
Concordance temporelle	Synchrone
Qualité du calage	Bon

Source : G2C Ingénierie, 2017.

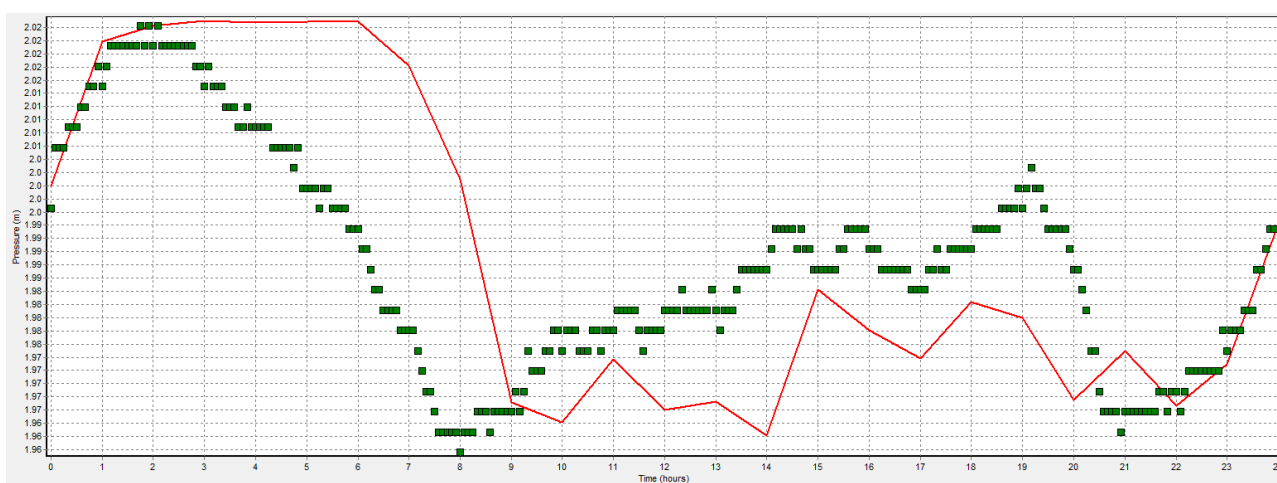
Tableau 8 : Validation du calage de Q_Trémeurs.

8.3.2.3. Calage des niveaux

Suite aux calages des débits de distribution, il est nécessaire de vérifier les marnages des différents réservoirs. La modélisation a été réalisée en respectant toutes les observations de terrain réalisées lors de la Phase 1 et les éventuelles consignes observées lors de la campagne de mesures (marches et arrêts des pompes, régulation de fonctionnement, niveaux hauts et bas...).

RESERVOIR DU HAUT DU MONT

La comparaison des valeurs mesurées sur les ouvrages et de celles données par le modèle fournit des résultats satisfaisants. Les points verts représentent les mesures réelles et la courbe rouge les calculs effectués par le modèle :



Source : G2C Ingénierie, 2017.

Figure 58 : Calage du marnage du réservoir Haut du Mont.

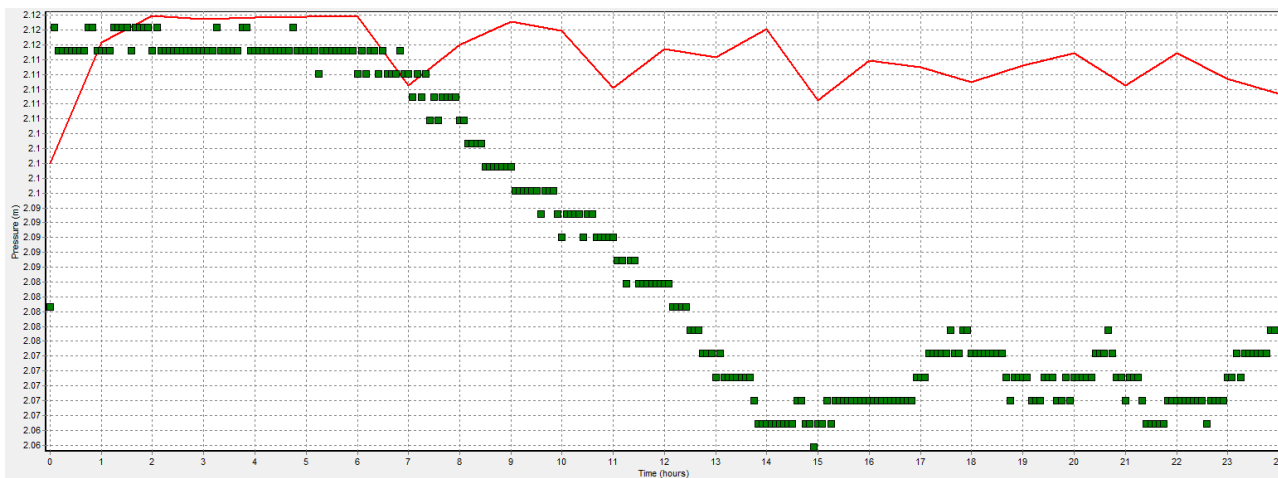
	Simulation	Mesures	Ecart
Niveau minimum (m)	1,96	1,96	0,0 %
Niveau maximum (m)	2,02	2,02	0,0 %
Niveau moyen (m)	1,99	1,99	0,0 %
Ecart moyen			0,0 %

Source : G2C Ingénierie, 2017.

Tableau 9 : Validation du calage de N_Haut_Mont.

RESERVOIR DE « VILLAGE »

La comparaison des valeurs mesurées sur les ouvrages et de celles données par le modèle fournit des résultats satisfaisants. Les points verts représentent les mesures réelles et la courbe rouge les calculs effectués par le modèle :



Source : G2C Ingénierie, 2017.

Figure 59 : Calage du marnage du réservoir « Village ».

	Simulation	Mesures	Ecart
Niveau minimum (m)	2,1	2,07	1,4 %
Niveau maximum (m)	2,12	2,12	0,0 %
Niveau moyen (m)	2,11	2,09	1,2 %
Ecart moyen			1,3 %

Source : G2C Ingénierie, 2017.

Tableau 10 : Validation du calage de N_Village.

8.3.2.4. Calage des pressions

Cette partie du calage consiste à faire correspondre les enregistrements de pression effectués sur le réseau, avec les résultats de la simulation retournée par le logiciel EPANET.

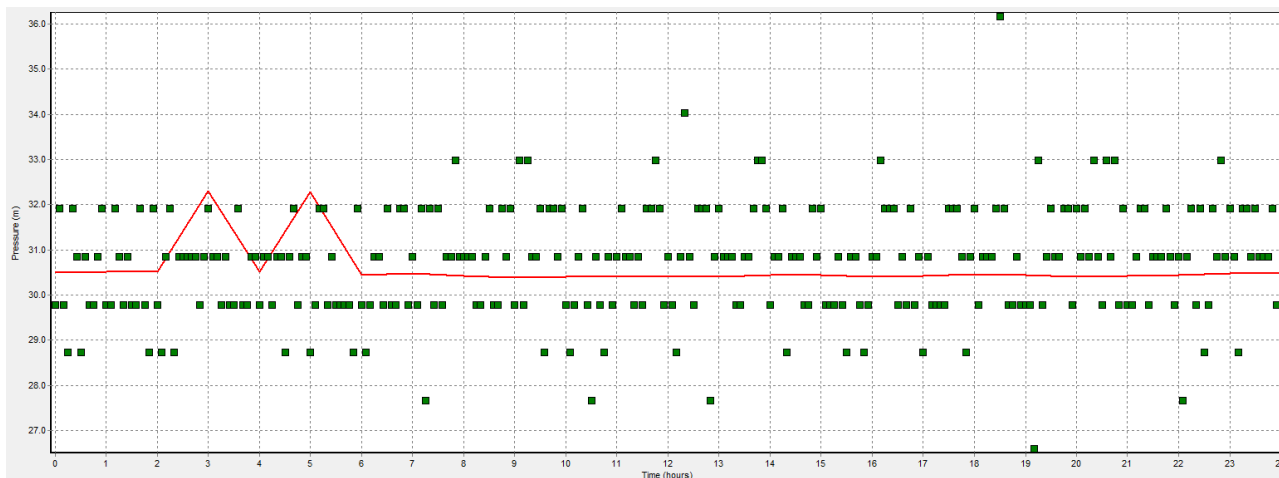
Le calage s'effectue en intervenant essentiellement sur les paramètres suivants :

1. La rugosité des conduites ;
2. L'introduction des singularités en certains points du réseau (réducteurs de pressions, stabilisateurs...).

Les singularités génèrent des pertes de charge importantes, lors des périodes de fortes consommations. Elles sont souvent liées, soit à une configuration particulière du réseau (point de comptage, chambres à vannes...), soit à l'existence non répertoriée d'une particularité et / ou d'un organe de réseau (vanne tiercée, appareil de régulation, obstruction partielle d'une portion de conduite...).

P1 – LES TREMEURS

La mise en corrélation des mesures et des valeurs issues de la modélisation est la suivante. Les points verts représentent les mesures réelles et la courbe rouge les calculs effectués par le modèle :



Source : G2C Ingénierie, 2017.

Figure 60 : Calage de pression – P1.

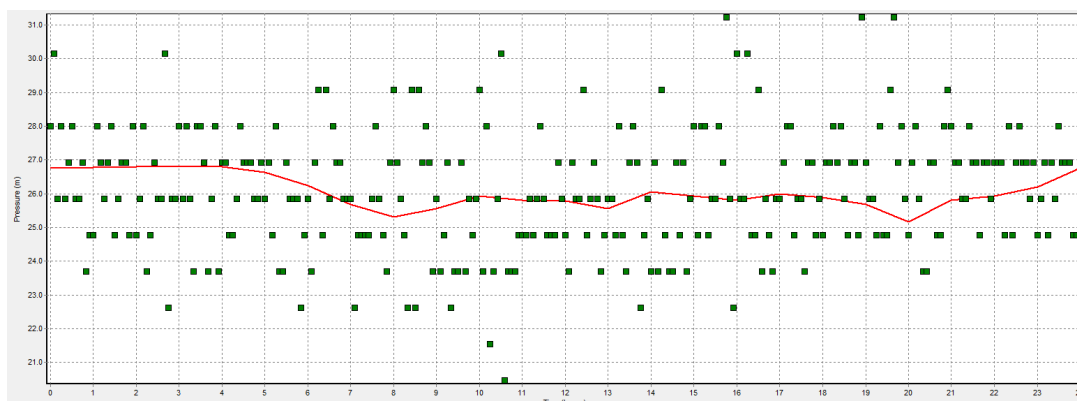
	Simulation	Mesures	Ecart
Pression minimale (mCE)	30,38	29,92	1,5 %
Pression maximale (mCE)	32,3	31,38	2,8 %
Pression moyenne (mCE)	30,6	30,7	-0,4 %
Ecart moyen			-0,3 %

Source : G2C Ingénierie, 2017.

