
Rapport de stage individuel

4^{ème} année

Modélisation de réseau hydraulique de distribution d'eau potable

Entreprise : Veolia Eau Pyrénées-Gascogne
Adresse : ZAC du Parc des Pyrénées, Rue du
Néouvielle, 65 420 Ibos



Tuteur entreprise : Philippe Dobias
Directeur Opérationnel

Alexandre Bouzaires
UIT - RESEAU
2021-2022

Tuteur académique : Mindjid Maïzia

Contexte technique et lexique :	4
1. Présentation de la structure d'accueil.	5
2. Présentation du stage : objectifs et déroulé.	6
a) Modélisation et réduction des fuites du réseau hydraulique d'Auch.	7
i) Déroulé de la mission	7
ii) Attribution de l'altitude de chaque nœud.	8
iii) Attribution spatiale et temporelle des consommations.	8
iv) Modélisation des fuites du réseau.	10
v) Modélisation de l'UEP Saint-Martin et des réservoirs.	12
vi) Problèmes de connectivités et vannes de sectorisation.	13
vii) Estimation de la rugosité des canalisations.	14
viii) Perte de charge singulière.	15
ix) Vérification des volumes distribués.	15
x) Réduction de la pression par des aménagements.	16
b) Modélisation du réseau hydraulique de Pamiers et étude du projet de sectorisation.	19
i) Intérêt de la mise en place d'une sectorisation.	20
ii) Création du modèle hydraulique de Pamiers.	21
iii) Etude du projet de sectorisation.	23
c) Modélisation de la concentration en chlore libre dans le réseau hydraulique du Syndicat Auch Sud.	24
i) Situation actuelle de la concentration en chlore dans le réseau.	25
ii) Mise en place de la campagne de mesure.	27
iii) Exploitation des mesures et modélisation.	28
iv) Utilisation du modèle.	29
3. Retour sur expérience.	32
Conclusion.	35
Bibliographie.	36
Webographie.	36
Annexes.	37

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier mon tuteur professionnel Philippe Dobias, directeur opérationnel du Territoire Pyrénées-Gascogne, ainsi que Philippe Bernat, directeur du Territoire Pyrénées-Gascogne pour m'avoir accordé leur confiance et offert l'opportunité de réaliser un stage au sein de Veolia Territoire Pyrénées-Gascogne.

Je tiens à remercier, une nouvelle fois, Philippe Dobias, qui à travers son rôle de tuteur professionnel, m'a fait partager ses connaissances et expériences dans les métiers de l'eau, aussi bien sur des questions techniques que sur les enjeux de la profession, tout en m'accordant de l'autonomie dans la réalisation des missions qui m'étaient confiées.

Je tiens également à remercier Emmanuel Monteil qui m'a régulièrement aidé lors de mes projets, aussi bien sur des questions techniques que la compréhension globale des réseaux.

De manière générale, j'adresse mes remerciements à l'ensemble des membres du Territoire Pyrénées-Gascogne pour leur accueil, leur amabilité et leurs conseils lors de mon stage. Mon expérience de stage s'est révélée des plus positives, non seulement grâce à leur professionnalisme, mais aussi pour m'avoir intégré dans l'équipe.

Contexte technique et lexique :

UEP : Usine de traitement d'Eau Potable.

UARL : Unavoidable Annual Real Losses.

PRV : Pressure Relief Valve

PSV : Pressure Safety Valve

CMH : Cubic Meter per Hour (m^3/h)

Volume comptabilisé : Volume mesuré par les compteurs lors des campagnes de relevés.

Volume consommateurs sans télé comptage : Volume non-compté ou soumis à des campagnes de relevés (défense incendie, arrosage public...).

Volume service du réseau : Volume utilisé par l'exploitant lors d'opération d'entretien (purge, visages de biefs, nettoyage des réservoirs...).

Volume consommé autorisé année entière : Somme des volumes comptabilisés, consommateurs sans télé comptage et de service du réseau. Il est ramené à l'année entière par un calcul prorata temporis sur la part comptabilisée en fonction du nombre de jours de consommation.

Volume de perte : Volume provenant des fuites sur les canalisations et ouvrages du réseau hydraulique.

Volume mis en distribution (VMD) : Volume produit par l'UEP et/ou acheté injecté dans le réseau. Il représente le volume consommé autorisé sur l'année entière et le volume de perte dans le réseau à l'année. (Figure 1)

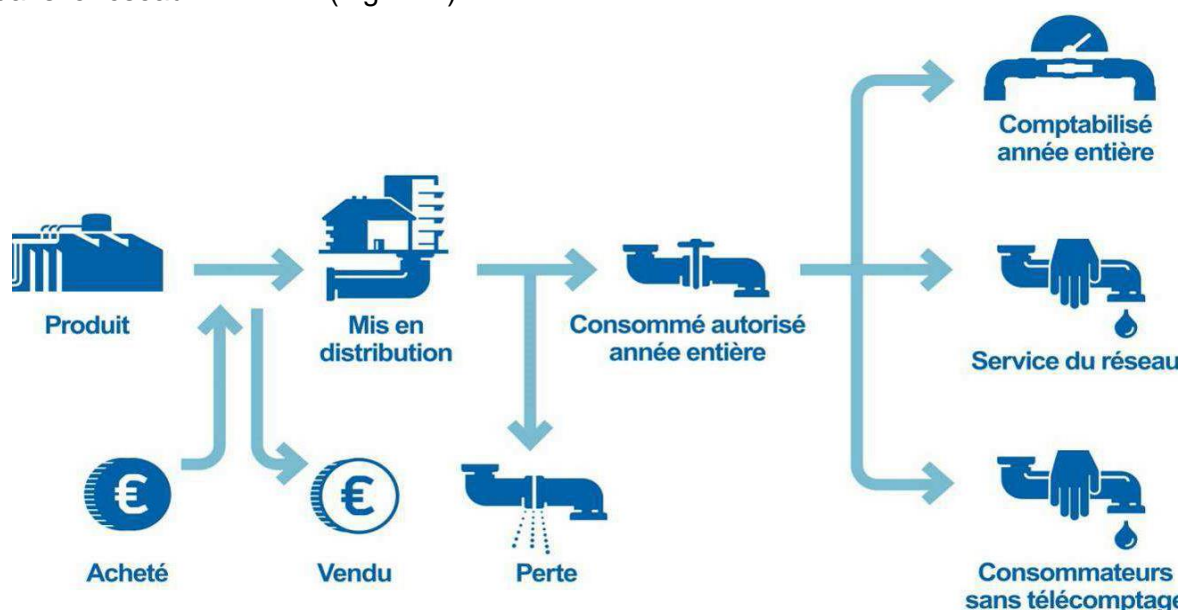


Figure 1 : Terminologie des volumes dans un réseau de distribution.

1. Présentation de la structure d'accueil.

Veolia est une multinationale française dont l'activité commerciale se base sur le cycle de l'eau, la gestion des déchets et la gestion de l'énergie. L'entreprise est leader mondial des services collectifs et souhaite devenir l'entreprise de référence de la transformation écologique. Son président est Antoine Frérot et emploie en 2020 178 780 salariés sur 5 continents. Le groupe Veolia se décompose en 106 filiales, avec notamment Veolia Propreté sur la question des déchets, Dalkia (excepté en France) dans le domaine de l'énergie, et Veolia Eau pour la gestion du cycle de l'eau. (Wikipédia, 2022)

La mission principale de Veolia Eau est la gestion déléguée de services d'eau et d'assainissement dans le domaine public ou privé. Son activité est internationale et l'entreprise est leader en France sur la gestion de l'eau. Le territoire français est découpé en 10 régions : Centre-Ouest, Normandie, Ile-de-France, Hauts-de-France, Est, Centre-Est, Méditerranée, Sud, La Réunion et Sud-Ouest. Ces régions sont elles-mêmes organisées en territoires. La région Sud-Ouest est dirigée par Fady Hajjar (à changer) et elle compte 6 Territoires : Atlantiques, Dordogne-Limousin, Garonne & Affluents, SABOM (Bordeaux Aquitaine), SETOM (Toulouse Métropole) et enfin Pyrénées-Gascogne.

Le territoire Pyrénées-Gascogne comprend le département des Pyrénées-Atlantiques (64), du Gers (32), de la Haute-Garonne (31, hors Toulouse Métropole), de l'Ariège (09) et des Hautes-Pyrénées (65). Le Directeur de Territoire est Bernat Philippe, le Directeur du Développement est Baschet Ludovic, le Directeur des Opérations est Dobias Philippe, le Directeur Consommateurs est Kreitzer Lionel, et le Manager de Service Travaux est Montes Thomas.

Le lieu de référence du territoire est situé dans les Hautes-Pyrénées, dans la ZAC Parc des Pyrénées, Rue du Néouvielle à Ibos, au sein du campus Veolia où j'ai effectué mon stage. Ce campus accueille d'autres entreprises comme EIFFAGE. C'est en ce lieu que se déroule la planification des opérations du territoire et du contact client : création des SIG, contrôle de qualité de l'eau, bilan assainissement et eau potable, devis de facturation des travaux et intendance. D'autres activités de Veolia y sont aussi implantées, ainsi que la formation du personnel avec un pôle enseignement. (Campus Veolia, 2022)

Le territoire compte 54 348 abonnés desservis en eau potable, 150 contrats de collectivités et industriels, 42 usines de dépollution, emploie 106 agents et comporte 15 installations de production d'eau potable. Pyrénées-Gascogne est divisé selon des groupements de contrats eux-mêmes supervisés par des managers : Assibat Arnaud le Manager de Service Gers, Guy Bayle le Manager de Service Pyrénées Assainissement, Hourcastagnou Daniel le Manager de Service Pyrénées AEP Val d'Adour, Soubies Patrick le Manager de Service Pyrénées AEP Bigorre, et Agoutborde Claude le Manager de Service Garonne Sud – Ariège. Les agents sont répartis en fonction de l'importance des contrats : les contrats demandant le moins d'intervention mobilisent peu de personnels, à l'inverse des plus gros contrats qui en mobilisent la majorité.

2. Présentation du stage : objectifs et déroulé.

Mon stage s'est déroulé selon 3 missions : la modélisation du réseau hydraulique d'Auch et la proposition d'aménagements pour améliorer le rendement du réseau, la modélisation du réseau hydraulique de Pamiers couplé à l'étude du projet de sectorisation, et la vérification à l'aide d'un modèle hydraulique de la qualité de l'eau à Auch Sud.

Ces projets sont réalisés sur le logiciel EPANET et accompagnés par une expérience sur le terrain. Développé par l'Environmental Protection Agency, il permet l'étude des systèmes de distribution d'eau potable. Il se présente sous forme d'une vue aérienne du réseau, décliné en plusieurs éléments : des tuyaux (canalisations), des jonctions (nœuds), des bâches infinies, des réservoirs, des pompes et des vannes. Ces objets suffisent à simuler un réseau.

- Un tuyau (ou canalisation) est un arc transportant l'eau. Il est supposé être rempli à tout instant et l'eau s'y écoule en suivant la gravité (point haut vers point bas) en l'absence de pompe. Il faut lui assigner une jonction d'entrée et de sortie, un diamètre et une longueur. Il est aussi possible de renseigner un coefficient de rugosité et de changer son état (ouvert, fermé ou clapet anti-retour).
- Une jonction (ou nœud) est l'extrémité d'un tuyau. C'est ici que l'eau peut sortir en fonction de la demande que l'on lui assigne. Il faut aussi lui fournir une altitude. Elle peut être géo-localisée.
- Une bâche infinie est un point de puisage d'eau que l'on suppose infini. Elle se comporte comme un nœud.
- Un réservoir "Tank" est un nœud capable de stocker de l'eau selon plusieurs critères : l'altitude du radier, le diamètre de la cuve, le niveau d'eau initial, minimal et maximal.
- Une pompe est un arc capable de fournir de l'énergie à un fluide en augmentant sa charge hydraulique. Ce paramètre est indiqué par une courbe de pompe. Il n'est pas nécessaire de renseigner une longueur, l'objet étant considéré comme ponctuel mais nécessite un nœud d'entrée et de sortie.
- Une vanne est une canalisation pouvant limiter la pression ou le débit. Cet élément reprend les caractéristiques d'une canalisation en ajoutant la consigne de réduction.

La construction d'un modèle EPANET passe par des données statiques, comme le réseau de canalisation, le positionnement des ouvrages et leurs dimensions, ainsi que les consommations et leurs répartitions dans l'espace. A cela s'ajoutent des données dynamiques avec le fonctionnement et les règles d'asservissement des ouvrages. Il faut aussi prendre en compte les profils de consommations des usagers du réseau.

Une fois ce modèle créé, il faut en vérifier la validité. Pour se faire il faut "caler" le modèle. En se basant sur des campagnes de mesures et les systèmes de télégestion, il est possible de connaître le comportement du réseau en certains points. Il faut ensuite ajuster le modèle afin de faire correspondre les données terrains avec les données simulées.

La modélisation du réseau permet d'étudier son fonctionnement actuel. Les domaines d'études sont variés, comme l'étude des pressions, des débits ou de la qualité de l'eau avec le temps de séjour de l'eau dans les canalisations, ou encore la concentration de chlore. Elle est aussi utile dans la vérification de l'usage des défenses incendies, ces ouvrages consommant au minimum $30 \text{ m}^3/\text{ha}$ une pression dynamique de 1 bar. Un modèle EPANET

permet aussi d'analyser le fonctionnement futur du réseau, en simulant une augmentation des volumes consommés ou des variations dans le mode de consommation. Cela permet de valider le dimensionnement du réseau ou de ses évolutions en modifiant le diamètre ou le matériau des canalisations ou en changeant les consignes et les dimensions des ouvrages. Il permet aussi d'assister les prises de décisions en situation de crise. La rupture d'une canalisation principale, la pollution du réseau ou une dégradation des ouvrages doivent entraîner une réponse rapide et efficace. Le modèle permet de simuler plusieurs scénarios et ainsi de prendre la meilleure décision compte tenu des contraintes.

a) Modélisation et réduction des fuites du réseau hydraulique d'Auch.

Située dans la région Occitanie, Auch est la commune préfecture du département du Gers (32). Elle compte une population de 23 276 habitants en 2019 selon l'INSEE. Elle est traversée par le Gers, affluent de la Garonne, qui constitue la prise d'eau brute pour l'Usine d'Eau Potable de Saint Martin. La ville est marquée par un paysage en coteaux, faisant varier l'altitude de la commune entre 115 m et 281 m au-dessus du niveau de la mer. Cette caractéristique topographique amène de nombreuses contraintes pour le réseau : l'eau doit être acheminée en eau des coteaux, puis doit être redescendue sans pour autant engendrer des pressions trop élevées. La pression doit cependant être suffisante pour éventuellement remonter de l'eau à un coteau suivant.

Le contrat entre la Ville d'Auch et Veolia est un affermage du réseau d'eau potable de la ville. Historiquement, l'entreprise travaille avec la Ville d'Auch depuis 2008 et un contrat a été signé le 01/01/2018 jusqu'au 31/12/2029. Le réseau d'eau potable comprend 375 kilomètres de canalisations, 1 usine de production d'Eau Potable, 5 réservoirs de têtes et dessert 23 067 habitants (certains logements sont alimentés par le réseau d'Auch Sud).

La mission principale de mon stage au sein de la direction opérationnelle du territoire Pyrénées-Gascogne est la mise à jour du modèle hydraulique du contrat de la ville d'Auch. Cette tâche est accompagnée par l'identification des problèmes du réseau et la proposition d'aménagements pour améliorer son rendement.

i) Déroulé de la mission

Depuis 2011, le réseau d'eau potable d'Auch a subi des modifications, aussi bien sur les équipements que pour les canalisations et leurs dispositions. Ainsi, il n'était pas possible de partir d'un précédent modèle EPANET en actualisant les consommations et propriétés des ouvrages.

Le point de départ est un export QGIS du réseau de canalisation et des ouvrages provenant de VIGIE qui est une interface QGIS sur navigateur. De cet export ressortent 3 éléments EPANET : des canalisations, des nœuds et des éléments réservoirs.

A chaque canalisation est assigné le secteur sous la forme I8000_SXX_NOM, 8000 étant le numéro de contrat avec la ville d'Auch, SXX étant le numéro du secteur et enfin son nom. La longueur des canalisations ainsi que le diamètre sont aussi renseignées. Ces canalisations sont liées à des nœuds. Les nœuds et réservoirs sont géoréférencés et possèdent un ID propre.

En l'état, le modèle ne peut pas fonctionner car l'export contient plusieurs erreurs et manque aussi d'informations.

ii) Attribution de l'altitude de chaque nœud.

La première étape est d'assigner une altitude à chaque nœud, ce composant étant essentiel au fonctionnement du modèle. Sans altitude, aucun écoulement gravitaire ne peut s'effectuer et c'est pourtant la base du réseau hydraulique d'Auch. Afin d'obtenir cette information, il faut avoir recours à QGIS. Le même export, dans un format différent, est ouvert dans QGIS. En regroupant les éléments constituant les nœuds et ouvrages dans la même couche, il est possible d'obtenir les altitudes de ces derniers. (Figure 15) Les données topographiques proviennent de la BD Topo. Cette opération permet de compléter la cartographie VIGIE. (BD Topo, 2022)

L'export depuis VIGIE ne permet pas de faire la différence entre les ouvrages. Un surpresseur est exporté comme un élément "Tank", au même titre qu'un réservoir. D'autres objets sont aussi mal interprétés par EPANET, comme les vannes fermées et les valves (réducteurs, stabilisateur). Une identification entre VIGIE et EPANET pour chaque élément Tank est donc nécessaire. Les surpresseurs doivent être modélisés par une pompe et les valves par des valves PRV (pour un réducteur de pression) ou PSV (pour un stabilisateur). Les caractéristiques de ces ouvrages sont, au départ, reprises du modèle de 2011. Les vannes fermées sont aussi représentées par des Tanks lors de l'export.

iii) Attribution spatiale et temporelle des consommations.

La modélisation du réseau hydraulique passe aussi par la consommation en eau de la ville d'Auch. Le fichier client comporte des informations sur chaque client de Veolia de la ville pour l'approvisionnement en eau potable. Nous pouvons ainsi obtenir un volume d'eau vendu pour chaque consommateur, privé ou public. Ce fichier associe à chaque contrat un compteur. Pour estimer la consommation pour un particulier, le volume total d'eau consommée est relevé à deux instants différents et la différence entre ces deux valeurs donne une consommation pour une période. Cet intervalle est en général de 3 mois, mais peut être amené à varier.

Ce fichier doit tout d'abord être modifié afin d'être cohérent avec la modélisation. En effet, des consommations renseignées concernent des contrats désormais résiliés. Il n'est pas pertinent du point de vue d'un modèle actualisé d'inclure une consommation datant de 1993. Seules les consommations d'une période commençant en 2019 sont utilisées, les campagnes de relevage des compteurs étant en général tous les ans, tous les deux ans au maximum dans le contexte de la Covid. De plus, EPANET utilise une consommation sous la forme d'un débit en m^3/h . Chaque consommation doit donc être divisée par la durée de la période (en jour) puis ramenée en heure.

Cependant, le fichier client ne contient pas de coordonnées exploitables par EPANET. Il faut donc faire un lien avec le fichier client et un fichier issu de FluksAqua, outil servant d'interface entre les télémesures des ouvrages et l'exploitant. Dans ce logiciel, les compteurs sont géo-référencés dans le système de coordonnées WGS 84-Pseudo Mercator, qui est un système de coordonnées répandue comme le montre son usage dans Google Maps. Une jointure entre le fichier client et le fichier issu de FluksAqua permet donc de géo-référencer chaque

consommation. A noter que plusieurs consommations peuvent être associées à un même compteur, il faut donc regrouper les consommations par compteur.

L'export EPANET étant dans le référentiel Lambert 93, il faut convertir les coordonnées obtenues précédemment dans ce système de projection.

Finalement, un fichier Excel liant consommation et coordonnées en Lambert 93 est produit. Il est ensuite utilisé pour créer une couche vectorielle sur QGIS, des points géolocalisés contiennent l'information des consommations. Afin de faire le rapprochement entre ces points et les nœuds EPANET, cette couche vectorielle est ajoutée au QGIS provenant de VIGIE. L'extension NNJoin permet de mettre en correspondance selon leur proximité spatiale. Le nombre de points de consommation est supérieur au nombre de nœuds, et NNJoin ne permet d'assigner que l'élément le plus proche. Ainsi, assigner à chaque nœud une consommation ne traite pas l'ensemble des points des consommations. Il faut donc procéder à l'inverse : chaque consommation est complétée par l'ID du nœud le plus proche. L'outil "consolider" sur Excel permet d'additionner chaque consommation ayant le même ID, produisant alors une consommation unique par ID de nœud le plus proche d'une ou de plusieurs consommations.

Toutefois, le fichier client ne renseigne que sur les volumes consommés pour une durée, un débit en m^3/het ne tient pas compte du profil de consommation des particuliers. EPANET comporte un onglet 'Patterns' permettant d'assigner un profil de consommation par nœud. Le profil de base sur EPANET est une demande constante avec un multiplicateur x1 de la consommation d'un nœud. En réalité, la consommation est différente selon l'heure. Pour le logement, le profil type établi par Veolia est le suivant : une consommation faible entre 00h00, une augmentation entre 7h00 et 12h00 où elle atteint son pic, une période assez stable entre 12h00 et 19h00 avant une nouvelle hausse de la consommation avec un deuxième pic, moins important qu'à 12h00, à 21h00 puis une baisse jusqu'à 00h00. Ce profil est le plus fréquent dans le modèle et concerne plus de 99% des nœuds. (Figure 2)

Pour ne pas modifier les volumes mis en vente dans le réseau, la moyenne de chaque profil doit être à 1 ou le plus proche possible.

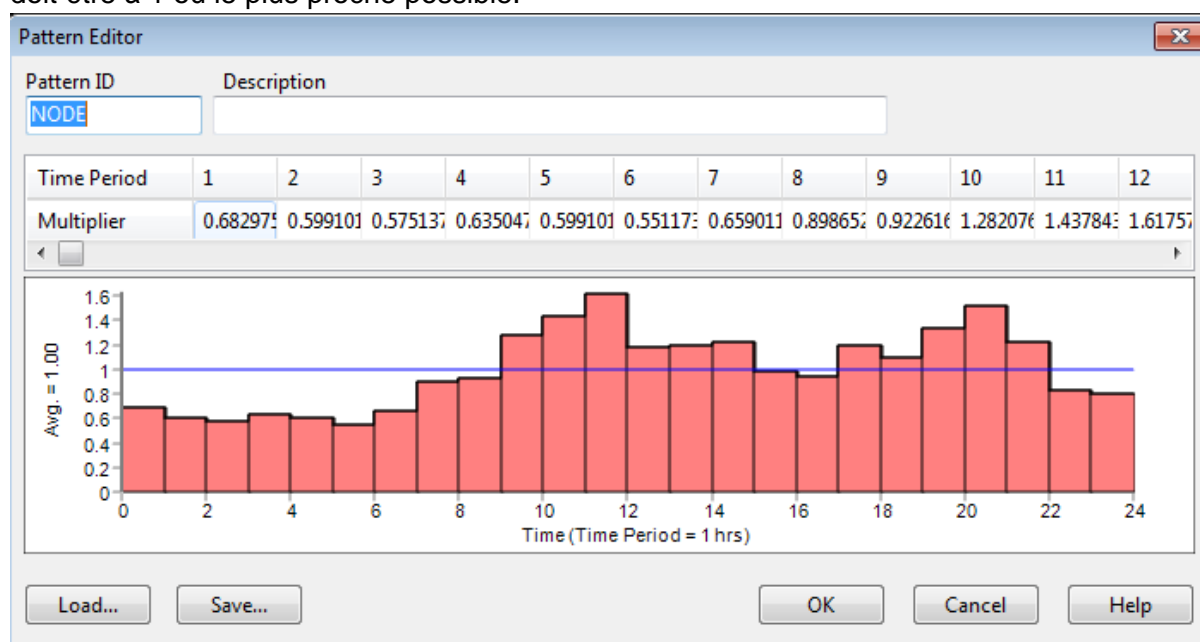


Figure 2 : Profil de consommation standard.

Mais les profils de consommation des gros consommateurs doivent aussi être pris en compte. Les gros consommateurs (entreprises et établissements publics) constituent 23% de la demande totale en eau de la ville sur moins de 1% des nœuds. Les volumes consommés sont entre 37 000 m³ par mois et 2 000 m³ par mois. De ce fait, des profils adaptés à chaque type de gros consommateurs sont renseignés dans EPANET : les bâtiments de la santé ont un profil différent du profil d'un bâtiment dans l'agro-alimentaire. (Figure 3) La création de ces profils est basée sur la consommation réelle des bâtiments obtenue sur Teleo et FluskAqua. Teleo est un outil venant compléter l'interface FluskAqua.

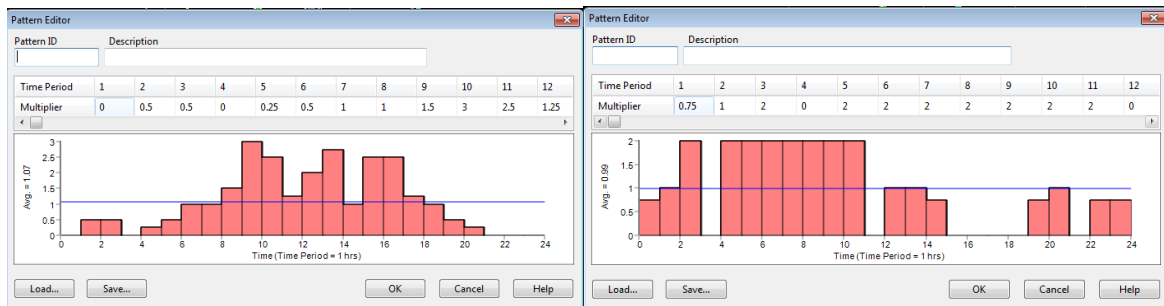


Figure 3 : Exemple de profil de consommation de « gros consommateurs ».

Le RAD (Rapport Annuel du Délégué) de 2021 chiffre à 1 368 303 m³ d'eau mis en vente à Auch pour la même année. Le volume d'eau total mis en vente dans le modèle est 1 357 493 m³ réparti parmi les 4 529 nœuds de la modélisation EPANET. L'écart entre ces deux valeurs est d'environ 1% et est inférieur au 5% d'écart conseillé.

iv) Modélisation des fuites du réseau.

Les volumes présentés en section (iii) sont des volumes utilisés par les particuliers : ils ne prennent pas en compte les volumes perdus par des fuites. Selon le RAD de l'année 2021, le volume mis en distribution est de 2 014 066 m³ pour la même année, et 1 368 303 m³ vendu. La différence entre ces deux valeurs est le volume de fuites : il est de 645 763 m³ soit environ le tiers du volume distribué.

La modélisation des fuites est faite par la fonctionnalité 'Emitters' de chaque nœud : elle agit comme une buse ouverte au niveau d'un nœud. Elle sert ainsi à modéliser une fuite, mais peut aussi servir pour faire des tests de sécurité incendie si une borne incendie est présente sur le nœud. Ici, elle n'est utilisée que pour les fuites.

Le débit de fuites (ou de la buse) est calculé selon la formule :

$$q = Cp^\gamma \quad (1)$$

Avec q le débit en m³/h, C le coefficient de l'emitter en m³/h * m, p la pression en m de colonne d'eau et γ un coefficient sans dimension égal à 1 mais sujet à modification.

L'inconnue est la variable C, le coefficient de l'emitter.

Le débit s'obtient sur FluskAqua en observant les volumes journaliers distribués : la valeur la plus faible sur une plage de temps donnée de la semaine correspond au débit de fuites. On suppose que lors des heures de très faibles consommations, la valeur de fuites est atteinte (Philippe Dobias, 2021).

Les pressions moyennes sont obtenues depuis l'ancienne modélisation EPANET.

Cependant, les fuites ne sont pas réparties de manière égale dans l'espace : certaines zones sont plus vieilles ou soumises à une pression plus élevée ainsi que des canalisations vieillissantes, les exposant plus au risque de fuites.