Tableau 11 : Validation du calage de P1.

P2 – HAUT DU MONT

La mise en corrélation des mesures et des valeurs issues de la modélisation est la suivante. Les points verts représentent les mesures réelles et la courbe rouge les calculs effectués par le modèle :



Source : G2C Ingénierie, 2017.

Figure 61 : Calage de pression – P2.

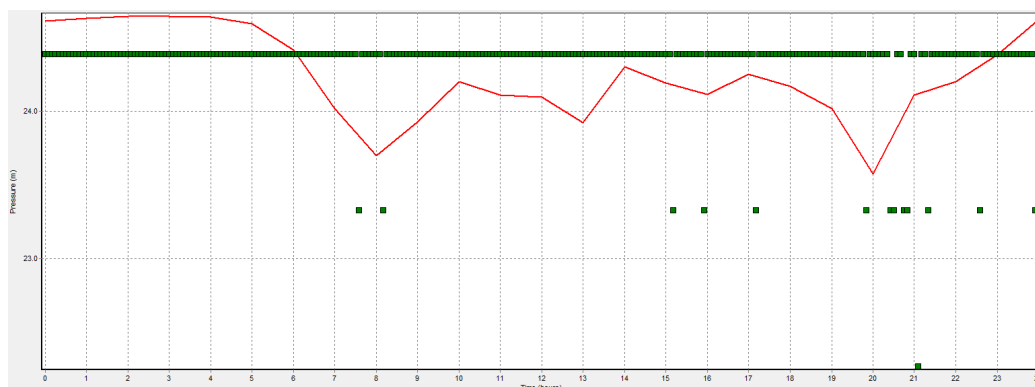
	Simulation	Mesures	Ecart
Pression minimale (mCE)	25,17	24,68	1,9 %
Pression maximale (mCE)	26,82	26,92	-0,4 %
Pression moyenne (mCE)	26,07	26,03	0,1 %
Ecart moyen			-0,1 %

Source : G2C Ingénierie, 2017.

Tableau 12 : Validation du calage de P2.

P3 – PLACE DU CENTRE

La mise en corrélation des mesures et des valeurs issues de la modélisation est la suivante. Les points verts représentent les mesures réelles et la courbe rouge les calculs effectués par le modèle :



Source : G2C Ingénierie, 2017.

Figure 62 : Calage de pression – P3.

	Simulation	Mesures	Ecart
Pression minimale (mCE)	23,58	24,04	-2,0 %
Pression maximale (mCE)	24,65	24,39	1,1 %
Pression moyenne (mCE)	24,24	24,33	-0,4 %
Ecart moyen			-0,5 %

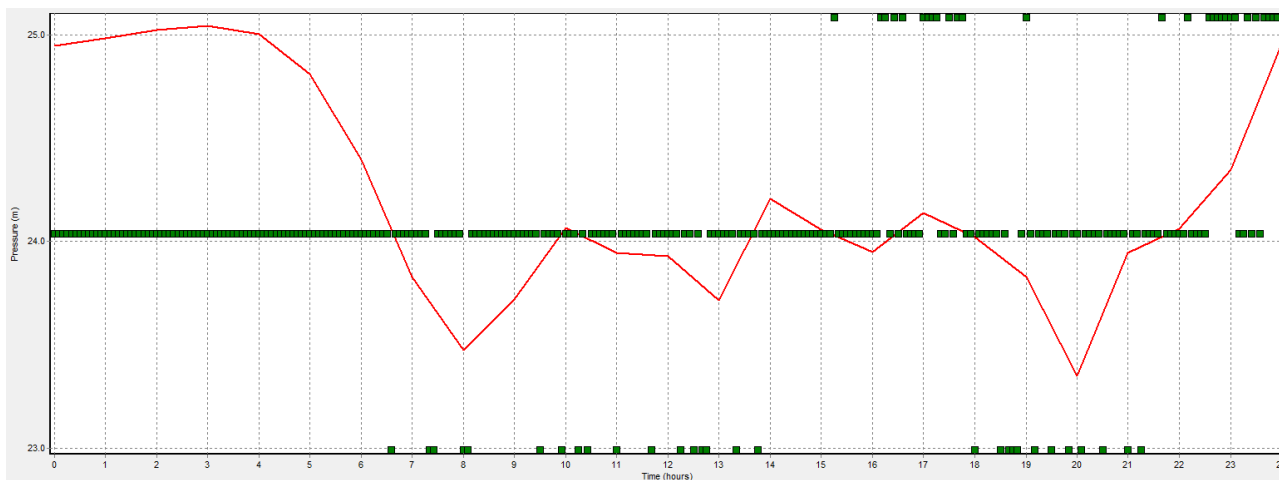
Source : G2C Ingénierie, 2017.

Tableau 13 : Validation du calage de P3.

Ce point de pression a nécessité la mise en place d'une perte de charge singulière sur la conduite de départ du réservoir « Village ».

P4 – ROUTE DE FONTENOY

La mise en corrélation des mesures et des valeurs issues de la modélisation est la suivante. Les points verts représentent les mesures réelles et la courbe rouge les calculs effectués par le modèle :



Source : G2C Ingénierie, 2017.

Figure 63 : Calage de pression – P4.

	Simulation	Mesures	Ecart
Pression minimale (mCE)	23,35	23,69	-1,5 %
Pression maximale (mCE)	25,04	24,69	1,4 %
Pression moyenne (mCE)	24,23	24,03	0,8 %
Ecart moyen			0,6 %

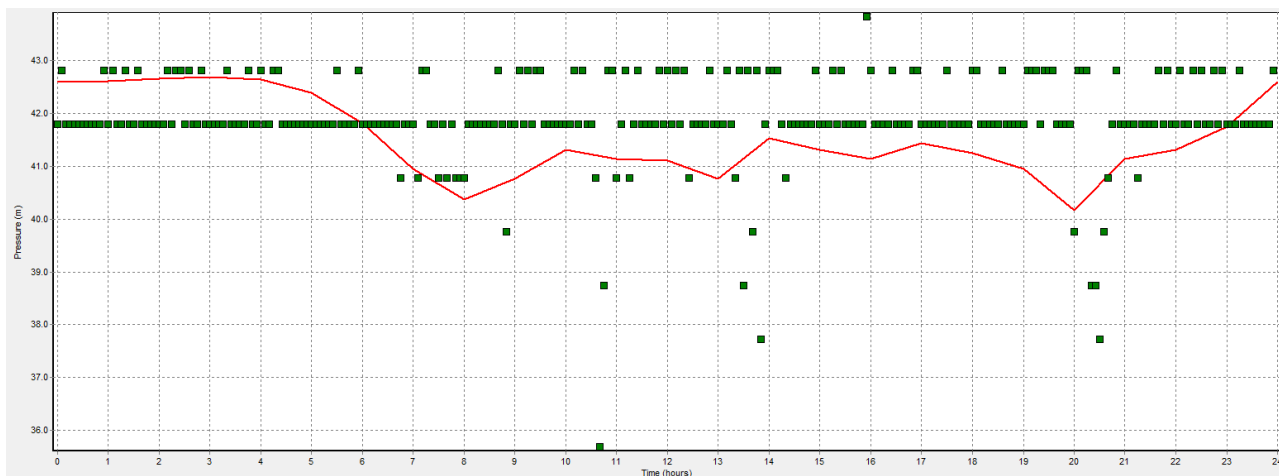
Source : G2C Ingénierie, 2017.

Tableau 14 : Validation du calage de P4.

Ce point de pression a nécessité la mise en place d'une perte de charge singulière sur la conduite de départ du réservoir « Village », sous la Route de Fontenoy.

P6 – LES JUS

La mise en corrélation des mesures et des valeurs issues de la modélisation est la suivante. Les points verts représentent les mesures réelles et la courbe rouge les calculs effectués par le modèle :



Source : G2C Ingénierie, 2017.

Figure 64 : Calage de pression – P6.

	Simulation	Mesures	Ecart
Pression minimale (m)	40,16	40,95	-2,0 %
Pression maximale (m)	42,69	42,22	1,1 %
Pression moyenne (m)	41,53	41,88	-0,8 %
Ecart moyen			-1,1 %

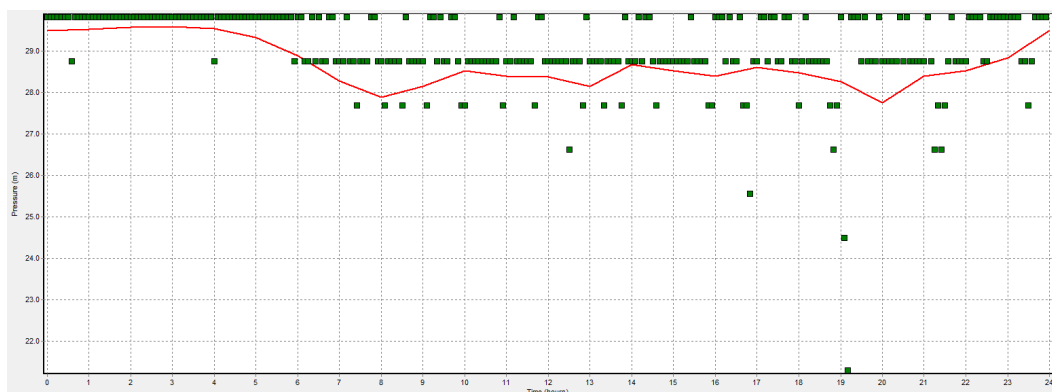
Source : G2C Ingénierie, 2017.

Tableau 15 : Validation du calage de P6.

Ce point de pression a nécessité la mise en place d'un réducteur de pression au niveau du compteur C_Jus (regard existant dans la pâture).

P7 – ROUTE DE FONTENOY

La mise en corrélation des mesures et des valeurs issues de la modélisation est la suivante. Les points verts représentent les mesures réelles et la courbe rouge les calculs effectués par le modèle :



Source : G2C Ingénierie, 2017.

Figure 65 : Calage de pression – P7.

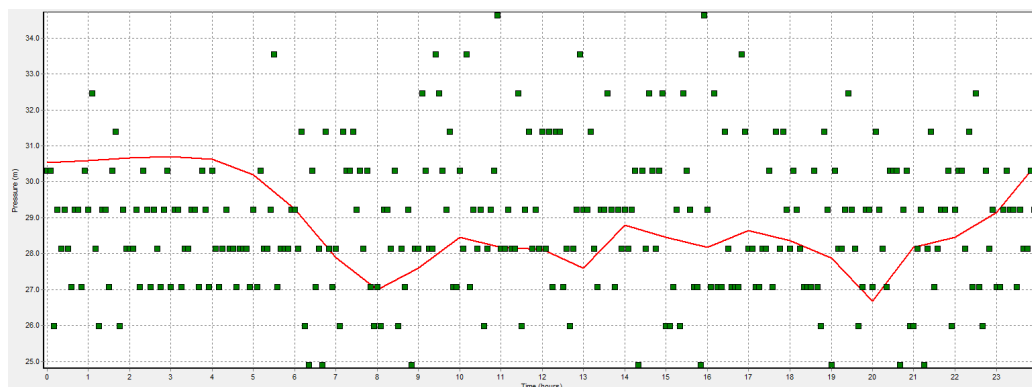
	Simulation	Mesures	Ecart
Pression minimale (m)	27,75	28,26	-1,8 %
Pression maximale (m)	29,58	29,82	-0,8 %
Pression moyenne (m)	28,7	29,05	-1,2 %
Ecart moyen			-1,4 %

Source : G2C Ingénierie, 2017.

Tableau 16 : Validation du calage de P7.

P8 – LES SAUNIERS

La mise en corrélation des mesures et des valeurs issues de la modélisation est la suivante. Les points verts représentent les mesures réelles et la courbe rouge les calculs effectués par le modèle :



Source : G2C Ingénierie, 2017.

Figure 66 : Calage de pression – P8.

	Simulation	Mesures	Ecart
Pression minimale (m)	26,68	27,83	-4,3 %
Pression maximale (m)	30,71	29,95	2,5 %
Pression moyenne (m)	28,83	28,77	0,2 %
Ecart moyen			-0,3 %

Source : G2C Ingénierie, 2017.

Tableau 17 : Validation du calage de P8.

Ce point de pression a nécessité la mise en place d'une perte de charge singulière sur la conduite alimentant Les Sauniers.

8.3.3. Bilan du calage

Le calage est un processus itératif, qui conduit à l'amélioration progressive de la qualité de la représentation du fonctionnement du réseau par le modèle mathématique. Ce processus n'a pas de limite prédéfinie, c'est pourquoi, il a été arrêté lorsque la représentation obtenue était suffisamment fidèle afin de permettre le diagnostic du réseau.

Si le réseau peut être considéré comme calé pour les besoins de l'étude, il convient de rappeler que toute opération de calage présente des limites liées, à la fois à la modélisation en elle-même (qui repose sur une représentation nécessairement simplifiée des réseaux), à l'incertitude sur les dispositifs métrologiques utilisés lors de la campagne de mesures et aux différentes connaissances disponibles.

A partir des courbes de mesures, des consignes des réservoirs, des niveaux initiaux et des régulations, ont été adaptés les coefficients de calage de la journée modélisée. Les résultats de calage qui en découlent permettent d'obtenir une précision importante et un fonctionnement de réseau simulé, au plus proche de la réalité de la journée considérée.

L'ensemble des points de mesures ont abouti à un calage considéré comme « bon » et quatre singularités ont dû être utilisées :

1. Perte de charge singulière au départ du réservoir « Village », alimentation de la Place du Centre ;
2. Perte de charge singulière au départ du réservoir « Village », alimentation de la Route de Fontenoy ;
3. Réducteur de pression au départ de l'alimentation des Jus ;
4. Perte de charge singulière sur l'alimentation des Sauniers.

Pour rappel, certaines courbes peuvent paraître « erronées ». Cependant, l'utilisation des indicateurs (critère de Nash, écart en volume, écart moyen...) permet la validation du calage. En effet, les variations étant parfois relativement faibles (marnages de quelques centimètres par exemple), ou non significatives, il est difficile de les retranscrire par le calcul.

Le calage du modèle mathématique est donc réputé satisfaisant.

Le tableau suivant dresse le bilan de la qualité du calage réalisé :

Type	Code	Localisation	Critère de Nash	Ecart en volume	Concordance temporelle	Qualité du calage
Débit	Q_Trémeurs	Départ vers Les Trémeurs	0.81	13.1%	Synchrone	Bon
Débit	Q_Centre	Départ du RV_Village vers la Place du Centre	0.87	13.0%	Synchrone	Bon
Type	Code	Localisation	Ecart niveau min	Ecart niveau max	Ecart niveau moyen	Ecart moyen
Niveau	N_Haut_Mont	Réservoir du Haut du Mont	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Niveau	N_Village	Réservoir Village	1.4%	0.0%	1.2%	1.3%
Type	Code	Localisation	Ecart P min	Ecart P max	Ecart P moyenne	Ecart moyen
Pression	P1	6 Chemin des Harnigaises, Les Trémeurs	1.5%	2.8%	-0.4%	-0.3%
Pression	P2	8 Route des Arsondieux	1.9%	-0.4%	0.1%	-0.1%
Pression	P3	34 Place du Centre (local communal)	-2.0%	1.1%	-0.4%	-0.5%
Pression	P4	Mairie, Place du Centre (garage communal)	-1.5%	1.4%	0.8%	0.6%
Pression	P6	12 Rue de la 1 ^{ère} Jus	-2.0%	1.1%	-0.8%	-1.1%
Pression	P7	2 Rue de la Gotelle	-1.8%	-0.8%	-1.2%	-1.4%
Pression	P8	34 Route des Sauniers	-4.3%	2.5%	0.2%	-0.3%

Source : G2C Ingénierie, 2017.

Tableau 18 : Bilan du calage.

9. ANALYSE DU FONCTIONNEMENT ACTUEL DES RESEAUX

Cette partie de l'étude présente **une synthèse du fonctionnement des réseaux**, observés en situation actuelle moyenne et de pointe.

Pour l'étude du fonctionnement en période de pointe, un coefficient de 1,78 a été appliqué aux demandes moyennes en eau, comme déterminé lors de la Phase 1 de l'étude. Pour rappel, ce coefficient a été calculé à partir des données de production et de distribution sur l'ensemble de la commune, au cours des 5 dernières années.

L'approche est réalisée de façon dynamique, et se base sur les aspects suivants :

1. **Vitesses d'écoulement** : celles-ci doivent être inférieures à 1 m/s afin de ne pas fragiliser les réseaux ;
2. **Pressions de distribution** : ces dernières sont idéalement comprises entre 20 et 80 mCE et d'amplitude quotidienne inférieure à 2 bars ;
3. **Age de l'eau dans les réseaux** : la bonne désinfection des eaux est garantie par un temps de séjour inférieur à 48h.

9.1. Principe de l'analyse en mode dynamique

La résolution des équations hydrauliques en mode dynamique, permet de mettre en évidence le mode de remplissage des réservoirs, le fonctionnement des organes de régulation (stabilisateurs, réducteurs...), la variabilité des pressions, des débits et des vitesses, au cours d'une période de simulation donnée.

Pour rappel, ce type de simulation nécessite, outre les paramètres nécessaires à une simulation en mode statique, les données d'entrée suivantes, qui ont déjà été intégrées lors des phases de calage du modèle :

- Les variations de consommation ;
- Les informations détaillées des ouvrages de stockage (niveaux de trop plein, vidange...) ;
- Les consignes de régulation des organes particuliers (stabilisateurs et réducteurs de pression, stations de pompage...).

Mais également le paramétrage initial de calcul :

- Heure de début de simulation (définie par les jours de calage) ;
- Durée de simulation (24h) ;
- Pas de temps de résolution des équations hydrauliques (5 min).

Etant donné que la simulation hydraulique d'un réseau en dynamique est la résultante d'une suite d'événements en statique, nous avons effectué des simulations sur une durée totale de 24h consécutives, pour un pas de temps de résolution de 5 min. Le logiciel calcule donc à chaque période (de 00h00 à 00h05, de 00h05 à 00h10...), les valeurs et l'état hydraulique de tous les éléments constitutifs du réseau.

9.2. Vitesses d'écoulement

Les zones de distribution soumises à de fortes vitesses sont identifiées comme celles au sein desquelles une vitesse supérieure à 1 m/s est observée. Ces zones sont celles où le réseau est le plus sollicité, et où les risques d'apparition de fuites ou de vieillissement prématuré des canalisations, sont donc les plus importants. Ce sont également les secteurs sur lesquels des variations de pression significatives, liées aux pertes de charge (et donc d'autant plus importantes que les vitesses d'écoulement sont importantes), sont généralement enregistrées.

Les vitesses maximales admissibles sur les tronçons de transit (refoulement par pompage), sont comprises entre 2 et 5 m/s.

Les résultats présentés ici sont relatifs aux vitesses maximales d'écoulement observées (généralement vers 20h, soit à l'heure des consommations journalières les plus importantes).