Le réseau d'Auch étant découpé en secteur, une étude secteur par secteur est préférable. FluksAqua permet d'avoir des relevés secteur par secteur, ainsi le débit de fuites est trouvable aisément en étudiant le VMD (Volume Mis en Distribution) : la valeur la plus faible pour une plage de temps donnée correspond au débit de fuites.

La pression peut être estimée en utilisant la pression moyenne calculée dans le secteur. Selon les secteurs, la pression moyenne varie de 43,9 m de colonne d'eau à 63 m de colonne d'eau. Mais le débit minimal n'est pas renseigné pour tous les secteurs. La disposition des compteurs ne permet pas le calcul de chacun des débits vers ces secteurs.

Par exemple, le réservoir d'Escagnan est en refoulement distribution avec l'Usine de production de Saint-Martin. Il alimente sur ce passage les secteurs S01 HOP-ESCAGNAN et S03 ANGERVILLE. Le même problème se pose pour l'alimentation entre le réservoir Bel Air et le réservoir Escagnan, elle aussi en refoulement distribution avec le secteur S04 REFOUL ESCAGNAN BELAIR. Ainsi l'équation totale des volumes pour ces secteurs donne :

$$S01 + S04 = SU - S02 - S03 - S20 - S05 - S06$$

Les volumes mis en distribution dans ces secteurs ne sont pas calculables pour le secteur S01 HOP-ESCAGNAN et S04 REFOUL BEL AIR. (Figure 16)

Le calcul du débit de fuites pour ces secteurs manquant fait appel à l'UARL (Unavoidable Annual Real Losses). Cette méthode a pour but d'estimer le débit de fuites pour un réseau et se définit selon la formule :

$$UARL = (18 * Lm + 0.8 * Ns + 25 * Lp) * p / 100$$

Avec UARL le débit de fuites en *jour*, Lm la longueur du réseau en km, Ns le nombre de connexion, Lp la longueur du réseau de branchement (vers le particulier) et p la pression en m de colonne d'eau. Ici les branchements ne sont pas pris en compte, Lp est donc à 0. Chaque secteur est considéré comme un sous-réseau, il faut donc prendre la longueur des secteurs pour Lm et le nombre de connexions dans le secteur (nombre de nœuds) pour Ns, AZP est la pression moyenne du secteur en mètre de colonne d'eau.

Il est maintenant possible de calculer un coefficient de l'emitter C par secteur selon la formule :

$$C_s = \frac{q_s}{N_s * p_s^\gamma}$$

Avec C_s le coefficient de l'emitter du secteur en $m^3/h * m$, q_s le débit du secteur en m^3/h , N_s le nombre de nœuds dans le secteur, p_s la pression moyenne dans le secteur en mètre de colonne d'eau et γ sans unité.

Cette formule se base sur la formule (1) est divisée par le nombre de nœuds afin de répartir également les fuites dans le secteur. En réalité, au sein d'un même secteur, certaines canalisations et jonctions vont engendrer plus de fuites que d'autres en fonction de leur âge, du matériau utilisé et de la pression. Sur le modèle, seul l'aspect de la pression permet ici de différencier les fuites selon les canalisations.

v) Modélisation de l'UEP Saint-Martin et des réservoirs.

L'export ne reprend pas exactement le réseau hydraulique : le but de VIGIE étant d'être accessible par tous, il est simplifié par endroit, notamment au niveau des réservoirs et de l'Usine de Production d'Eau Potable Saint-Martin. Le maillage des réservoirs et de l'UEP est donc refait et mis à jour par rapport à 2011. L'UEP Saint-Martin est modélisée sur EPANET comme une source avec un volume infini : on ne s'intéresse pas à la production d'eau potable et on suppose l'usine capable d'assurer les besoins du réseau en tout instant.

L'approvisionnement en eau des réservoirs de la ville est effectué par l'intermédiaire de groupes électropompes situés dans l'UEP Saint-Martin. Ces groupes sont entre 2 et 3 pour chaque réservoir. Ainsi en cas de défaillance d'un des groupes, une partie de la distribution en eau potable est toujours assurée. Ces derniers sont installés en parallèle, cette disposition permet d'augmenter le débit sans augmenter la pression.

Les électropompes sont modélisées par des pompes sur EPANET. Les propriétés des pompes sont données par la courbe HMT associée. Cette courbe indique la pression que doit fournir la pompe pour vaincre les forces de pression entre deux points de hauteur différente. Ces courbes sont renseignées dans la fiche technique de la pompe.

Cependant, le modèle exact des pompes utilisées n'étant pas renseigné, une courbe basée sur une seule HMT est créée pour chaque pompe. (Figure 4) Le point de référence est un couple de valeur inscrit sur une plaque signalétique sur le carter de chaque pompe. EPANET calcule ensuite sur le prolongement de la courbe selon l'équation :

$$H = 113,33 - 0.002342 * q^2$$

Avec H hauteur en m de colonne d'eau et q le débit en m^3/h .

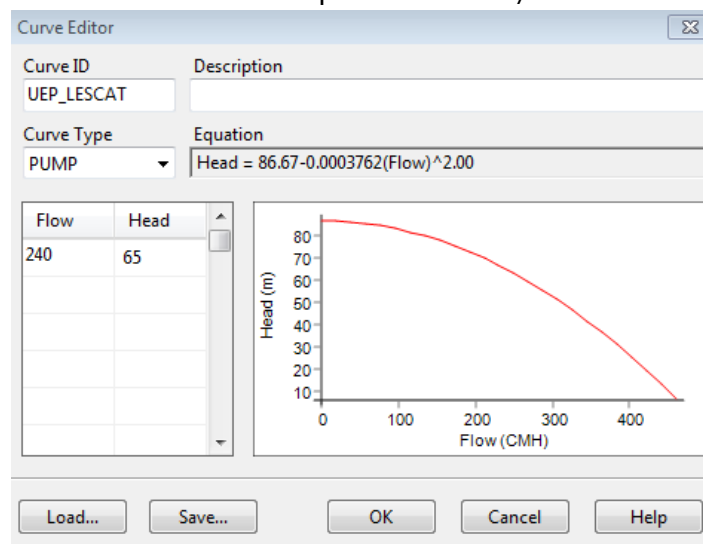


Figure 4 : Exemple de courbe de pompe.

Cette équation peut être modifiée mais en l'absence de données permettant de caractériser la courbe HMT de chaque pompe, elle est maintenue telle quelle. Cela mène à une approximation mais cette dernière est souvent faite dans les modèles hydrauliques sans pour autant les rendre imprécis. (Dobias, 2022)

Ces groupes de pompage sont essentiels car les réservoirs situés à la suite du l'UEP sont à des altitudes plus élevées. Une fois l'eau montée dans ces ouvrages, l'alimentation se fait par écoulement gravitaire. Seuls deux réservoirs ont un système de pompage de reprise en sortie : le réservoir d'Escagnan et le réservoir de Beaulieu. En effet, ces deux réservoirs alimentent à leur tour respectivement un réservoir : le réservoir de Beaulieu alimente le réservoir de Maillossis et le réservoir d'Escagnan alimente le réservoir de Bel Air. Ces deux réservoirs sont

en distribution de 2ème étage (en aval d'un réservoir), expliquant la présence de pompage (pour le réservoir de Maillossis, la cuve de stockage de l'eau est plus haute que la sortie d'eau du réservoir de Beaulieu). (Figure 17)

Les électropompes sont télé-pilotées en fonction du seuil de remplissage des réservoirs, c'est le marnage des réservoirs. Si le niveau de réservoir est au-dessous du marnage bas du réservoir, les pompes sont allumées tant que le marnage haut n'est pas atteint. Ces marnages varient en fonction de l'heure. Les marnages hauts et bas sont plus faibles le jour que pendant la nuit. En effet, l'énergie est moins chère en heure creuse (nuit) qu'en heure pleine, cela permet de faire des économies. Le comportement des pompes est modélisable sur EPANET par l'utilisation de l'option 'Rule-Based' dans la section 'Controls'. Cet outil se présente comme un fichier-texte qui vient asservir les objets concernés. Il est possible d'utiliser l'option 'Simple' dans le même onglet mais l'utilisation de 'Rule-Based' est plus pertinente car elle assure l'utilisation de plusieurs conditions, comme le demande le modèle. Comme expliqué précédemment, le marnage des réservoirs varie selon l'instant de la journée : les deux conditions sont donc le seuil de remplissage du réservoir et l'heure de la journée.

Ainsi, nous pouvons asservir le comportement de chacun des réservoirs en contrôlant par ce moyen les pompes en sortie de l'UEP Saint-Martin, ou en sortie de réservoir pour ceux en distribution de 2ème étage. Les marnages dépendent des réservoirs et cette information se trouve sur LERNE, logiciel référençant le matériel et ouvrage ainsi que leurs caractéristiques. Les consignes y sont exprimées en pourcentage mais en connaissant la géométrie et la taille des réservoirs, il est possible de convertir cette donnée en hauteur en mètre pour le seuil. La période de jour correspond à toutes les heures appartenant à l'intervalle compris entre 6h00 et 22h00, le reste est la période de nuit.

Les objets liés à la sécurité ne sont pas modélisés sur EPANET. Chaque groupe électropompe est accompagné d'un ballon anti-bélier dimensionné selon l'importance du groupe mais ce dernier n'est pas inclus dans le modèle. Cet élément permet de limiter les effets d'un potentiel coup de bélier. Ce phénomène provoque une surpression dans le réseau à la suite d'une brusque variation de vitesse d'un liquide dans un circuit. Une variation brusque de vitesse est liée à une fermeture rapide d'une pompe ou d'une vanne. Un coup de bélier peut avoir des effets néfastes sur l'installation hydraulique en endommageant les canalisations ou en détruisant des joints, engendrant alors des fuites. (Dobias, 2022) Ce phénomène n'est pas modélisé dans EPANET, rendant donc inutile la présence des ballons anti-béliers sur le logiciel.

vi) Problèmes de connectivités et vannes de sectorisation.

Les informations essentielles au fonctionnement du logiciel sont maintenant entrées dans le fichier, il est possible d'effectuer une première simulation.

Cet essai permet de mettre en avant plusieurs problèmes de l'export, indétectables auparavant. Le logiciel envoie des messages d'erreurs du type "Negative Pressures at XX:XX hrs" ou encore "Node X disconnected at XX:XX hrs" et "System disconnected because of Link X". Tous ces messages sont issus de la situation suivante : un nœud ayant une demande est situé derrière une vanne fermée ou il est déconnecté du système. Les nœuds déconnectés sont des erreurs de l'export VIGIE.

Si sur la visualisation VIGIE tous les points sont connectés, ils ne le sont pas réellement sur QGIS. Il n'existe aucune relation entre certains nœuds et la couche canalisation sur VIGIE. EPANET considère ces nœuds particuliers comme un système à part, mais sans aucun système de production d'eau potable créant alors des pressions négatives.

Ces points sont généralement les liaisons entre les quartiers et la canalisation principale d'un secteur. Ainsi, il est facile de repérer ces erreurs de connectivité en mettant l'affichage sur la pression des nœuds et de faire une recherche visuelle des pressions négatives.

Une étude de connectivité sur QGIS n'est pas possible car certains nœuds formant un quartier sont reliés mais uniquement par une vanne fermée, alors qu'une autre connexion est supposée être faite à un autre endroit. QGIS considère donc le quartier comme rattaché mais EPANET ne peut tout de même pas l'alimenter en eau.

Lors de l'export les vannes fermées sont représentées sur EPANET par des éléments "Tanks". Ces dernières sont présentes afin de fermer des canalisations ne menant sur aucun contrat et donc aucune distribution d'eau, ou alors pour faire la sectorisation de la ville d'Auch. Cependant, les vannes de sectorisation n'étant pas totalement à jour, certaines vannes fermées sont rajoutées afin de faire correspondre la réalité et la modélisation. Ces vannes sont identifiables car situées à la jonction entre deux secteurs. En cas de fermeture incomplète des vannes, certains secteurs ont une pression anormale : un secteur va se déverser dans l'autre, entraînant un débit et une pression trop élevés. Ce phénomène est identifiable en observant les pressions des nœuds, permettant donc une localisation de la vanne de sectorisation à fermer. Une fois ces erreurs de position des vannes identifiées, une mise à jour sur VIGIE est effectuée.

vii) Estimation de la rugosité des canalisations.

Les canalisations du réseau hydraulique d'Auch sont séparées en 6 matériaux différents : le PVC (PolyChlorure de Vinyle), PEHD (Polyéthylène Haute Densité) et PEBD (Polyéthylène Basse Densité), la fonte Grise et usuelle et le PRV (Polyester Renforcé de Verre). Chacun de ces matériaux possède des rugosités différentes. (Figure 5) Ce critère influence les pertes de charges dans le réseau et ne peut pas être négligé lors de la modélisation.

Matériau	Rugosité k en mm
PVC	0.0015
PEHD	0.006
PRV	0.0029
Fte (Fonte)	0.8
PEBD	0.006
Fg (Fonte Grise)	0.1

Figure 5 : Rugosité de chaque matériau utilisé pour les canalisations du réseau hydraulique d'Auch

En réalité, la rugosité de la fonte varie en fonction de son état : une fonte neuve aura un coefficient k entre 0,25 mm et 0,8 mm alors qu'une fonte usée ou rouillée aura cette valeur entre 0,8 mm et 2,5 mm. N'ayant pas d'information sur l'état du réseau, la rugosité retenue est de 0,8mm.

L'export VIGIE contient l'information du diamètre et du matériau de la majorité des canalisations, cette donnée est renseignée dans la description des canalisations. EPANET permet la modification de la rugosité. Avec une jointure sur l'attribut description, il est possible d'associer à chaque canalisation la rugosité correspondante. Si le type de matériau n'est pas spécifié, la rugosité est mise par défaut à 0,05 mm.

viii) Perte de charge singulière.

Il est difficile de prendre en compte chaque perte de charge singulière : répertorier chaque changement de géométrie et de diamètre du réseau sur l'étendue du réseau (375 km) n'est pas envisageable.