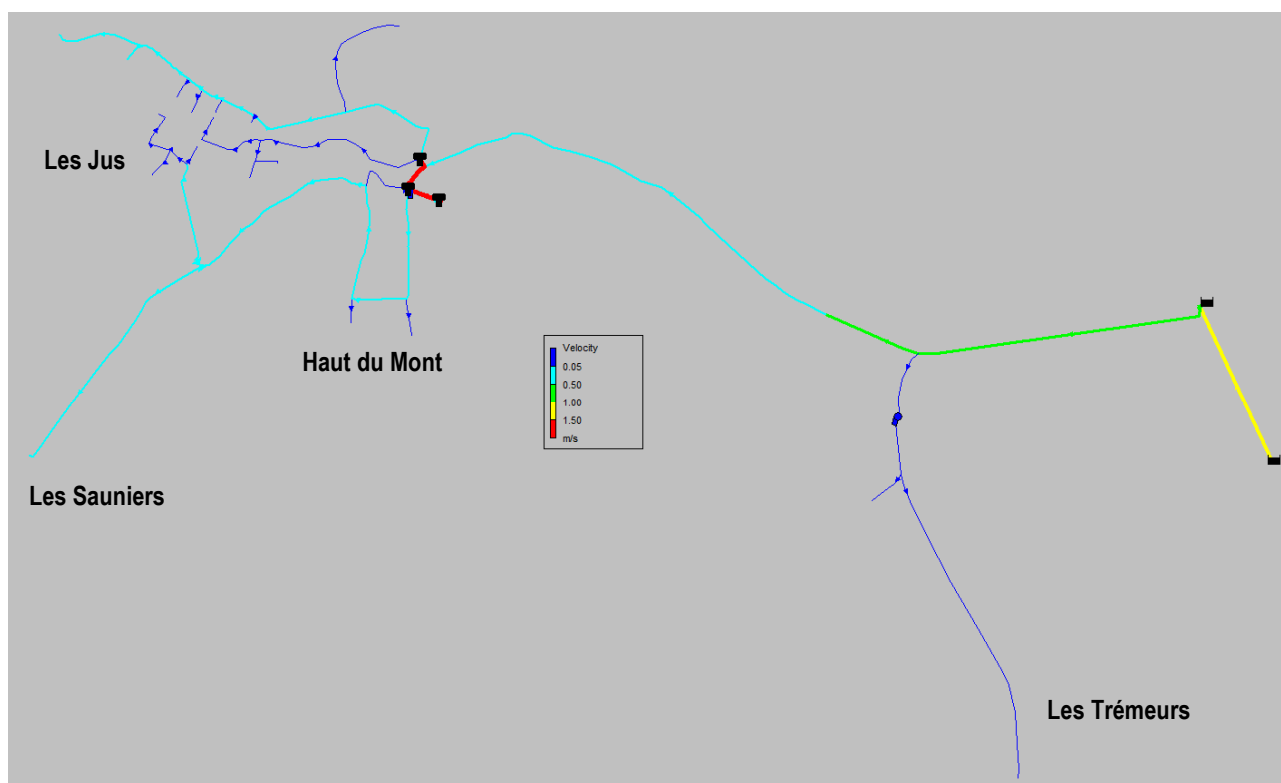
9.2.1. Situation actuelle – Période moyenne

Le tableau et la figure ci-après présentent les vitesses d'écoulement maximales observées dans la configuration actuelle des réseaux, en période de consommation dite « moyenne » :

Vitesse (m/s)	Longueur (m)	Pourcentage
< 0,05	3557,17	33,7%
De 0,06 à 0,1	1354,47	12,8%
De 0,11 à 0,25	1711,51	16,2%
De 0,26 à 0,50	2126,75	20,2%
De 0,51 à 1	1114,72	10,6%
De 1,1 à 1,5	482,67	4,6%
> 1,5	199,00	1,9%
Total	10546,28	100,0%

Source : G2C Ingénierie, 2017.

Tableau 19 : Vitesses d'écoulement au sein des conduites – Période actuelle moyenne.



Source : G2C Ingénierie, 2017.

Figure 67 : Vitesses d'écoulement au sein des conduites – Période actuelle moyenne.

En situation moyenne, les vitesses d'écoulement sont majoritairement assez faibles. Sur la totalité des conduites, les vitesses maximales atteignent 1,78 m/s, dont 83 % sont inférieures à 0,5 m/s, pour une vitesse moyenne rencontrée est de 0,24 m/s.

Les tronçons soumis aux vitesses les plus importantes sont ceux situés au départ du réservoir du Haut du Mont, et reliant le réservoir « Village ». En effet, le diamètre de ces conduites, a priori de DN63, semble trop faible pour acheminer l'ensemble des volumes consommés sur la commune. La conduite reliant les sources entre elles connaît également une vitesse supérieure à 1 m/s mais la modélisation, dans sa construction, ne permet pas de conclure à un dysfonctionnement sur cette zone.

Ainsi, les vitesses observées, en fonctionnement « normal » des réseaux actuels, sont supérieures à 1 m/s en aval direct du réservoir du Haut du Mont. Cette zone apparaît donc comme sensible selon ce critère.

9.2.2. Situation actuelle – Période de pointe

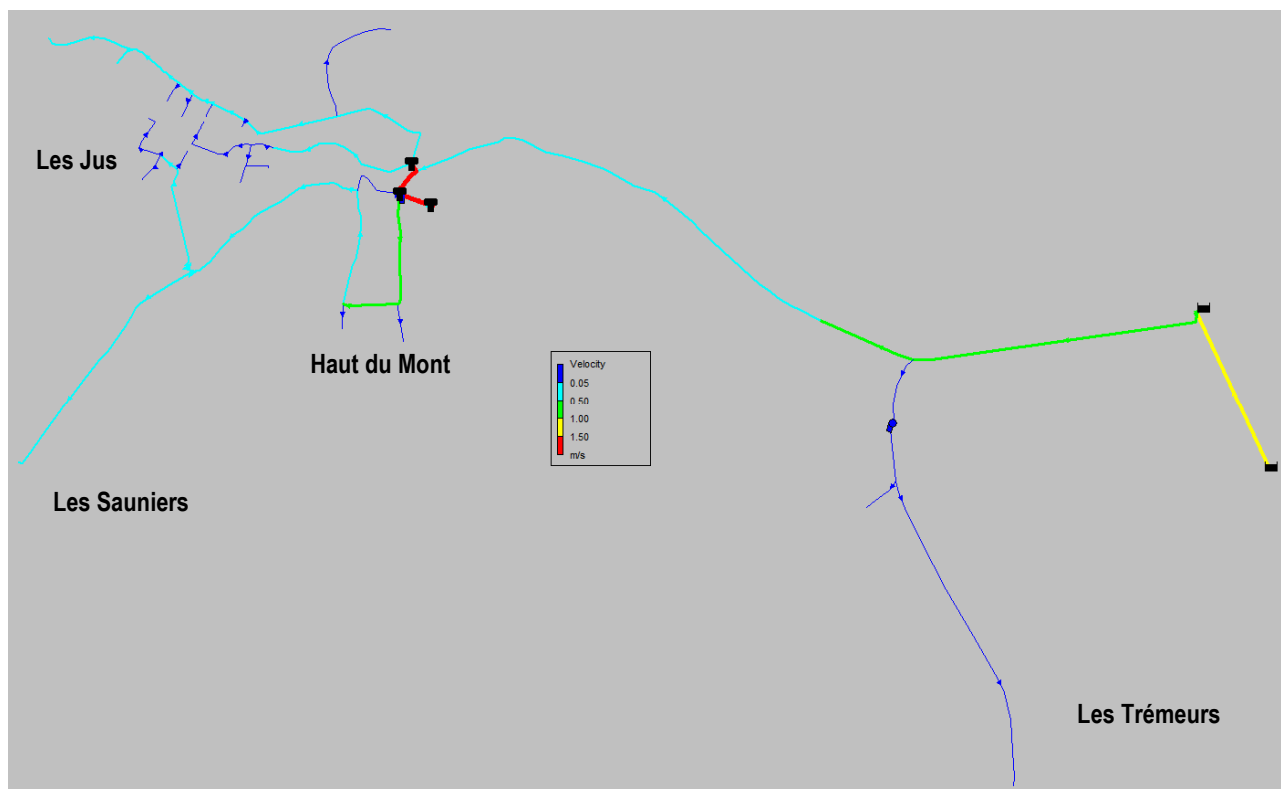
Pour rappel, la situation de pointe est simulée par l'application d'un coefficient multiplicateur égal à 1,78. Cette valeur est issue des analyses réalisées en Phase 1 sur les volumes de fonctionnement des cinq dernières années.

Le tableau ci-après présente les vitesses d'écoulement maximales observées dans la configuration actuelle des réseaux, en période de consommation dite « de pointe » :

Vitesse (m/s)	Longueur (m)	Pourcentage
< 0,05	3204,41	30,4%
De 0,06 à 0,1	1405,58	13,3%
De 0,11 à 0,25	1948,59	18,5%
De 0,26 à 0,50	1725,71	16,4%
De 0,51 à 1	1580,31	15,0%
De 1,1 à 1,5	482,67	4,6%
> 1,5	199,00	1,9%
Total	10546,28	100,0%

Source : G2C Ingénierie, 2017.

Tableau 20 : Vitesses d'écoulement au sein des conduites – Période actuelle de pointe.



Source : G2C Ingénierie, 2017.

Figure 68 : Vitesses d'écoulement au sein des conduites – Période actuelle de pointe.

En période de pointe, les vitesses d'écoulement au sein des réseaux évoluent peu, et restent majoritairement assez faibles. Sur la totalité des conduites, les vitesses maximales atteignent 1,78 m/s, dont 78,6 % sont inférieures à 0,5 m/s, pour une vitesse moyenne rencontrée est de 0,26 m/s.

Les tronçons soumis aux vitesses les plus importantes sont ceux situés au départ du réservoir du Haut du Mont, et reliant le réservoir « Village ». En effet, le diamètre de ces conduites, a priori de DN63, semble trop faible pour acheminer l'ensemble des volumes consommés sur la commune. La conduite reliant les sources entre elles connaît également une vitesse supérieure à 1 m/s mais la modélisation, dans sa construction, ne permet pas de conclure à un dysfonctionnement sur cette zone.

Ainsi, les vitesses observées, en fonctionnement « de pointe » des réseaux actuels, sont supérieures à 1 m/s en aval direct du réservoir du Haut du Mont. Cette zone apparaît donc comme sensible selon ce critère.

9.2.3. Bilan de l'analyse des vitesses d'écoulement

Sur les réseaux communaux, les vitesses d'écoulement sont majoritairement faibles mais 680 ml de canalisations sont soumis à des vitesses d'écoulement supérieures à 1 m/s en situations moyenne et de pointe.

De manière globale, à la vue des vitesses d'écoulement, les réseaux semblent correctement dimensionnés mais les canalisations en aval direct du réservoir du Haut du Mont semblent avoir un diamètre trop faible (alimentation du réservoir « Village », soit 680 ml).

9.3. Pressions de distribution

Le Décret n° 2007-49 du Code de la Santé Publique, relatif aux eaux destinées à la consommation humaine indique que :

"La hauteur piézométrique de l'eau distribuée par les réseaux intérieurs mentionnés au 3° de l'article R.1321-43 doit, pour chaque réseau, et en tout point de mise à disposition, être au moins égale à 3 m, à l'heure de pointe de consommation."

Cela correspond à une pression minimale de 0,3 bars.

Le texte précise, en outre, que *"cette hauteur piézométrique est exigible pour tous les réseaux ; lorsque ceux-ci desservent des immeubles de plus de six étages, des surpresseurs et des réservoirs de mise sous pression, conformes aux dispositions de l'article R. 1321-55, peuvent être mis en œuvre"*.

En ce qui concerne les réseaux de distribution étudiés, on associera les termes suivants :

- Zones de faibles pressions = pression inférieure à 20 mCE (valeur limite pour assurer une pression de distribution suffisante) ;
- zones de fortes pressions = pression supérieure à 65 mCE.

Les résultats présentés ici sont relatifs aux pressions minimales et maximales observées (respectivement vers 20h, lorsque les débits de consommations sont les plus importants, et vers 3h, lorsque les consommations journalières sont les plus faibles et que les niveaux d'eau sont maximaux dans les réservoirs).

9.3.1. Pressions minimales et maximales

Le tableau ci-après dresse le bilan des pressions minimales et maximales observées aux différents nœuds du réseau de distribution :

Pression maximale (mCE)	Pourcentage des besoins en eau
< 10 mCE	2,1%
De 10,1 à 20 mCE	1,2%
De 20,1 à 30 mCE	40,9%
De 30,1 à 40 mCE	42,7%
De 40,1 à 50 mCE	11,8%
> 50 mCE	1,2%
Total	100%

Source : G2C Ingénierie, 2017.

Tableau 21 : Pressions maximales – Situation actuelle.

Pression minimale (mCE)	Pourcentage des besoins en eau
< 10 mCE	3,3%
De 10,1 à 20 mCE	5,2%
De 20,1 à 30 mCE	75,7%
De 30,1 à 40 mCE	13,2%
> 40,1 mCE	2,5%
Total	100%

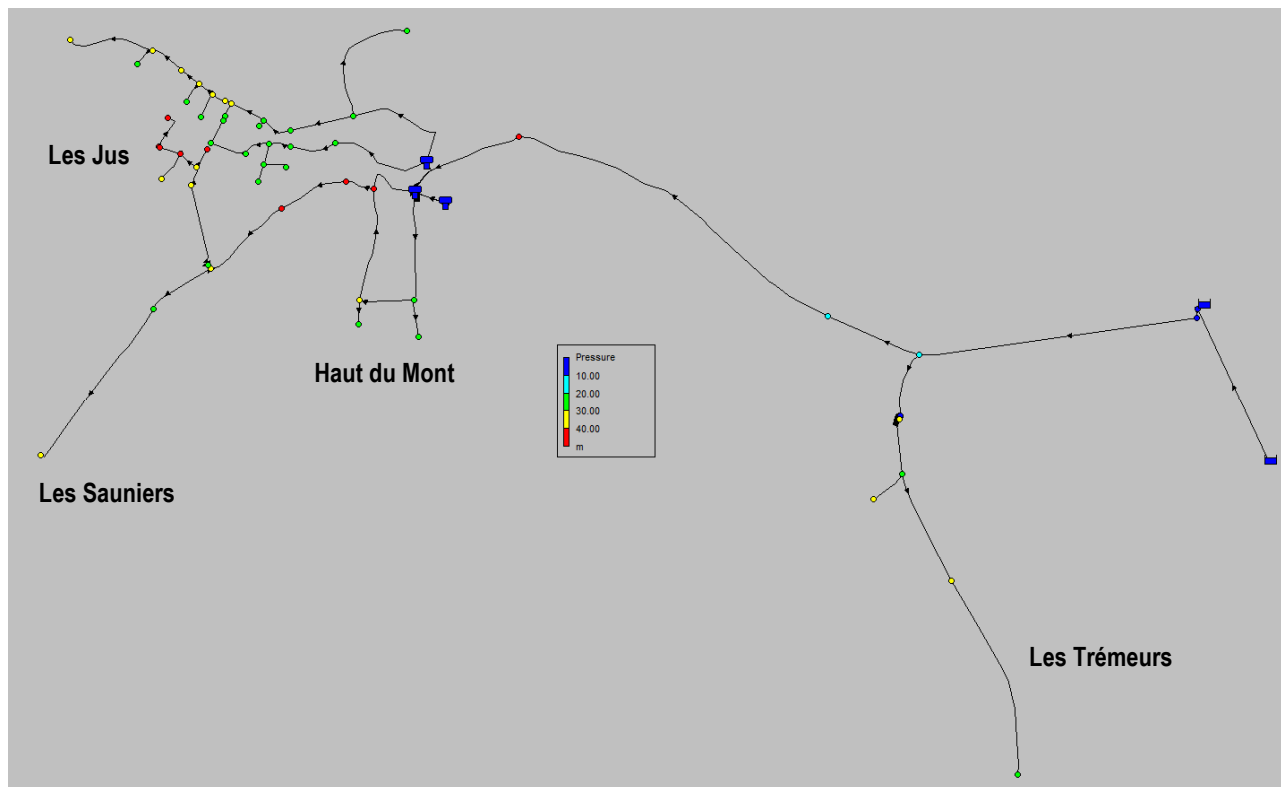
Source : G2C Ingénierie, 2017.

Tableau 22 : Pressions minimales – Situation actuelle.

Les pressions minimales sont, pour la majorité (94,6%), supérieures à 20 mCE. Par ailleurs, la modélisation renvoie des points de consommation au niveau desquels les pressions de distribution apparaissent trop faibles, sans que cela n'ait de réalité sur le terrain (voir paragraphe ci-après).

Les pressions maximales, quant à elles, sont toutes inférieures à 55 mCE. Les nœuds de consommation au niveau desquels les pressions les plus fortes sont observées sont situés dans le secteur des Jus (dénivelés des voiries relativement important).

La figure ci-dessous permet de visualiser la répartition des pressions sur le territoire communal :



Source : G2C Ingénierie, 2017.

Figure 69 : Pressions de distribution – Configuration actuelle.

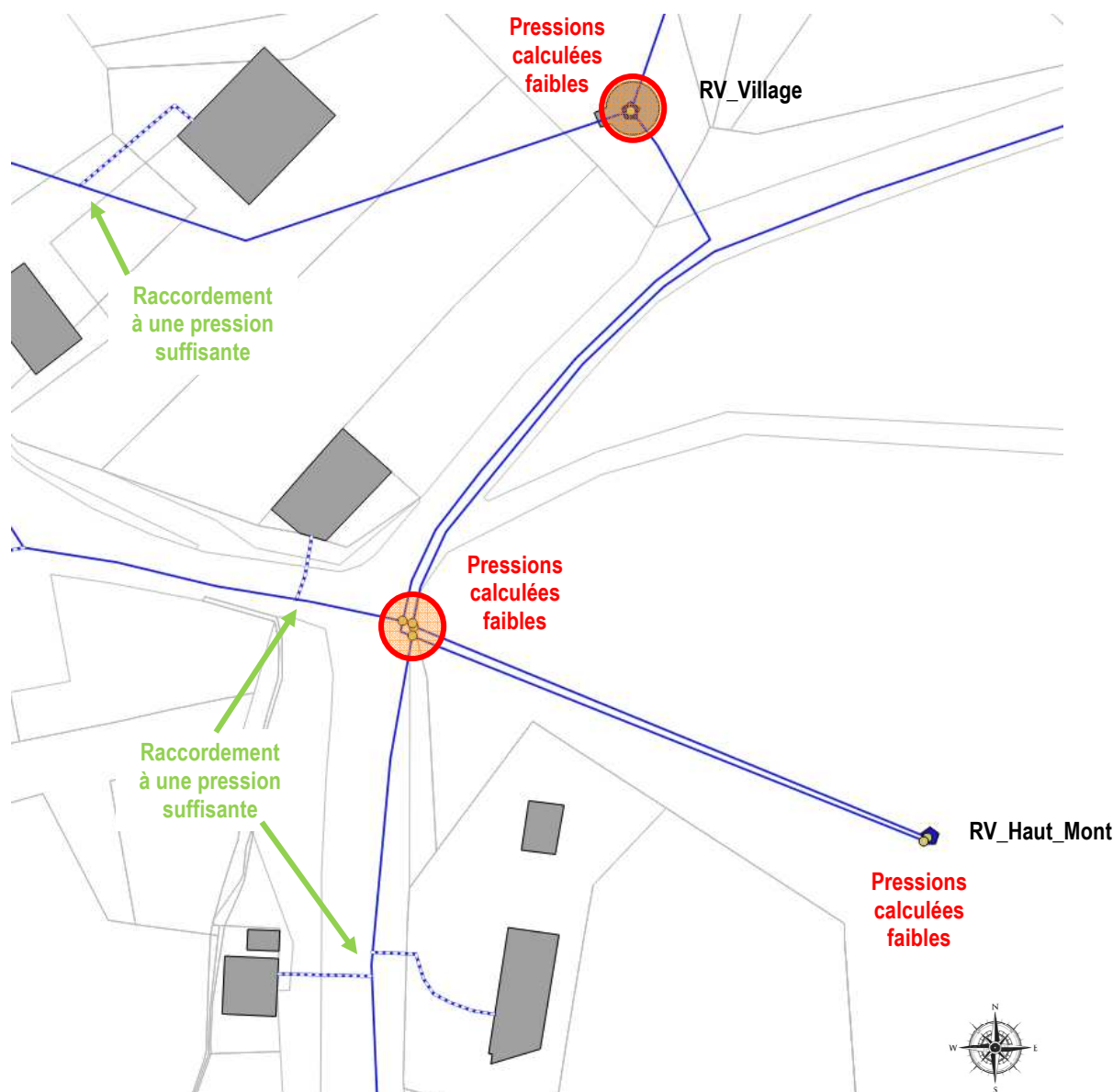
Nota : les simulations ont été réalisées en périodes normale et de pointe. Les résultats sont, à quelques mCE près, similaires en tout point, c'est pourquoi seule la configuration la plus pénalisante (fonctionnement « moyen » pour les pressions maximales et de « pointe » pour celles minimales) est ici présentée (contrairement à l'analyse réalisée sur les vitesses d'écoulement).