Afin de ne pas négliger ce paramètre, l'ensemble de ces pertes singulières est ramené à une perte linéique en augmentant de 10% la rugosité de chaque canalisation (Dobias, 2022). Ainsi, ce phénomène est pris en compte tout en étant fonction de la distance depuis le point d'alimentation, comme attendu dans un système réel : il est raisonnable de penser qu'un volume d'eau en bout de réseau a subi plus de perte de charge singulière avec des changements de section et de géométrie qu'un même volume en début de réseau.

ix) Vérification des volumes distribués.

Un des critères de vérification de la fiabilité du modèle est la mesure des volumes distribués. L'UEP Saint-Martin possède 4 départs, vers les réservoirs de Lescat, d'Escagnan, du Garros et de Beaulieu. Ces réservoirs vont à leur tour alimenter des secteurs (Figure X). FlukaAqua permet d'obtenir les volumes distribués de chacun de ces départs de l'usine. Ainsi, les volumes à distribuer sont connus pour l'année 2022 et par secteur.

Sur EPANET, il est possible d'accéder au débit à intervalles de temps fixé par l'utilisateur. En additionnant les débits pour toute la durée de simulation et en prenant en compte la discrétisation, nous obtenons un volume distribué journalier. Ici, la mesure est faite toutes les 5 minutes et sur une durée de 72 heures. La plage temporelle est suffisamment longue pour diminuer l'impact de la période d'initialisation du modèle : durant les premières minutes de la simulation, un débit légèrement plus important est produit par l'usine. 72 heures de simulation permettent d'avoir une moyenne plus fiable que l'étude directe d'une journée. (Figure 6)

	Beaulieu	Garros	Lescat	Escagnan	Total
Volume journalier distribué modélisé	876,21325	263,721417	3184,67817	1764,75125	6089,36408
Volume journalier distribué réel	912,626582	294,571429	3000	1555,14286	5762,34087
Écart % (par rapport au réel)	-3,98994865	-10,4728459	6,15593889	13,4784012	5,67517999

Figure 6 : Tableau récapitulatif de la différence entre volume distribué relevé et volume distribué modélisé.

L'écart entre le volume journalier distribué modélisé et réel est de 5.67%, légèrement supérieur à l'objectif de 5% du cahier des charges. Cette différence vient du volume de fuites supérieur dans la modélisation qu'en réalité. En effet, l'approximation faite dans la pression moyenne pour chaque secteur. De plus, l'utilisation de deux méthodes différentes (UARL et via les relevés FluksAqua) pour estimer ces volumes est source d'incertitudes.

x) Réduction de la pression par des aménagements.

La modélisation du réseau hydraulique de la ville d'Auch permet de mettre en évidence plusieurs secteurs problématiques du point de vue de la pression. En effet, par sa topologie, certaines zones sont vulnérables à une augmentation de la pression : les points situés en bas d'une colline ou relief vont subir une plus forte pression, tout comme ceux situés sur le refoulement d'un réservoir.

Les canalisations soumises à de fortes pressions vont se dégrader plus vite et augmenter le risque de fuite. Une fuite dans une zone de forte pression va aussi engendrer un débit de fuites supérieur à une zone de pression moyenne. (Shammas & Al-Dhowalia, 1993)

Cette situation est à l'origine d'une problématique pour économiser de l'eau : comment réduire la pression afin de diminuer les volumes des fuites. Faire des économies d'eau permet tout d'abord de limiter l'impact environnemental du traitement de l'eau potable ainsi que de diminuer les volumes prélevés dans le Gers, mais cela permet aussi de diminuer le prix de l'eau : le traitement de l'eau potable à Auch passe par un filtrage au charbon actif car la commune est exposée à un risque de pesticide. Ce charbon actif a un coût non négligeable et il est estimé en fonction des volumes de fuites évités, le coût de l'installation de l'aménagement peut être amorti en quelques années. Veolia et la commune d'Auch travaillent ensemble sur cette problématique, et les deux acteurs sont gagnants à installer ce type d'installations.

Ces zones sont facilement repérables sur EPANET. La légende des nœuds peut être classifiée selon des catégories de pression. On considère ici qu'une pression supérieure à 7 bars est problématique et constitue donc la limite de la dernière catégorie de la légende. (Dobias, 2022) On peut ainsi repérer visuellement ces secteurs. A noter que l'on ne considère pour des aménagements que des secteurs ou portions de secteurs et non des points isolés. Cependant, cette réduction de pression ne doit pas se faire au détriment des autres points de desserte de la zone en question. Certaines espèces sont vallonnées et possèdent des points à une altitude élevée et des points à basse altitude : si un point haut est situé après un réducteur ou stabilisateur de pression, il faut lui assurer une pression de 2 bars minimum.

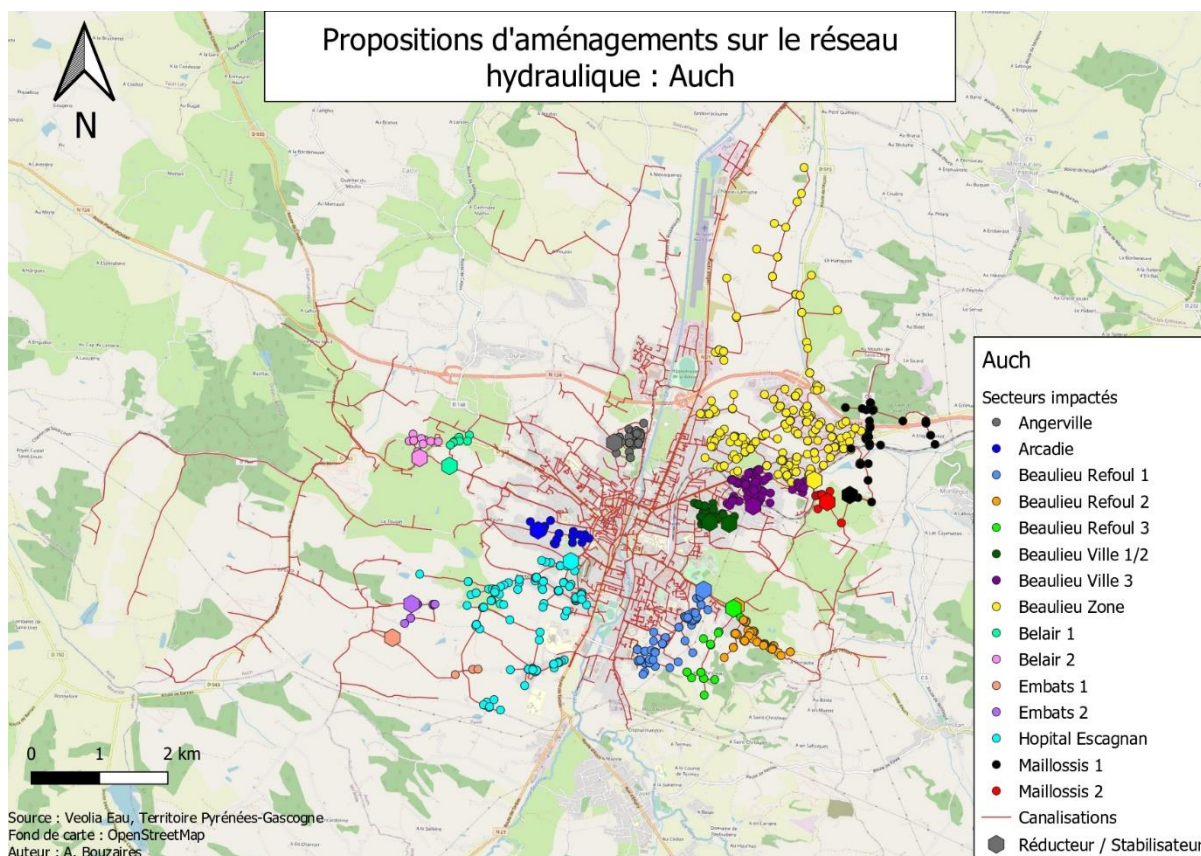


Figure 7 : Localisation des réducteurs et stabilisateurs de pression et points de desserte affectés.

Au total, 15 propositions d'aménagement sont possibles. Ces derniers se présentent sous la forme de réducteur ou de stabilisateur de pression placés sur une canalisation que j'ai identifiée. (Figure 7) EPANET permet de de simuler ces ouvrages. Ici on n'agit que sur le placement du réducteur / stabilisateur et sa valeur de consigne. Le diamètre est considéré comme égal à celui de la canalisation même si en réalité il est souvent plus faible, mais l'estimation de ce diamètre est au-delà de mes connaissances et laissée aux équipes sur place. Ainsi, la modélisation permet d'anticiper le nouveau comportement de la pression. Ces propositions sont sur des secteurs à géométrie variable. Il convient de classer des derniers selon leur importance afin que la mairie d'Auch puisse prioriser les chantiers les plus importants. Ainsi, plusieurs critères sont mis en place : le linéaire de réseau concerné par l'aménagement en kilomètre, la différence de pression avant et après l'opération en mètre de colonne d'eau, et l'estimation du débit de fuites évité en m^3/h . (Figure 8)

	Linéaire concerné (m)	Pression moyenne actuelle (m)	Pression moyenne prévue (m)	Delta P (m)	Conso actuelle (m3/h)	Conso prévue (m3/h)	Delta Conso (m3/h)	Défense incendie	Débi mètre
Beaulieu Refoul 1	5 916	89,32	53,4	35,92	1,04	0,98	0,06	3	1
Beaulieu Refoul 2	2 865	96,7	51,6	45,1	2,56	2,42	0,14	4	1
Beaulieu Refoul 3	2 089	68,1	46,3	21,8	0,48	0,45	0,03	0	0
Maillossis 1	4 864	100,3	54,7	45,6	1,64	1,32	0,32	5	0
Maillossis 2	547	92,54	43,62	48,92	0,36	0,26	0,1	0	0
Beaulieu Zone	24 899	76,5	52	24,5	16,19	14,45	1,74	36	1
Beaulieu Ville 1/2	2 450	74,9	59,6	15,3	0,87	0,85	0,02	3	0
Beaulieu Ville 3	7 503	62,6	41,3	21,3	5,51	5,4	0,11	12	1
Angerville	2 212	72,9	46	26,9	4,11	4,08	0,03	4	1
Arcadie	1 615	134,3	44,1	90,2	1,26	1,2	0,06	2	1
Belair 1	909	109,9	57,3	52,6	0,19	0,18	0,01	0	0
Belair 2	1 137	101,3	39,8	61,5	0,32	0,27	0,05	0	0
Embats 1	1 575	88,4	41,7	46,7	0,16	0,16	0	0	0
Embats 2	1 306	93,6	44,1	49,5	0,26	0,25	0,01	1	0
Hopital Escagnan	13 394	54,6	48,14	6,46	10,38	10,35	0,03	10	1

Figure 8 : Impact des différents aménagements sur le réseau de distribution.

Le linéaire impacté correspond à la longueur de canalisation située derrière l'aménagement. La différence de pression est faite en prenant les pressions de chacun des points concernés par l'ouvrage. La méthode de modélisation des débits de fuites choisie est basée sur la pression, ainsi l'impact des réducteurs et stabilisateurs est directement vérifiable sur le modèle. Comme dans la réalité, une pression plus faible diminue le débit de fuite. (Shammas & Al-Dhowalia, 1993)

Un autre critère à prendre en compte est la présence de défense incendie sur la partie aménagée : les ouvrages de protection contre les incendies fonctionnent avec un débit élevé et les outils de limitation de pression peuvent limiter cet élément. En cas de présence de défense incendie, il faut alors prévoir que les ouvrages de réduction de pression puissent “céder” afin de laisser passer le débit nécessaire : on priorise alors un stabilisateur à un réducteur, plus coûteux mais capable de cette tâche. Il m’a aussi été demandé d’identifier les aménagements qui pourront s’accompagner d’un débitmètre télélogé. Ces dispositifs sont importants pour faire un état des lieux constant du réseau mais son installation est coûteuse et souvent sur la voirie. Coupler l’installation d’un réducteur ou stabilisateur à celle d’un débitmètre est donc judicieux. Cependant ces débitmètres doivent être placés dans des endroits où le débit est important afin d’observer des variations potentiellement significatives : un débitmètre sur une canalisation peu passante ou en fin de réseau est peu pertinent. Ce tableau permet de hiérarchiser l’importance des aménagements. L’aménagement le plus intéressant selon la consommation est celui de la Zone Beaulieu, avec environ 25 km de linéaire concerné, une baisse de la pression moyenne de 2.5 bars et une réduction des fuites de $1.74 \text{ m}^3/h$.

L’intégralité de ces aménagements permet d’éviter la perte de $2,8 \text{ m}^3/h$ par des fuites. Cela correspond à $24\,528 \text{ m}^3$ par an. En prenant l’année 2021 comme référence, le volume mis en distribution passe donc de $1\,896\,497 \text{ m}^3$ à $1\,871\,968 \text{ m}^3$. Nous pouvons ainsi calculer le rendement pour l’année 2020 avec et sans ces aménagements, le volume consommé étant de $1\,509\,309 \text{ m}^3$. Sans aménagements, le rendement est de 79.6% et passe à 80.6% avec ces derniers.

Ces projets contribuent de manière non négligeable à l’échelle du réseau sur la question de la limitation des fuites. Même si leur mise en place est hiérarchisée selon l’importance de l’aménagement, seuls 5 aménagements ont un impact limité (Belair 1, Hôpital Escagnan, Beaulieu Refoul 3, Angerville et Beaulieu Ville $\frac{1}{2}$), et un seul est négligeable (Embats 2).

b) Modélisation du réseau hydraulique de Pamiers et étude du projet de sectorisation.

Un autre projet auquel j’ai été assigné est la modélisation du réseau d’eau potable de la ville de Pamiers. En effet, la ville ne possède aucune modélisation et, en vue d’une future sectorisation, la production de ce modèle s’avère intéressante pour étudier l’impact des secteurs prévus.