9.3.1.1. Analyse des pressions estimées « trop faibles » par le modèle

Comme expliqué précédemment, 5,3 % des pressions apparaissent trop faibles selon les résultats du modèle.

NŒUDS SITUÉS À PROXIMITÉ DES RÉSERVOIRS

Après étude fine du secteur situé entre les deux réservoirs de la commune, il s'avère que les points sur lesquels le modèle revoie des pressions faibles sont en réalité **des points dits de « construction » du modèle** (voir cercles rouges ci-après), **sur lequel des consommations ont été localisées alors que leur branchement d'eau potable se situe sur une conduite desservie par une pression suffisante** (voir flèches vertes ci-dessous). La figure ci-après permet l'explication de ce constat :



Source : G2C Ingénierie, 2017 – Echelle non normalisée.

Figure 70 : Diagnostic poussé des pressions aux alentours des réservoirs.

Ainsi, les pressions « faibles » calculées à proximité des réservoirs communaux ne sont pas représentatives.

NŒUDS SITUÉS À PROXIMITÉ DES TRÉMEURS

Après étude fine de l'embranchement vers les Trémeurs, il s'avère qu'une habitation soit réellement desservie par une **pression réputée faible**. La figure ci-dessous présente l'analyse du secteur :



Source : Google, G2C Ingénierie, 2017 – Echelle non normalisée.

Figure 71 : Diagnostic poussé des pressions au départ vers les Trémeurs.

Ainsi, l'habitation située le long de la RD20 (embranchement vers Les Trémeurs – territoire de Bains-les-Bains) connaît une pression de distribution minimale trop faible (de l'ordre de 0,8 bars).

Nota : en l'absence de plainte de la part de l'abonné, ce dysfonctionnement ne sera pas pris en compte dans les propositions de travaux qui vont suivre (présence probable d'un dispositif de surpression au sein de la propriété).

9.3.1.2. Bilan sur les pressions extrêmes

L'ensemble des pressions de distribution sont donc satisfaisantes sur le territoire de Trémonzey.

9.3.2. Amplitudes de pressions

Les variations quotidiennes de pression au sein des réseaux de distribution, lorsqu'elles sont supérieures à 2 bars, peuvent être à l'origine d'un vieillissement prématuré des organes de réseaux. En effet, des variations de pressions trop importantes à intervalles réguliers impliquent une sollicitation plus importante des réseaux (adaptation aux contraintes des pièces).

Le tableau ci-après dresse le bilan des variations de pression aux différents nœuds du réseau de distribution :

Variations de pression	Demandes associées (m ³ /h)	Pourcentage
< 0,5 mCE	0,050	2,7%
Entre 0,6 et 1,5 mCE	0,820	43,6%
Entre 1,6 et 3 mCE	0,000	0,0%
Entre 3,1 et 5 mCE	0,594	31,6%
> 5 mCE	0,416	22,1%
Total	1,88	100%

Source : G2C Ingénierie, 2017.

Tableau 23 : Amplitudes de pression sur une journée – Situation actuelle.

Les amplitudes de pression journalière sont toutes inférieures à 10 mCE. En effet, la variation maximale, observée dans le secteur des Sauniers, atteint 8,5 mCE. La variation moyenne, quant à elle, atteint la valeur de 3 mCE.

Nota : les simulations ont été réalisées en périodes normale et de pointe. Les résultats sont, à quelques mCE près, similaires en tout point, c'est pourquoi seule la configuration la plus pénalisante (fonctionnement « de pointe ») est ici présentée (contrairement à l'analyse réalisée sur les vitesses d'écoulement).

Ainsi, aucun tronçon n'est soumis à des variations de pression pouvant être à l'origine d'un vieillissement prématuré.

Cependant, les tronçons situés à l'aval direct des surpresseurs restent sensibles car ces derniers subissent les variations de pression en lien chaque arrêt et démarrage des pompes.

9.3.3. Bilan de l'analyse des pressions

Seul un nœud situé à l'embranchement vers Les Trémeurs, sur le territoire de Bains-les-Bains connaît des pressions inférieures à 2 bars, mais ce point ne peut être considéré comme un de réel dysfonctionnement (voir analyse réalisée plus tôt).

L'ensemble des tronçons sont soumis amplitudes journalières de pression relativement faibles.

De manière globale, les pressions de distribution sont satisfaisantes car comprises entre 2 et 5,5 bars, et de variations quotidiennes inférieures à 1 bar.

Les tronçons situés à l'aval direct des surpresseurs restent cependant sensibles car ces derniers subissent les variations de pression en lien chaque arrêt et démarrage des pompes.

9.4. Age de l'eau dans les réseaux

La conservation de la qualité des eaux est liée à une réduction du temps de séjour (ou temps de stagnation) des fluides au sein des canalisations. En effet, il est considéré qu'une désinfection efficace est garantie dès lors que les eaux n'ont pas un temps de séjour supérieur à 48h (temps moyen de désaggrégation du chlore résiduel dans l'eau), sans imposer une surdose aux premiers nœuds de consommation.

Les facteurs prépondérants dans les phénomènes de stagnation de l'eau, sont :

- Un maillage trop dense des conduites, pouvant créer des zones d'équilibre ;
- Un surdimensionnement des conduites par rapport aux besoins des services (incendie par exemple) ;
- Des antennes isolées à faible tirage de consommation ;
- Des bras morts alimentant les hydrants ;
- Du rythme de consommation lié aux périodes exceptionnelles (migrations touristiques par exemple...).

Par ailleurs, la réduction du temps de séjour de l'eau dans les réseaux de distribution passe par :

- La suppression des bras morts en aval du dernier consommateur ;
- L'installation et la sollicitation de dispositif de purge en extrémité de réseaux (bras mort) ;
- Le redimensionnement des conduites surdimensionnées ;
- La purge périodique des bras morts.

Les simulations permettent de calculer en tout point du réseau l'âge de l'eau. La durée de simulation utilisée est ici de 480 heures, soit 20 jours complets de fonctionnement. Pour rappel, il n'existe qu'un seul point de chloration des eaux sur le territoire de la commune, ce dernier étant situé au sein de la station de traitement accolée à la Source Cenrée.

Le tableau ci-après présente le linéaire de canalisations par durée de temps de séjour des eaux :

Temps de séjour	Longueur (m)	Pourcentage
< 12h	3445,22	32,7%
Entre 12h et 1 jour	536,54	5,1%
Entre 1 et 2 jours	2596,28	24,6%
Entre 2 et 3 jours	113,14	1,1%
> 3 jours	3855,11	36,6%
Total	10546,28	100%

Source : G2C Ingénierie, 2017.

Tableau 24 : Temps de séjour des eaux – Situation actuelle.

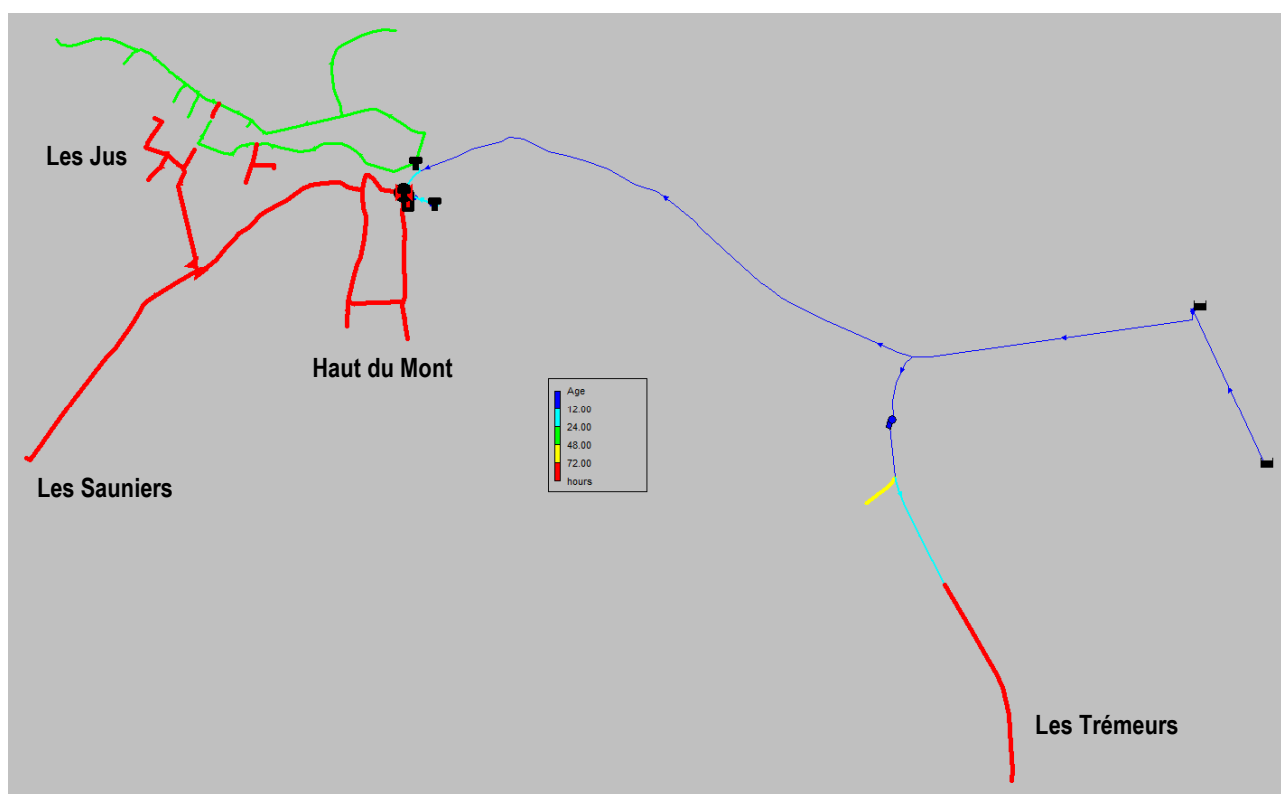
Nota : les simulations ont été réalisées en périodes normale et de pointe. Les résultats sont, à quelques minutes près, similaires en tout point, c'est pourquoi seule la configuration la plus pénalisante (fonctionnement « moyen ») est ici présentée (contrairement à l'analyse réalisée sur les vitesses d'écoulement).

Il apparaît donc que **62,4% des canalisations ont un temps de séjour inférieur à 48 heures**, ce qui est compatible avec une bonne désinfection des eaux. Cependant, certaines eaux sont soumises à des temps de séjour très longs (dont certains dépassent la semaine).

Comme le montre la figure ci-dessous, les temps de séjour les plus longs sont observés au niveau des extrémités de réseaux, notamment au niveau de :

- Secteur du Haut du Mont ;
- Secteur des Jus ;
- Secteur des Sauniers ;
- L'extrémité du secteur des Trémeurs ;
- Le bas de la Rue de la Deuxième Jus ;
- Les environs du Sentier de l'Eglise.

Ceci s'explique par le fait que les volumes d'eaux contenus dans les canalisations sont bien plus importants que les volumes de consommation au niveau de ces secteurs. Les zones de faibles consommations sont, en effet, plus sujettes au phénomène de stagnation des eaux :



Source : G2C Ingénierie, 2017.

Figure 72 : Temps de séjour des eaux – Configuration actuelle.

Le réseau de distribution principal, quant à lui, connaît des temps de séjour inférieurs à 48h.

Le temps de séjour moyen des eaux est de 185 heures, ce qui ne permet pas de garantir une désinfection efficace.

Les extrémités de réseaux connaissent des temps de séjour supérieurs à 3 jours en raison de volumes de consommations faibles (et inférieurs aux volumes d'eaux contenus dans les conduites).

9.5. Problématique du Chlorure de Vinyle Monomère (CVM)

Le Chlorure de Vinyle Monomère (CVM) est un produit chimique totalement synthétique et fabriqué, entre autre, lors de l'élaboration du PVC (Polychlorure de Vinyle). Depuis peu, l'attention portée à ce produit a augmenté car il peut présenter, même à faible dose, une toxicité pour l'être humain (il peut être à l'origine de certains cancers...).

En ce qui concerne les réseaux de distribution d'eau potable, une contamination est possible lorsque l'eau circule dans des conduites en PVC. Consciente des dangers que peut représenter le Chlorure de Vinyle Monomère (CVM), l'Union Européenne a établi la teneur maximale acceptable de CVM dans l'eau de distribution, à 0,5 µg/L (directive européenne 98/83/CE du 3 Novembre 1998, relative à la qualité des eaux destinées à la consommation humaine).

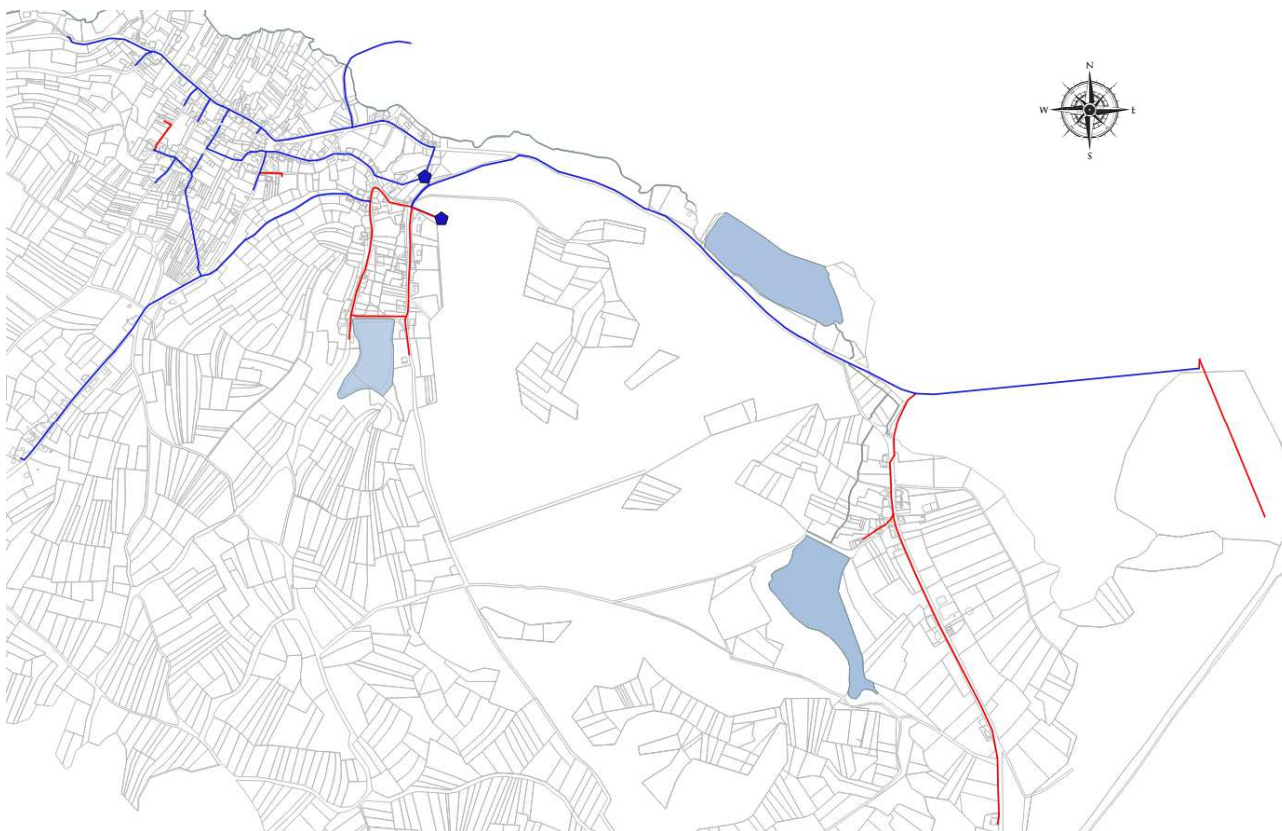
La contamination dans les réseaux de distribution peut venir, soit d'une pollution de la ressource en eau, soit d'une migration dans l'eau à partir de certaines conduites en PVC. Ainsi, les conduites en PVC dont la pose est antérieure à 1980, présentent des risques beaucoup plus élevés que celles posées par la suite. En effet, à partir de 1980, l'introduction progressive d'une étape supplémentaire (stripping) dans l'élaboration du PVC, a permis de réduire la teneur en CVM résiduelle dans le PVC.

La teneur en CVM résiduel est relativement stable tout au long de l'utilisation de la canalisation mais peut être très variable d'un tronçon à l'autre. Le relargage du CVM dans l'eau à partir des canalisations en PVC augmente logiquement avec le linéaire des tronçons de canalisations concernés et leur teneur en CVM résiduel initiale, mais également avec la température et le temps de séjour de l'eau dans ces tronçons.

Comme vu lors de la Phase 1 de l'étude, environ 40% des conduites de la commune sont constituées de PVC.

Après étude des dates de pose de chacune des conduites PVC, il s'avère que 31,5 % des réseaux sont concernés par cette problématique (date de pose antérieure à 1980 ou inconnue).

La figure ci-après présente la localisation des tronçons soumis à la problématique de relargage CVM (voir tronçons rouges sur la carte) :



Source : G2C Ingénierie, 2017 – Echelle non normalisée.

Figure 73 : Tronçons concernés par la problématique de relargage CVM.

Par couplage avec l'analyse menée plus tôt sur les temps de séjour des eaux au sein des conduites, il s'avère que le secteur du Haut du Mont reste concerné par cette problématique. En effet, les temps de séjour des eaux y sont supérieurs à 48h, ce qui favorise le relargage de CVM depuis les conduites PVC en place.

Il en est de même pour le tronçon alimentant l'extrémité du secteur des Trémeurs.

Ainsi, les taux de CVM résiduel sont à surveiller au niveau du secteur du Haut du Mont et de l'extrémité du réseau de distribution des Trémeurs.

9.6. Bilan de l'analyse du fonctionnement en situation actuelle

Suite à l'analyse des vitesses d'écoulement, les réseaux semblent correctement dimensionnés mais les canalisations en aval direct du réservoir du Haut du Mont semblent avoir un diamètre trop faible (alimentation du réservoir « Village », soit 680 ml). En effet, les vitesses de transit y sont supérieures à 1 m/s.

De manière globale, les pressions de distribution sont satisfaisantes car comprises entre 2 et 5,5 bars, et de variations quotidiennes inférieures à 1 bar.

Les tronçons situés à l'aval direct des surpresseurs restent sensibles car ces derniers subissent les variations de pression en lien chaque arrêt et démarrage des pompes.

Le temps de séjour moyen des eaux est supérieur à 48h au niveau des secteurs du Haut du Mont, des Jus, des Sauniers et à l'extrémité du secteur des Trémeurs. Ceci ne permet pas d'y garantir une désinfection efficace.

En corrélation avec ce dernier constat, les taux de CVM résiduel sont à surveiller au niveau du secteur du Haut du Mont et de l'extrémité du réseau de distribution des Trémeurs (conduites PVC à risques).

Le tableau ci-après reprend les principaux résultats du diagnostic hydraulique des réseaux :

Paramètres	Valeur cible	Situation	Minimum	Maximum	Moyenne	Diagnostic
Vitesses	Inférieur à 1 m/s	Moyenne	-	1,78 m/s	0,24 m/s	Bon
		Pointe	-	1,78 m/s	0,26 m/s	Bon
Pressions	Entre 20 et 65 mCE Amplitudes < 2 bars	Moyenne	5,81 mCE	50,02 mCE	27,53 mCE	Bon
		Pointe	5,73 mCE	49,89 mCE	24,36 mCE	Bon
Temps de séjour	Inférieur à 48h	Moyenne	0	480h	185 h	Mauvais
		Pointe	0	480 h	177 h	Mauvais

Source : G2C Ingénierie, 2017.

Tableau 25 : Bilan du diagnostic actuel.