La commune de Pamiers est située en Ariège (09), dans la région Occitanie. Elle compte 16 137 habitants en 2019 (INSEE). L’altitude passe de 473 m à 256 m au-dessus du niveau de la mer. Cependant la contrainte topographique n’est pas aussi problématique qu’à Auch. En effet, le point haut de la ville est au Sud puis diminue graduellement vers le Nord par une succession de plateaux. Ainsi en plaçant les réservoirs sur les parties hautes on peut laisser un écoulement gravitaire alimenter la ville. En réalité, le réseau passe du point haut à 310 mètres à un point bas à 272 mètres, l’écart d’altitude est moins important que prévu.

La Ville de Pamiers signe le 01/05/2015 avec Veolia un contrat en régie intéressé jusqu'au 03/05/2025 : Veolia doit assurer le fonctionnement du traitement et de la distribution d'eau potable.

Le réseau d'eau potable est constitué de 139 kilomètres de canalisation, d'une usine production, l'UEP du Foulon, et de 2 réservoirs : le réservoir de La Gloriette et de la Route de Foix. Ces réservoirs sont en refoulement-distribution. L'eau brute provient de deux exhaures, l'un situé proche de l'usine du Foulon et l'autre à l'ouest de la ville. Ces ouvrages alimentent l'intégralité de la ville, qui constitue un secteur unique.

i) Intérêt de la mise en place d'une sectorisation.

Une sectorisation a pour but de séparer physiquement des parties du réseau et de placer entre leurs connexions non fermées. (SEDIF, 2021) Ainsi, les volumes entrant et sortant dans chaque secteur sont connus, et il est possible de déterminer les volumes de fuites à une échelle plus réduite : celle du secteur. Ce projet s'inscrit donc dans une optique d'amélioration du rendement. La recherche de fuite est coûteuse en temps et en argent et mobilise des agents. Limiter le périmètre de recherche des fuites diminue les coûts et simplifie la recherche pour le personnel. De plus, la recherche de fuite n'est pas toujours concluante : les techniques actuellement utilisées par l'entreprise ne permettent pas une détection automatique.

La détection d'une fuite sur le terrain passe la plupart du temps par une détection acoustique. L'agent place un dispositif à même la canalisation et écoute des anomalies sonores : une fuite est bruyante et plus celle-ci est importante plus elle fait de bruit. Cette technique est très efficace pour des canalisations en métal, mais celle-ci perd largement en efficacité sur des matériaux plastiques. Le PVC, par exemple, conduit mal les ondes et la détection acoustique devient très vite inapplicable.

Le cas échéant, il est possible d'utiliser du gaz traceur mais l'opération est plus lourde à mettre en place. Il faut vider la canalisation de son eau puis la remplir d'un mélange d'azote et d'hydrogène. Le gaz s'échappe par la fuite et un appareil permet de capter ce gaz une fois à l'air libre. Cette méthode est utilisée en dernier recours. Ces deux techniques sont les plus utilisées au sein du Territoire Pyrénées-Gascogne.

D'autres méthodes sont testées par le Territoire. Lors de mon stage, j'ai assisté à une démonstration de détection de fuite par hydrophone. Le principe est le même que pour une détection acoustique mais l'appareil est directement placé dans la canalisation. Ainsi, le matériau de la canalisation importe peu et cette méthode est applicable sur du PVC. Toutefois, l'essai ne s'est pas montré concluant et la fuite "test" sur une canalisation PVC n'a pas été trouvée.

A l'échelle de Veolia, un pôle de recherche est dédié à la recherche de fuite. Des méthodes y sont développées, comme la détection de fuite à l'aide de chien de détection capable de sentir le chlore dans l'eau s'échappant d'une fuite.

L'absence de sectorisation rend difficile la détection de fuite à Pamiers : le réseau est étendu avec 139 km de canalisation. Cela se traduit par un rendement médiocre de 77.9% en 2021 et inférieur au rendement imposé par le contrat (80%).

Le projet de sectorisation vise à séparer le réseau en 6 secteurs : Le Secteur Vicaria, Secteur Ville, Secteur Plateau, Secteur Nord, Secteur Sud, et Secteur Est.

Le réservoir La Gloriette alimente le Secteur Ville et le Secteur Vicaria. Le réservoir Route de Foix alimente le Secteur Plateau, alimentant à son tour les autres secteurs. Il reste à

déterminer si la sectorisation prévue est assumable par les ouvrages, tout en satisfaisant les besoins de distribution. (Figure 9)

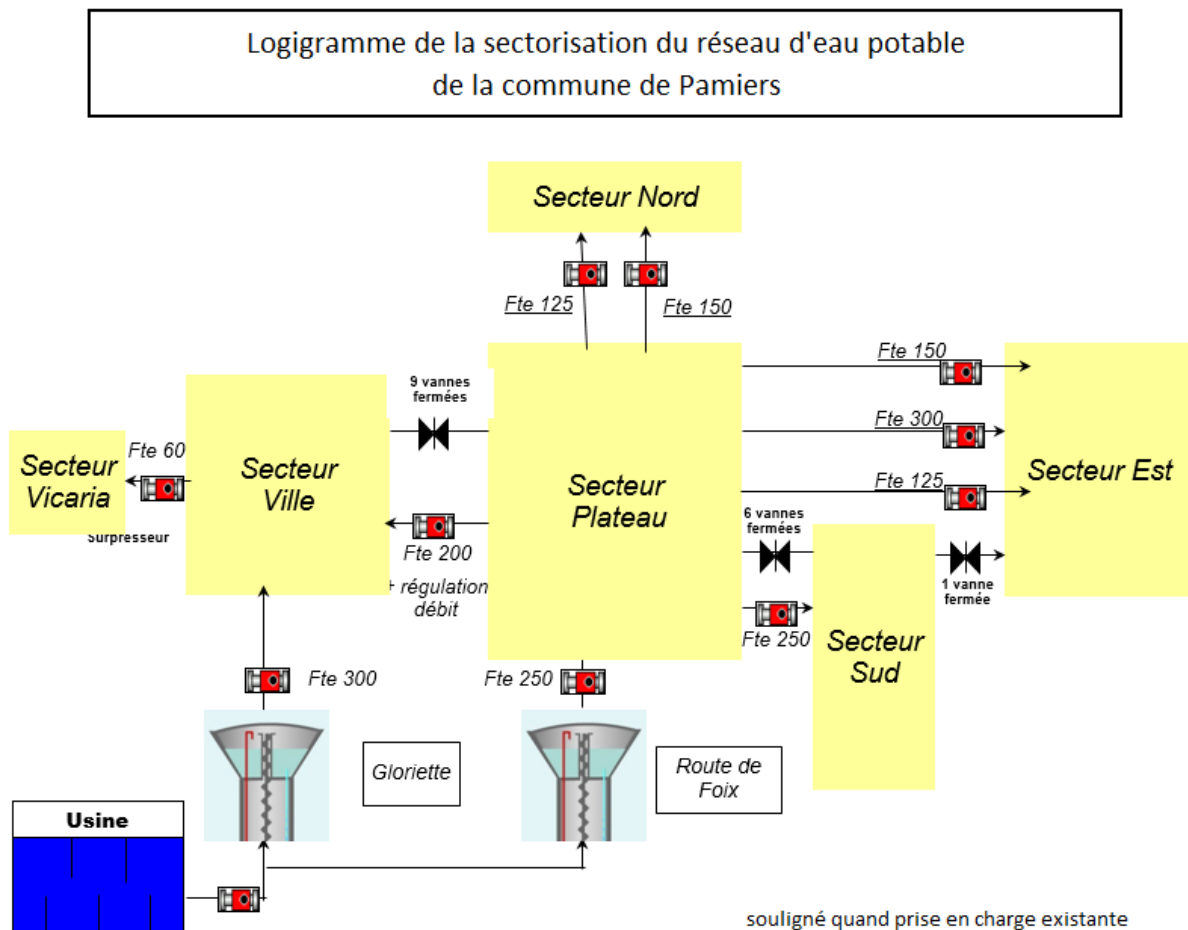


Figure 9 : Schéma simplifié de la sectorisation prévue à Pamiers.

ii) Création du modèle hydraulique de Pamiers.

La création du modèle hydraulique sous EPANET suit les mêmes étapes que pour le modèle d'Auch. Les différences et problèmes rencontrés sont expliqués dans les sections suivantes.

Tout comme la mise à jour du modèle hydraulique d'Auch, le travail se base sur un export depuis VIGIE. Le document possède les mêmes erreurs présentées précédemment : objets "tanks" représentant des vannes fermées, des compteurs etc. Il faut donc procéder à une correction de ces erreurs. La même démarche qu'en partie a) est suivie. La seule différence entre les deux extractions de base en Auch et Pamiers est le nombre d'ouvrages à traiter. Pamiers est un réseau étendu mais peu complexe par rapport à Auch, du fait de la topographie de la ville. Le seul domaine dans lequel Pamiers est plus complexe relève de l'alimentation en exhaures, traduite par des ouvrages et canalisations, en plus grande quantité que pour l'alimentation en eau de surface d'Auch. Toutefois, la partie alimentation n'est pas détaillée dans le modèle, la source provenant d'une bêche infinie.

L'altitude de chaque nœud est extraite depuis QGIS, selon la méthode présentée en section a) ii).

La méthode pour attribuer les consommations de chaque nœud diffère de la méthode précédente. L'idée de base est toujours de créer une couche vectorielle QGIS "consommation" association des consommations à des points, et de faire un rapprochement spatial avec l'extension NNJoin entre cette nouvelle couche et la couche contenant les nœuds du réseau hydraulique.

Cependant la création de la couche "consommation" n'est plus basée sur une jointure entre une table contenant les consommations par compteurs et une autre contenant la localisation spatiale des compteurs. Chaque consommation est associée à une adresse (4 Rue des XXX, 09100 Pamiers). L'utilisation de l'extension AwesomeTable sur Google Sheets permet de géolocaliser ces adresses dans le référentiel Google Maps WGS 84 Pseudo-mercator.

Une fois les consommations géolocalisées dans ce référentiel, il suffit de les convertir en Lambert 93 afin de créer la couche QGIS.

La consommation associée à une adresse est une consommation moyenne mensuelle sur 3 ans.

La modélisation des fuites est basée sur le même principe que pour le modèle d'Auch expliqué en partie a). Cependant, le réseau de Pamiers ne possède pas de sectorisation, le volume de fuite sur FluksAqua reprend l'intégralité des fuites de la ville. La répartition spatiale est donc moins précise que pour le modèle d'Auch.

Afin d'être cohérent avec la détermination des consommations, le débit de fuite est pris comme la moyenne des fuites sur 3 ans. Ainsi, il est estimé à $35.5 \text{ m}^3/\text{het}$ la pression moyenne dans la ville est de 20.799 m de colonne d'eau. L'exposant de l'emitter γ est aussi choisi à 1.3 et il y a environ 3 000 nœuds dans le modèle. Selon la formule suivante :

$$C_s = \frac{q_s}{N_s * p_s^\gamma}$$

Nous obtenons pour la ville de Pamiers un coefficient de l'emitter C_s d'environ $0.00023 \text{ m}^3/h * m$.

La distribution depuis l'Usine d'Eau Potable du Foulon est assurée par 3 groupes électropompes. Une évaluation des performances de ces groupes a été réalisée le 19/05/2021. La courbe HMT de chacune des pompes a été produite lors de cet audit. Ainsi, le comportement des électropompes dans le modèle s'approche du comportement réel.

Une fois le modèle fonctionnel, il faut vérifier les volumes distribués. La vérification suit le même protocole que pour le modèle d'Auch. Cependant en l'absence de sectorisation, il est uniquement nécessaire de vérifier le volume en sortie d'usine. Le volume en sortie d'usine sur Epanet est de $1\,221\,360 \text{ m}^3$ par an. Le volume mis en distribution pour l'année 2021 est de $1\,195\,614 \text{ m}^3$. L'écart entre ces deux valeurs est de 2%. Étant inférieur au 5% du cahier des charges, le modèle est validé.

Le manque de données quant à la pression dans le réseau, il n'est pas possible de valider le modèle sur ce critère.

Le modèle permet ensuite d'étudier la répartition des débits et des vitesses dans le réseau en vue d'une sectorisation. Pour ce faire, la vitesse et le débit dans chaque canalisation est pris à 12h15. Cette heure correspond à la demande la plus forte de la journée selon la distribution en partie a) et d'une heure de distribution d'eau entre l'usine du Foulon et des réservoirs. Cette configuration correspond au moment où le réseau est le plus sollicité.

iii) Etude du projet de sectorisation.

Afin de simuler la sectorisation, il suffit de fermer des vannes canalisations, ce qui correspond à la fermeture de vannes en réalité. (Figure 18) Ces canalisations sont identifiables sur la Figure 18 : chaque canalisation entre 2 secteurs différents ne comportant pas de débitmètre est à fermer.

Les résultats des simulations avec et sans sectorisation sont restitués sous forme de cartes. (Figure 19 à 22)

La mise en place des secteurs impacte la répartition des vitesses et des débits. En effet, le Secteur Plateau doit maintenant alimenter le Secteur Nord, Est et Sud et contribuer à l'alimentation du Secteur Ville. Ainsi le débit des deux canalisations de diamètre les plus importants du Secteur Plateau (125 mm et 200 mm) est presque doublé, passant de 10 341 m^3 par jour à 21 584 m^3 par jour pour la canalisation de 200 mm et de 3 313 m^3 par jour à 6 552 m^3 par jour pour la canalisation de 125 mm. (Figure 19 et 20) Cette augmentation du débit provient de la fermeture d'une canalisation vers le futur Secteur Ville, présentant actuellement un débit de 13 195 m^3 par jour. De plus, le débit de canalisation menant vers la limite du réseau diminue légèrement : elle voit son débit passer de 12 000 m^3 par jour à 8 800 m^3 par jour. Les deux canalisations principales du Secteur Plateau assument désormais la majorité de la demande.