10. ANALYSE DU FONCTIONNEMENT FUTUR DES RESEAUX

Cette partie de l'étude a pour but de simuler le fonctionnement des réseaux dans leur situation à plus ou moins longs termes. En effet, il est possible de simuler l'impact d'un accroissement de population, de l'installation de nouvelles activités, d'extensions de réseau... Mais aussi d'envisager une modification du fonctionnement actuel par mise en place de nouveaux bouclages, nouvelles interconnexions...

L'analyse est ici extrapolée à l'horizon 2030, pour lequel la réparation des fuites actuelles est envisagée.

10.1. Rappel des hypothèses

L'évolution future de la commune a d'ores et déjà été étudiée lors de la Phase 1 de l'étude. Les principales hypothèses sont reprises dans ce paragraphe.

10.1.1. Accroissement de population

Il a été décidé que, malgré la tendance à la baisse observée sur les 10 dernières années, une légère augmentation de population sera ici considérée.

La population, à l'horizon 2030 sera considérée égale à 270 habitants, soit une augmentation de 25,5% par rapport à la situation actuelle.

10.1.2. Evolution des activités

Aucune création d'activité économique, impactant les réseaux de distribution d'eau potable, n'est prévue sur le territoire de la commune.

Par ailleurs, l'exploitation agricole située aux Trêmeurs dispose désormais d'un forage particulier, ce qui entraîne des sollicitations bien moins importantes sur les réseaux communaux que précédemment.

10.1.3. Evolution des consommations

La Phase 1 de l'étude a abouti au calcul d'une dotation de 201 L/j/habitant.

En considérant l'évolution des modes de consommation et la sensibilisation croissante des pollutions quant à une utilisation plus juste des ressources en eau, nous considérons une dotation par habitant de 190 L/j/habitant à l'horizon 2030.

10.1.4. Evolution du coefficient de pointe

La Phase 1 de l'étude a mis en évidence un coefficient de pointe de 1,78.

Rien n'est susceptible de modifier sensiblement ce coefficient de pointe, c'est pourquoi celui-ci sera pris égal à 1,75.

10.2. Modifications apportées au modèle

10.2.1. Ajustement des fuites

Suite à la présente étude, la majeure partie des fuites les plus importantes, mises en évidence lors de la campagne de mesures et de la sectorisation nocturne des réseaux, seront réparées. Ceci entraînera donc la suppression de la quasi-totalité des volumes de fuites actuels.

Ainsi, la réparation de la fuite de la conduite d'adduction principale (environ 85 m³/j), et des fuites de la Route de Fontenoy et du secteur du Haut du Mont (environ 25 m³/j) entraîneront la diminution de 110 m³/j des volumes actuellement simulés.

10.2.2. Ajustement des consommations domestiques

La répartition actuelle des consommations n'a pas été modifiée.

Par ailleurs, **les demandes domestiques actuellement** renseignées aux nœuds de consommation représentent une dotation par habitant de 201 L/j/habitant (sur la base des données recueillies en Phase 1). Ceci représente **une moyenne de 1,88 m³/h, ou encore 45,12 m³/j et 16 480 m³/an.**

La prise en compte d'une population envisagée de 270 habitants, utilisant une dotation de 190 L/j/habitant, aboutit à **une consommation moyenne de 2,14 m³/h, ou encore 51,35 m³/j et 18 760 m³/an.**

Les demandes aux différents nœuds du modèle seront donc augmentées de 13,8 % afin de retranscrire au mieux les consommations à l'horizon 2030.

10.3. Analyse du fonctionnement en situation future

A la vue des hypothèses utilisées, la simulation des réseaux dans leur configuration future est moins « stressante » pour les réseaux que la situation actuelle. En effet, nous considérons :

1. Diminution de 110 m³/j des volumes de fuites ;
2. Augmentation de 6,25 m³/j des consommations.

Le mode de fonctionnement futur des réseaux est donc similaire en tout point à celui actuel (aucune modification de l'ossature de réseau, ni installation de nouvelles demandes) mais avec des volumes de fonctionnement plus faibles.

Les conclusions de l'analyse en situation future sont globalement les mêmes que celles en situation actuelle, c'est pourquoi l'ensemble des résultats ne sont pas ici détaillés.

Nota : les modèles ont tout de même été établis, et les résultats exploités. Ces derniers pourront être transmis au Maître d'Ouvrage s'il le désire.

10.4. Bilan de l'analyse du fonctionnement en situation future

Comme lors de l'analyse de la situation actuelle, les trois points suivants ont été analysés :

1. Vitesses d'écoulement ;
2. Pressions de distribution ;
3. Temps de séjour des eaux.

Comme expliqué dans le paragraphe précédent, le fonctionnement futur des réseaux est similaire, mais selon des volumes de fonctionnement plus faibles.

Les ressources en eau de la commune seront donc moins sollicitées que dans la configuration actuelle. De plus, le bilan besoins-ressources effectué en Phase 1 avait conclu à des capacités de production largement excédentaires.

Les vitesses d'écoulement seront plus faibles que celles actuellement rencontrées au sein des conduites.

Les pressions ne seront que très faiblement impactées par la modification des volumes de fonctionnement.

Seuls les temps de séjour, d'ores et déjà trop importants, pourront être légèrement augmentés.

Le tableau ci-après reprend les principaux résultats du diagnostic hydraulique des réseaux :

Paramètres	Valeur cible	Situation	Minimum	Maximum	Moyenne	Diagnostic
Vitesses	Inférieur à 1 m/s	Moyenne	-	1,78 m/s	0,17 m/s	Bon
		Pointe	-	1,78 m/s	0,24 m/s	Bon
Pressions	Entre 20 et 65 mCE Amplitudes < 2 bars	Moyenne	9,64 mCE	51,11 mCE	27,48 mCE	Bon
		Pointe	7,6 mCE	51,08 mCE	26,55 mCE	Bon
Temps de séjour	Inférieur à 48h	Moyenne	0	480h	198 h	Mauvais
		Pointe	0	480 h	181 h	Mauvais

Source : G2C Ingénierie, 2017.

Tableau 26 : Bilan du diagnostic futur.

Ainsi, le diagnostic de l'état futur des réseaux est similaire à celui de l'état actuel.

11. CONCLUSION DE PHASE 2 ET SUITES DE L'ETUDE

Malgré certaines difficultés logistiques initiales, la campagne de mesures hydrauliques s'est déroulée dans de bonnes conditions, et sur **une durée globale de 13 jours pleins**. Les dérives de données ont été minimales et seules les données d'un enregistreur de pression et d'une mesure de débits n'ont pas été exploitables.

Au total, ont été recueillis :

- Les **débits mis en distribution** au niveau de cinq compteurs de sectorisation ;
- Le **marnage** des deux réservoirs de la commune ;
- Les **pressions de distribution** au sein de 7 habitations particulières.

D'une manière générale, les courbes de consommation des différents sous-secteurs connaissent deux pics de consommation quotidiens, le premier vers 8 - 10h et le second aux alentours de 19 - 20 h.

Bien qu'assez faibles, les marnages des réservoirs sont quotidiens et sont en lien direct avec les variations de consommation évoquées plus tôt.

Les pressions de fonctionnement n'ont mis en exergue aucune zone de pression extrême (ni trop forte, ni trop faible).

La totalité des poteaux incendie ne sont ni conformes d'un point de vue hydraulique, ni d'un point de vue de leur configuration d'accès (norme NFS62-200).

Les données mesurées sont en cohérence les unes avec les autres, sans réel décalage temporel.

La sectorisation nocturne des réseaux a montré l'existence des fuites suivantes :

- 10 m³/j sur le secteur du Haut du Mont (6 m³/j au niveau des Sauniers et 4 m³/j sur le Chemin des Champs Jobard) ;
- 17 m³/j sur la Route de Fontenoy (14,5 m³/j en extrémité de réseau et 2,5 m³/j entre le 12 et le 24 Route de Fontenoy) ;
- 85 m³/j sur l'adduction principale de la commune.

Ces volumes de fuites aboutissent à un rendement net actuel de 42,9%.

Suite à la collecte de données réalisée en Phase 1 de l'étude, puis à la campagne de mesures déployée sur les réseaux communaux, un modèle informatique a été construit. Celui-ci permet la modélisation de l'ensemble des réseaux d'alimentation en eau potable de la commune, soit environ 10,55 km.

Les consommations des abonnés ont été spatialement réparties aux différents nœuds de l'ossature du modèle. En parallèle, chacun de ces nœuds s'est vu attribué une altitude et une consommation spécifique (issue de la localisation des consommations). Enfin, les « habitudes » de consommation et les fuites par secteur ont été intégrées au modèle.

Les données issues des mesures réalisées ont permis le calage du modèle, ce qui permet la validation des calculs mathématiques comme étant représentatifs du fonctionnement réel des réseaux.

Le diagnostic du fonctionnement hydraulique des réseaux a ensuite pu être réalisé :

- Les **vitesses d'écoulement** sont globalement satisfaisantes, à l'exception des conduites reliant les deux réservoirs ;
- Les **pressions de distribution** sont convenables ;
- Les **temps de séjour** des secteurs du Haut du Mont, des Sauniers, des Jus et de l'extrémité du secteur des Trémeurs sont trop longs et n'y garantissent pas une désinfection optimale ;
- La **problématique liée aux concentrations en CVM** reste à surveiller dans les années à venir dans le secteur du Haut du Mont.

Nota : la défense incendie a été étudiée lors de la campagne de mesures hydrauliques réalisée. Il s'avère qu'aucun des poteaux incendie en place n'est conforme à la vue des normes actuelles. **Le système de Défense Contre l'Incendie de la commune est donc considéré comme obsolète.**

Le modèle a ensuite été modifié afin de représenter au mieux la configuration future des réseaux : évolution des consommations et amélioration du rendement (par suppression de la majorité des fuites actuelles).

Ces modifications, qui restent minimales, n'ont pas modifié le diagnostic du fonctionnement actuel des réseaux.

Ces constats amènent à des propositions de travaux qui seront réalisées en Phase 3 de l'étude. Les aspects techniques et financiers des améliorations proposées seront alors détaillés, dans le but d'aider à la décision du Maître d'Ouvrage quant aux travaux à entreprendre.

12. ANNEXES

Annexe 1 : Fiches descriptives des poteaux incendie