La répartition des vitesses dans le réseau évolue de la même manière que les débits : augmentation de la vitesse sur les 2 canalisations principales du Secteur Plateau et diminution ailleurs. (Figure 21 et 22)

L'étude des vitesses établit un lien avec un problème rencontré dans le réseau de la ville de Pamiers : certaines zones sont affectées par une pollution à l'aluminium. Le modèle permet de lier ce phénomène avec une vitesse élevée dans ces canalisations. L'OMS recommande un taux d'aluminium inférieur à 200 mg par litre d'eau. Cet aluminium peut provenir du traitement de l'eau brute par utilisation de sels d'aluminium. Aujourd'hui, ce traitement est remplacé par un traitement au chlorure ferrique. Cependant le problème de présence d'aluminium dans le réseau de Pamiers persiste. Lors du traitement au sel d'aluminium, une couche d'aluminium peut se déposer sur les parois de la canalisation. Cette couche a généralement peu d'impact sur le réseau dans des conditions normales. Or, certaines zones sont soumises à des vitesses anormalement élevées (proche de 0.7). Ces canalisations n'ont pas été purgées depuis le passage du sel d'aluminium au chlorure ferrique. La vitesse élevée décompose la couche d'aluminium qui se répand alors dans le réseau. (Figure 21)

Les simulations permettent aussi de mettre en évidence d'autres problèmes dans la potentielle sectorisation. Un des critères importants à vérifier pour le réseau hydraulique au-delà de satisfaire les besoins des usagers est d'assurer le bon fonctionnement de la défense incendie. Cette condition est à vérifier dans le Secteur Ville. Comme présenté en Figure 18, l'alimentation de ce secteur passe par une canalisation en fonte de diamètre 200 mm et concentre la majorité des consommations du réseau et de la défense incendie. L'utilisation

d'une unique canalisation de ce type pour une telle zone est questionnable. Dans le but de vérifier si la défense incendie peut être assurée, une consommation de 60 m^3 par heure est assignée à un point dans le Secteur Ville. Une première simulation de 48 est lancée et est concluante : les besoins du réseau sont satisfaits à tout instant de la simulation.

Néanmoins, ce test ne valide la sectorisation que lors du fonctionnement normal du réseau. En effet, cette dernière doit être testée dans des conditions limites. Pour se faire, la consommation totale du réseau est multipliée par 1,5, afin de simuler une journée de forte consommation. Toujours pour simuler l'utilisation d'une défense incendie, la consommation de $60 \text{ m}^3/\text{h}$ est placée à $40 \text{ m}^3/\text{h}$ au même point, le coefficient multiplicateur de 1,5 ramenant cette valeur à $60 \text{ m}^3/\text{h}$. Dans cette configuration, le modèle n'est pas capable d'assumer les besoins des usagers et de la défense incendie dans le Secteur Ville : le secteur entier affiche une pression négative entre 10h et 12h puis 20h à 21h, traduisant une demande trop forte comparé à la distribution. Cette plage horaire correspond au pic de consommation du profil des usagers. Ce défaut ne provient pas ni de l'usine du Foulon ou des réservoirs, l'usine étant, tout comme pour le modèle d'Auch, de capacité infinie. Pour les réservoirs, ces derniers ne sont pas vides lors de la mise en défaut du modèle. Le problème vient donc de l'alimentation de la zone : l'unique canalisation entre le Secteur Plateau et le Secteur Ville n'est pas suffisante pour assurer la demande usager et incendie dans des conditions critiques.

Pour pallier ce problème, il convient d'ouvrir une des 9 vannes fermées entre ces deux secteurs et d'y placer un débitmètre pour connaître les volumes y transitant. Il est aussi possible de piloter une des vannes fermées en cas d'ouverture d'une bouche à incendie. La canalisation de diamètre 200 située entre le secteur Plateau et le secteur Ville sur l'Avenue Irène Cros permet de résoudre le problème de débit insuffisant. Cette canalisation est idéale par sa proximité du réservoir La Gloriette et de son diamètre convenable pour faire circuler le volume d'eau manquant. Sur la simulation, en ouvrant la vanne choisie précédemment entre 10h et 12h, le modèle n'affiche plus d'erreurs et peut fournir l'eau nécessaire malgré une défense incendie ouverte.

La sectorisation actuelle doit donc être modifiée pour valider tous les critères nécessaires pour valider le réseau. La télégestion ou l'ouverture couplé à un débitmètre vanne sur la canalisation Avenue Irène Cros précédemment abordée remplit cette mission.

c) Modélisation de la concentration en chlore libre dans le réseau hydraulique du Syndicat Auch Sud.

Fondé en 1962, le Syndicat Intercommunal d'Adduction en Eau Potable (SIAEP) d'Auch Sud est un groupement de 19 communes pour 7 847 habitants dans le département du Gers : Auterrive, Boucagnères, Durban, Haulies, Labarthe, Lasséran, Lasseube-Propre, Moncorneil-Grazan, Orbessan, Ornézan, Pavie, Pessan, Pouy-Loubrin, Saint Jean le Comtal, Sansan, Seissan, Tachoures et Traversères. Ces communes sont rurales, à population assez faible. (SIAEP Auch Sud, 2020)

Sa mission est d'assurer la protection de la ressource en eau sur le territoire en menant des travaux de renouvellement et de modernisation des canalisations et des ouvrages. Pour se faire, un contrat en affermage avec Veolia est signé du 01/01/2019 au 31/12/2030.

Le réseau d'Auch Sud, fort de 479 kilomètres de canalisation, 1 usine de production d'eau potable et 6 réservoirs, alimente 8 042 habitants (certains habitants au Sud de la commune d'Auch sont desservis).

Le réseau d'Auch Sud est très étendu pour une population relativement faible (479 kilomètres pour 8 042 clients), contrairement à Auch et ses 375 kilomètres de réseau pour 23 067 habitants desservis. Se pose alors la question du vieillissement de l'eau dans les canalisations. En effet un réseau étendu avec peu de tirage va mener à une eau vieillissante dans le réseau. Cette situation peut mener à des problèmes sanitaires avec le développement de bactéries dans une eau peu renouvelée.

Veolia traite l'eau provenant de l'Usine d'Eau Potable de Labarthe avec du chlore pour éliminer les risques sanitaires. Mais par réaction dans l'eau, le chlore libre finit par disparaître en formant du chloroforme et ne peut donc plus réagir contre les bactéries pouvant affecter la santé humaine.

Le but de ce projet est de quantifier la concentration du chlore dans le réseau afin de vérifier que le taux est suffisant pour prévenir des problèmes sanitaires, sans pour autant dépasser les normes fixées par Vigipirate. L'idée est de mettre en place la modélisation de la concentration en chlore sur Epanet grâce aux mesures dans le réseau. Le modèle Epanet d'Auch Sud est déjà créé par un bureau d'étude mais ne comporte pas de volet qualité de l'eau.

Afin de créer ce volet, il faut mener une campagne de mesure pour calibrer le modèle. La mission est d'établir le protocole de mesure et d'établir les points de contrôle afin de calibrer le modèle. Ce travail passe par la création de fiches communiquées aux agents à Auch. Il me revient ensuite d'utiliser le modèle afin de faire un état de lieu de la situation de la problématique chlore à Auch Sud et faire des propositions en fonction des résultats.

i) Situation actuelle de la concentration en chlore dans le réseau.

Le réseau d'eau potable d'Auch Sud possède 6 postes équipés pour mesurer la concentration de chlore : le réservoir d'Haulies, le réservoir de Cabarrieu, la reprise de Pessan, la reprise de Pavie, la reprise de Lasseran, et l'Usine de Production d'Eau Potable de Labarthe. Ces ouvrages sont répartis sur l'ensemble du réseau.

La concentration chlore diminue au fil du temps dans l'eau du réseau. Cette disparition est accélérée par une température élevée, cette dernière agissant comme catalyseur des réactions entre le chlore et son milieu. Afin d'étudier l'évolution de la concentration de chlore lors de températures élevées, les mesures de concentration de chlore de ces postes sont pour la période du 16/05 au 23/05, de 00h à 00h. (Figure 10)

Une moyenne est ainsi établie pour la période. On suppose le chlore résiduel comme étant le chlore libre.

<u>Ouvrage</u>	<u>Concentration en Chlore (mg/L)</u> (16/05-23/05)
Réservoirs d'Haulies	0.31
Réservoir de Cabarrieu	0.45 (le 19/05)
Reprise de Pessan	0
Reprise de Pavie	0.58
Reprise de Lasseran	0.55
Usine de Production d'Eau Potable de Labarthe	0.74

Figure 10 : Concentration en chlore pour chaque point de mesure pour la période 19-05-23/05.

La reprise de Pessan renvoie une concentration nulle à tout instant pour la période d'étude, le capteur n'est peut-être plus en état d'usage. Le réservoir de Cabarrieu ne possède qu'une mesure le 19/05 avec une concentration totale de chlore de 0.51 mg/L et une concentration en chlore libre de 0.45 mg/L. Pour ce réservoir, la concentration en chlore libre est retenue, étant le type de chlore qui va réagir avec les éléments du réseau.

Ces concentrations sont rentrées dans le modèle EPANET d'Auch Sud pour chaque ouvrage concerné dans l'objet Initial Quality. Les reprises n'étant pas indiquées sur le modèle, ces concentrations sont insérées au niveau des réservoirs portant le nom de la reprise.

Le choix du temps d'étude est basé sur le vieillissement de l'eau. En effet, de 0 à 130 heures environ, le vieillissement de l'eau suit une fonction affine avec un coefficient directeur d'environ 1. Dès 150 heures dépassées, une partie du réseau ne suit plus ce comportement et un renouvellement est effectué. (Figure 11) Les secteurs concernés par ce phénomène sont les secteurs : S06_CABARRIEU, S11_PAVIE_SAHUQUET, S16_LASSEUBE_PROPRE, S17_MOUREOU_PAVIE, S18_MOUREOU_SAINTE JEAN et S19_SURP_SAINTE JEAN. Les secteurs sont présentés en annexe. (Figure 23)

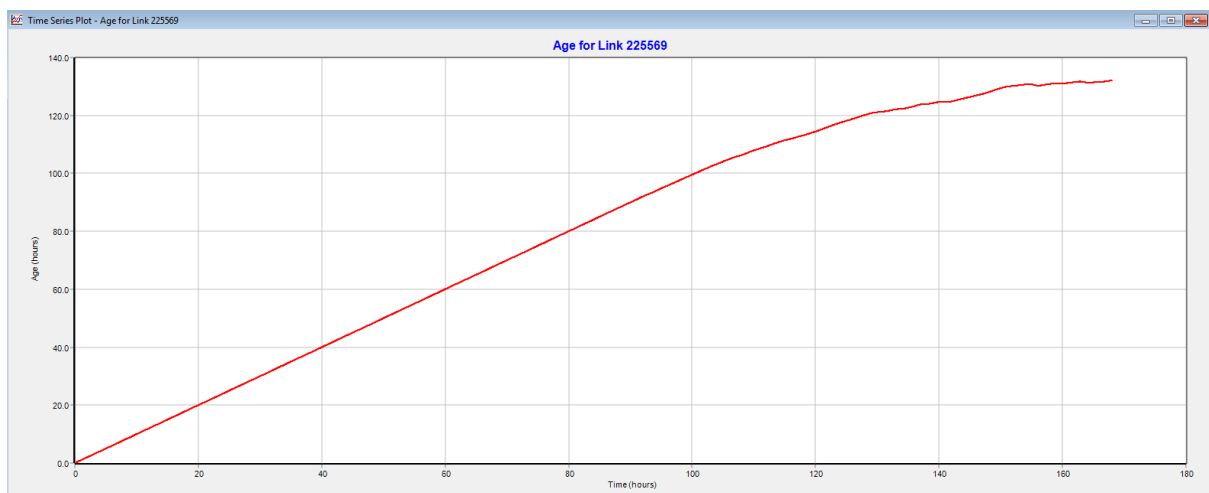


Figure 11 : Courbe de vieillissement de l'eau potable dans une canalisation secteur S06_CABARRIEU.

Cependant, les secteurs S9_HAULIES, S12_PESSAN et S14_TROUQUETTE ne connaissent un changement de coefficient directeur qu'après 250 heures de simulation.

Ce comportement est illustré figure 12 : les secteurs S9_HAULIES, S12_PESSAN et S14_TROUQUETTE sont soumis à un fort vieillissement de l'eau.

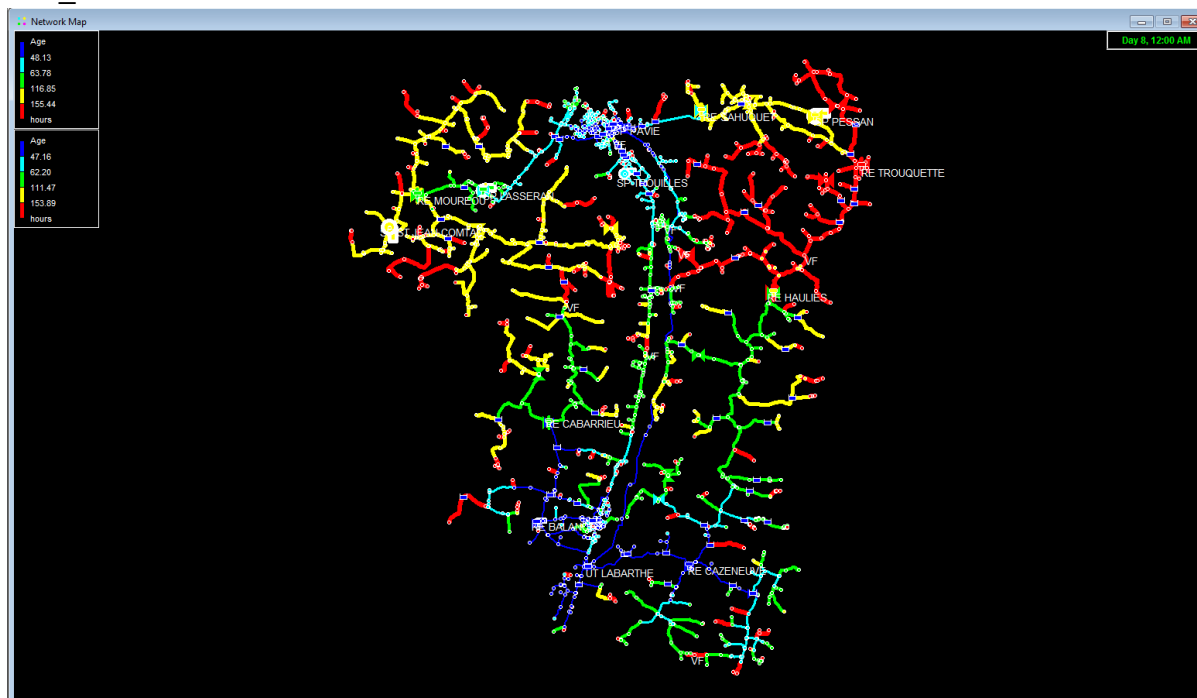


Figure 12 : Vieillesse de l'eau dans le réseau d'eau potable d'Auch Sud.

Les données issues de la simulation donnent une estimation du vieillissement dans le réseau : 212 canalisations ont un vieillissement inférieur à 41,16 heures, 620 ont un vieillissement compris entre 62,20 heures et 111,47, 442 ont un vieillissement compris entre 111,47 et 168 et 884 ont un vieillissement supérieur à 168. En retirant les canalisations derrière une vanne fermée, 862 canalisations ne sont presque pas renouvelées. Nous retrouvons une fois de plus les 3 secteurs évoqués précédemment : S9_HAULIES, S12_PESSAN et S14_TROUQUETTE. Les canalisations en fin de réseau sont aussi affectées par un temps de résidence élevé. Cependant certaines sont en réalité derrière des vannes fermées, ce qui explique un renouvellement nul.

Le phénomène de vieillissement de l'eau n'est donc pas négligeable : seuls 212 canalisations ont un renouvellement inférieur à 41,17 heures. Selon l'Office International de l'Eau, la concentration en chlore diminue déjà de 55% en 40 heures pour de l'eau issue de milieu superficielle.

ii) Mise en place de la campagne de mesure.

Les simulations précédentes ont permis de faire ressortir des secteurs sensibles à des problèmes de qualité de l'eau. Une concentration en chlore faible ainsi qu'un temps de résidence élevé sont favorables au développement de bactéries ou éléments pouvant poser un risque à la santé humaine, comme le chloroforme (Mouly, 2009).

Un faible taux de chlore en bout de réseau est probable.

Il est intéressant d'effectuer des mesures sur des canalisations soumises à un débit élevé, supérieur à $0.4 \text{ m}^3/\text{h}$, tout en ayant un temps de résidence supérieur à 72 heures. Ces valeurs sont relevées 600 heures après le début de la simulation.

6 zones sont concernées par ces situations, situées dans les secteurs S06 CABARRIEU, S14 TROUQUETTES, S17 MOUREOU PAVIE, S18 MOUREOU SAINT-JEAN, S25 TRAVERSE, S26 LASSEUBE PROPRE, S29 CABARRIEU DURBAN.

Des secteurs sont aussi choisis indépendamment de ce critère. Les secteurs S08 MONFERRAN PLAVES et S28 TACHOIRES ne sont pas affectés par un faible renouvellement car situés proches de l'usine de production. Cependant, ces zones ont un tirage faible et y contrôler le chlore semble pertinent. Le S10 PAVIES est sélectionné car la zone est marquée par une forte activité industrielle. La connaissance précise de la concentration en chlore libre peut être utile par ces entreprises. Le S21 ADDUCTION PAVIES est la canalisation amenant l'eau de l'usine de production de Labarthe au secteur situé au Nord d'Auch Sud. Cette mesure peut aider à interpréter les mesures dans ces secteurs. Finalement, le taux en chlore actif au niveau des réservoirs et reprises non muni de capteurs est aussi à contrôler afin d'étudier l'effet du passage en réservoir sur les concentrations de chlore.

Les points de mesures sont ensuite placés dans ces secteurs sur une des canalisations de diamètre le plus important. Afin de faciliter le travail des agents, ces points sont géo- localisés par, si possible, une adresse et des coordonnées. Cependant rien n'affirme que la mesure soit possible à cet endroit exact et si la manipulation est effectuée à un autre endroit, les coordonnées de cette dernière doivent être renseignées. La date et l'heure doivent être complétées pour calibrer la modélisation.

iii) Exploitation des mesures et modélisation.

L'intérêt de cette campagne de mesure est de vérifier la validité du modèle hydraulique d'Auch Sud pour la modélisation de la concentration en chlore libre. Cela passe par une comparaison des niveaux de chlore de la modélisation (en reprenant les consignes de chlorations en sortie d'usine, réservoirs et reprises) et des relevés terrains.

Le modèle obtenu doit coller le plus possible à la réalité et la disparition du chlore libre est régie par le Bulk Coefficient (en h^{-1} en simulant son interaction avec différents éléments (parois, bactéries etc...). Ce coefficient dépend de plusieurs facteurs : le matériau de la canalisation, l'importance du biofilm et la qualité de l'eau (traitement en sortie d'usine de production). Aucune donnée sur le Bulk Coefficient des canalisations à Auch Sud ou ailleurs n'est produite. Il n'existe pas de loi empirique pour estimer le Bulk Coeff, chaque système hydraulique étant soumis à des conditions différentes. Ce coefficient est donc appliqué pour chaque canalisation, sans prendre en compte son âge (qui influence l'importance du biofilm) ou son matériau. Il est choisi de manière que les relevés terrains soient le plus proche possible de la modélisation. Avec un Bulk Coefficient fixé à $-0,1 \text{ h}^{-1}$, le modèle est globalement le plus proche de la réalité.

Cependant des différences apparaissent localement. Une carte met en évidence ces écarts en Figure 13.

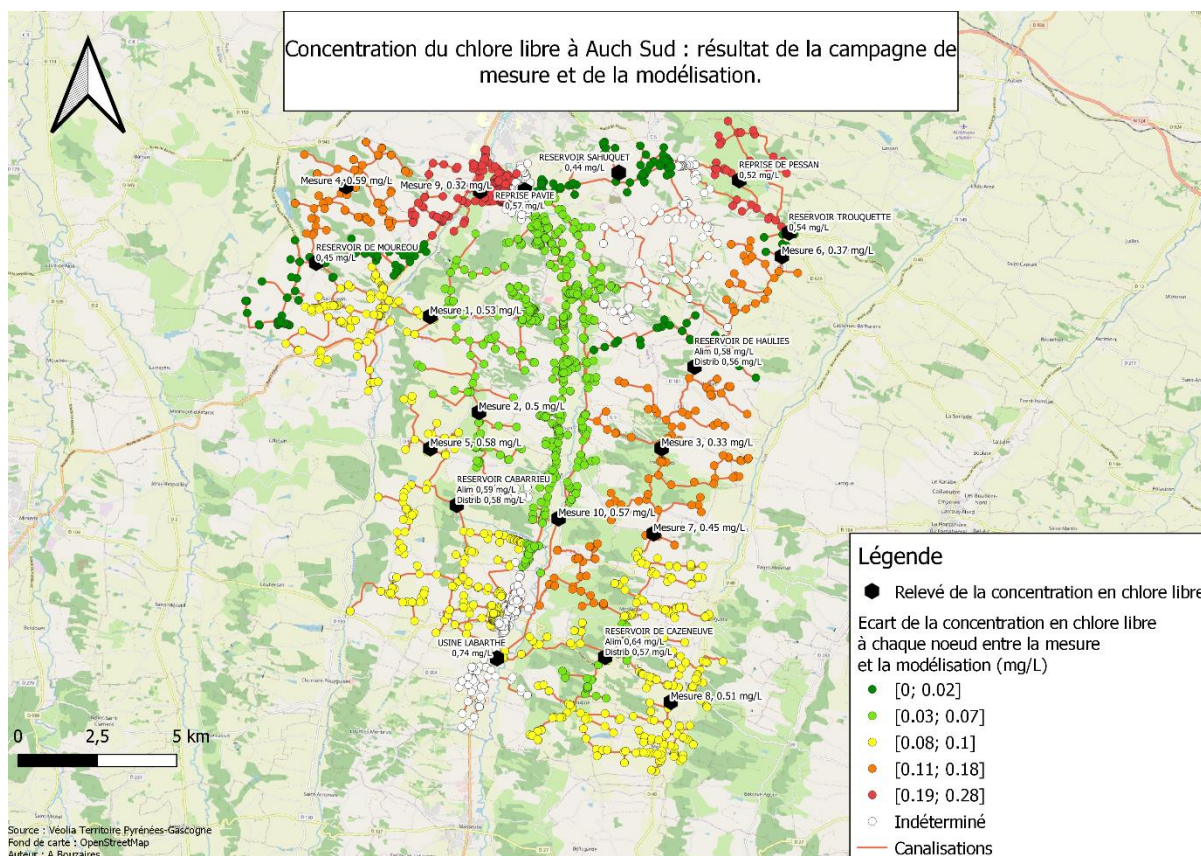


Figure 13 : Différence entre le taux de chlore libre mesuré et le taux de chlore simulé.

L'écart entre terrain et modélisation s'explique en partie par l'estimation du Bulk Coefficient. En effet les secteurs situés à l'Est voient des écarts importants quant à l'estimation de leur taux en chlore par le modèle. Cela correspond à des canalisations vieillissantes avec probablement un biofilm, et donc un Bulk Coefficient, plus important qu'ailleurs. Au contraire, le secteur de Pavie au Nord-Ouest a été renouvelé récemment, et possède donc un biofilm peu important et donc un Bulk Coefficient moins élevé.

Mais une mauvaise affection des consommations impacte aussi la répartition du chlore dans le réseau. C'est le cas pour le secteur S12 PESSAN situé Nord-Est. Des consommations anormalement faibles dans la zone entraîne un décalage sur la modélisation du vieillissement de l'eau dans le réseau, ce qui provoque une diminution du chlore quand trop élevé. Une correction des consommations dans la zone résout ce problème.

Le modèle est donc incomplet pour ces secteurs et chaque résultat produit par la suite doit prendre en considération les écarts potentiels. Cependant une étude avec le modèle actuel permet de donner une approximation de l'état du réseau pour plusieurs secteurs.

iv) Utilisation du modèle.

Une fois le domaine de validité de la modélisation du chlore étudié, nous pouvons passer à son exploitation. (Figure 14) La situation de la concentration en chlore à Auch Sud n'est pas satisfaisante.

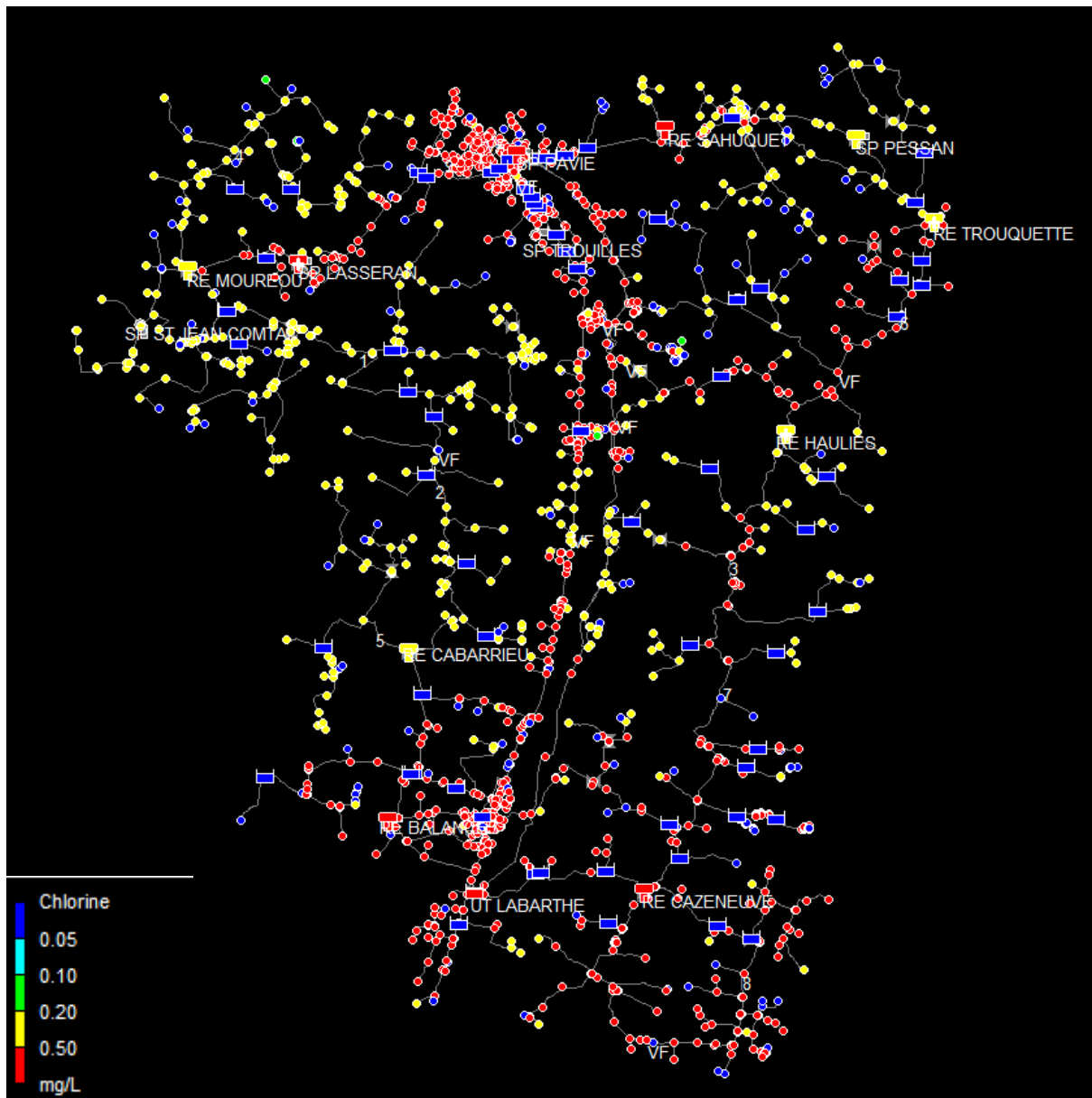


Figure 14 : Modélisation de la concentration en chlore libre dans le réseau d'eau potable d'Auch Sud dans les conditions actuelles.

Vigiprate fixe une concentration en chlore libre en sortie d'usine et de réservoir (rechloration) entre 0,3 mg/L et 0,15 mg/L et de 0,1 mg/L dans le reste du réseau. Ce taux est largement dépassé dans le réseau, étant au-dessus des 0,2 mg/L dans le réseau avec des consignes (Figure X) supérieures à 0,3 mg/L.

De telles valeurs en sortie d'usine et rechloration sont donc surprenantes. Cela s'explique par la présence récente d'un traitement au charbon actif à Auch Sud. En effet le syndicat subit une pollution aux pesticides, ce qui nécessite l'utilisation de charbons actifs en sortie d'usine. Ce traitement agit comme un traitement au chlore éliminant aussi les pesticides en sortie d'usine. Ainsi, le nombre de bactéries dans le réseau est faible en sortie d'usine et le chlore dans le réseau interagit peu avec ces dernières. Les consignes doivent donc être revues pour prendre en compte le traitement au charbon actif afin d'avoir une concentration en chlore libre respectant les recommandations Vigiprate.

Afin de vérifier que de telles consignes existent, il est effectué une étude de sensibilité avec comme paramètre les consignes en sortie d'usine et de chloration. En diminuant graduellement ces valeurs, nous obtenons avec pour consigne 0,20 mg/L en sortie d'usine et de chloration une modélisation assurant un taux en chlore dans le réseau entre 0,05 mg/L et 0,20 mg/L en accord avec Vigipirate mais globalement proche de 0,12 mg/L.

Il est aussi intéressant d'étudier la sensibilité du réseau sur le critère du Bulk Coefficient. Une variation du Bulk Coefficient peut représenter une variation de la qualité de l'eau dans le réseau, comme pourrait engendrer une diminution ou l'arrêt du traitement au charbon actif. Nous prenons alors 2 Bulk Coefficient : un à $-0,25 \text{ h}^{-1}$, ce qui correspond à un réseau peu dégradé (faible biofilm) sans traitement au charbon actif et un autre à $-0,5 \text{ h}^{-1}$ ce qui correspond à un réseau peu dégradé (important biofilm) sans traitement au charbon actif. (Dobias, 2022)

Une diminution de l'utilisation des charbons actifs, voire son arrêt dans un réseau peu dégradé (Bulk Coeff = $-0,25 \text{ h}^{-1}$), entraîne une augmentation des consignes de chloration. Ces nouvelles consignes restent inférieures à celles actuellement en vigueur avec 0,30 mg/L en sortie de réservoir et 0,50 mg/L en sortie d'usine.

Enfin une situation plus problématique émerge avec l'arrêt total du traitement au charbon actif dans un réseau dégradé (Bulk Coeff = $-0,5 \text{ h}^{-1}$). Même avec les consignes actuelles, la qualité de l'eau reste insuffisante. Une augmentation de la chloration en sortie d'usine et chloration est insuffisante, le chlore disparaissant trop vite. L'ajout de 2 chloration au réservoir de Cabarrieu et de Sahuquet permet d'avoir une qualité de l'eau satisfaisante dans les secteurs S06 CABARRIEU et S12 PESSAN. La concentration en chlore libre sur les extrémités S25 TRAVERSERES est faible et aucun réservoir proche ne permet une chloration efficace.

3. Retour sur expérience.

Grâce à la disponibilité de mon maître de stage et des équipes, chaque projet est mené en suivant une méthode agile. En effet, chaque étape des modèles hydrauliques est discutée avec mon maître de stage ou l'équipe puis validée en fonction des contraintes externes. Le manque d'information est un problème pour la réalisation d'une modélisation.

Les informations sur la géométrie des réservoirs à Pamiers sont inconnues, seul le volume est spécifié. Afin de tout de même faire fonctionner le modèle, elle a dû être approximée. Si l'effet est mineur sur le comportement dans le réseau, l'évolution du niveau d'eau dans les réservoirs est affectée. Comme le but du modèle est principalement d'étudier l'effet de la sectorisation sur la répartition des débits et vitesses dans le réseau, ce critère n'est pas plus investi.

Les caractéristiques des réservoirs d'Auch aussi sont soumis à une approximation. Si leur géométrie est connue, le marnage des réservoirs est approximatif, ce problème se retrouve aussi à Pamiers. Les consignes disponibles sur le LERN sont parfois contradictoires avec des consignes de marnage plus hautes de jour que de nuit, ce qui est contradictoire avec la stratégie mise en place pour les autres réservoirs en vue d'économiser de l'argent sur le coût de l'énergie en heure creuse. Dans ce cas, les marnages sont pris sur FluksAqua en observant le comportement des réservoirs sur plusieurs journées. Les maximum et minimum sont considérés comme des limites. Le modèle d'Auch ayant pour vocation d'être utilisé de manière plus approfondie dans le futur, cette situation est plus problématique. Après consultation auprès de mon maître de stage, ces approximations ne sont pas suffisamment importantes pour affecter de manière notable le modèle : le comportement des réservoirs reste similaire au modèle FluksAqua.

La répartition spatiale des consommations est aussi sujette à des incertitudes. La macro de géolocalisation utilisée donne les coordonnées GPS de l'adresse et non celles du compteur. En milieu urbain, le compteur est souvent à quelques mètres de la localisation GPE, mais en périphérie d'Auch ou de Pamiers avec une densité urbaine moins élevée, cela ne se vérifie pas nécessairement.

De plus, les nœuds de l'export EPANET ne reprennent pas l'intégralité des compteurs. L'extension jointure NNJoin, qui assigne la consommation géolocalisée au plus proche, doit parfois prendre un point situé à plusieurs mètres, environ 350 dans le pire des cas. La distance moyenne entre une consommation et un nœud est de 33 mètres.

Si ces approximations peuvent sembler pénalisantes pour le réseau, la répartition des volumes dans les secteurs reste satisfaisante. Les gros consommateurs sont bien localisés et rattachés à un nœud proche de la réalité, sinon le modèle ne pourrait pas assigner cette consommation sur des canalisations de faible diamètre. Si la consommation se trouve quelques mètres en amont ou en aval de la position réelle, si elle se trouve sur la bonne canalisation, cela ne pose pas de problème.

La démarche de répartition des fuites est aussi critiquable. Tout d'abord pour le modèle d'Auch deux méthodes différentes sont utilisées pour déterminer les fuites. Une basée sur les VMD et une autre sur l'UARL. L'utilisation de l'UARL vient compléter le manque d'information sur les VMD de certains secteurs. S'il est peu pertinent d'utiliser deux méthodes différentes, il est préférable de se baser sur des relevés plutôt que des estimations. J'ai tenté d'estimer les

fuites par UARL pour l'ensemble des secteurs, mais les valeurs étaient souvent éloignées des relevées. C'est pour cela que l'estimation des fuites n'est pas uniquement basée sur l'UARL. La vérification des volumes distribués en sortie d'usine permet de valider le modèle malgré le croisement des deux méthodes.

Les propositions d'aménagements pour la réduction de pression à Auch ne tiennent pas compte de la réalité du terrain. Je n'ai pas pu me rendre sur les endroits supposés de chaque installation. L'idéal est de placer les réducteurs et stabilisateurs le plus bas possible, mais cela dépendra de l'accessibilité et du coût des travaux selon l'emplacement choisi. De plus, je ne peux effectuer le dimensionnement du diamètre des réducteurs. Ce critère se fait en croisant le coût du modèle de réducteur, la consigne de réduction et la présence de défense incendie en aval de l'ouvrage. Le réducteur ou le stabilisateur doivent être capables de s'ouvrir ou de laisser passer un débit suffisamment grand pour la défense incendie. Pour l'aspect consigne, une réduction de diamètre permet de créer une perte de charge. Un réducteur ayant un potentiel de réduction plus faible, mais moins cher qu'un modèle capable de suivre la consigne voulue, peut tout de même atteindre cette valeur en prenant un diamètre plus faible. L'équilibre entre ces paramètres est hors de mes compétences.

Pour la question du chlore à Auch Sud, il est pertinent d'effectuer une campagne de mesures portant sur le Bulk Coefficient des canalisations au niveau des mesures effectuées, en mesurant la corrosion et l'importance du biofilm. Ainsi, nous pourrions extrapoler ces mesures sur le reste du réseau en fonction de l'âge et du matériau des canalisations. Cela reste une approximation, car d'autres facteurs interviennent, mais une telle méthode permet de mieux coller à la réalité du terrain avec des Bulk Coeff par secteur ou zone.

Finalement, le problème le plus important pour les modèles est l'absence de données pour effectuer un calage sur la pression ou le débit. Une fois le modèle fonctionnel, l'usage veut qu'il soit calé avec des données de terrains, afin de vérifier les valeurs et les évolutions temporelles. Des modifications sont faites jusqu'à ce que la simulation et la réalité coïncident. Cette phase n'est pas faite pour les deux modèles. Les rares capteurs de pressions télé-gérées permettent un calage approximatif mais largement insuffisant aux regards de la taille des réseaux. 3 capteurs sont présents pour les 4 552 nœuds du modèle d'Auch. Pour Auch, les mesures de pression sur les capteurs non télé-gérées sont effectuées par les Sapeurs-Pompiers d'Auch et l'équipe de Pamiers ne délègue pas cette tâche. Ces données ne me sont pas accessibles, tout comme pour Pamiers.

Pour le modèle d'Auch, les pressions sont vérifiées auprès des équipes sur place. La présentation des projets d'aménagements permet aux agents de vérifier les pressions avant aménagement. Leur regard critique permet d'effectuer un début de calage. Les pressions trop élevées sont ramenées en fonction des commentaires de l'équipe. A la suite de la réunion, mon maître de stage valide le modèle sans calage.

Le travail de modélisation demande de communiquer régulièrement avec les équipes. Différentes options sont exploitables à chaque étape du projet. Les simulations EPANET sont fréquemment utilisées par les employés de Veolia, afin de fournir des cartes pour le client, gérer des situations de crise, proposer des aménagements ... J'ai accompagné Monsieur Ludovic Baschet lors d'un entretien avec un client et le travail d'une simulation a servi d'argument. La modélisation est donc centrale dans la mission de l'entreprise. Mais pour être efficace, elle doit être mise à jour régulièrement. Ce travail est facilité par un inventaire régulier et accessible des équipements et de leur fonctionnement. Les applications supposées détenir des informations ne sont pas toujours à jour, ce qui entraîne des approximations.

La collecte d'informations est intéressante, parce qu'elle crée de la communication entre les employés et soulève des problèmes sur le travail existant (comme les problèmes sur VIGIE). Mais ces données peuvent aussi provenir de l'extérieur. Lors d'un appel d'offre par le Syndicat des Trois Cantons dans les Pyrénées-Atlantiques (64) pour la reprise en régie d'un réseau

d'assainissement, j'ai représenté l'entreprise avec pour mission de faire un état des lieux des ouvrages et de collecter des données en vue d'une potentielle modélisation. Mon stage à Veolia me permet de découvrir de nombreux métiers liés à l'eau mais aussi dans le domaine de la clientèle. Les situations présentées ci-dessus en sont l'exemple.

Conclusion.

Mon stage à la direction opérationnelle du Territoire Pyrénées-Gascogne de Veolia a été très enrichissant professionnellement. Cette expérience m'a fait découvrir les métiers de l'eau et leurs enjeux. Le travail que j'y ai réalisé vient compléter ma formation en montrant la réalité du terrain et comment s'opère la gestion des réseaux de distribution d'eau potable, au-delà d'une approche purement théorique. Cela m'a permis de perfectionner mes compétences et d'en acquérir de nouvelles. La multiplicité des aspects de mes missions a développé ma capacité à m'adapter, en prenant en compte des contraintes techniques, économiques et réglementaires.

L'autonomie accordée par mon maître de stage m'a permis d'apprendre la conduite de projet, en me poussant à organiser mon travail et en me fixant des deadlines. Les échanges avec mon tuteur de stage et les équipes m'ont formé à justifier mes choix lors de la création des modèles et à produire des rendus clairs. Cette liberté m'a aussi permis d'être force de proposition, aussi bien pour la création des modèles que la résolution des problèmes existants sur les différents réseaux.

Enfin, cette expérience m'a plongé dans un monde professionnel compétitif mais plein d'opportunités. Dans un contexte de crise de la ressource, le domaine de l'eau est de plus en plus ouvert à de nouveaux projets. Cela m'a permis de découvrir de nombreux concepts nouveaux et des approches innovantes, aussi bien socialement, économiquement ou environnementalement. Ce stage a éveillé en moi une curiosité pour la gestion de la ressource en eau, nourrie par des opportunités grandissantes dans le domaine.

Bibliographie.

Mouly, D. M., Joulin, E. J., Rosin, C. R., Beaudeau, P. B., Zeghnoun, A. Z., Olszewski-Ortar, A. O., Institut de Veille Sanitaire, & Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments. (2009, février). *Les sous-produits de chloration dans l'eau destinée à la consommation humaine en France : Campagnes d'analyses dans quatre systèmes de distribution d'eau et modélisation de l'évolution des trihalométhanes*. Diadeis.

Office International de l'Eau. (2000, décembre). *la Rechloration en Réseau de Distribution d'Eau Potable*. Service National d'Information et de Documentation sur l'Eau.

Shammas, N. K., & Al-Dhowalia, K. H. (1993). Effect of Pressure on Leakage Rate in Water Distribution Networks. *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, 5(2), 213-226. [https://doi.org/10.1016/s1018-3639\(18\)30581-6](https://doi.org/10.1016/s1018-3639(18)30581-6)

Webographie.

BD TOPO® - data.gouv.fr. (2022, août 17). BD Topo.

<https://www.data.gouv.fr/fr/datasets/bd-topo-r/>

Campus Veolia - Site d'Ibos. (2022). Campus Veolia. <https://www.campus.veolia.fr/qui-sommes-nous/reseau-campus/campus-veolia-site-dibos>

La sectorisation du réseau. (2021). SEDIF. <https://www.sedif.com/la-sectorisation-du-reseau.aspx>

SIAEP Auch Sud - Pessan - Site officiel de la commune. (2020). SIAEP Auch Sud.

<http://www.pessan-gers.fr/fr/information/45911/siaep-auch-sud>

Wikipedia contributors. (2022, août 8). *Veolia Eau*. Wikipedia.

https://fr.wikipedia.org/wiki/Veolia_Eau

Annexes.

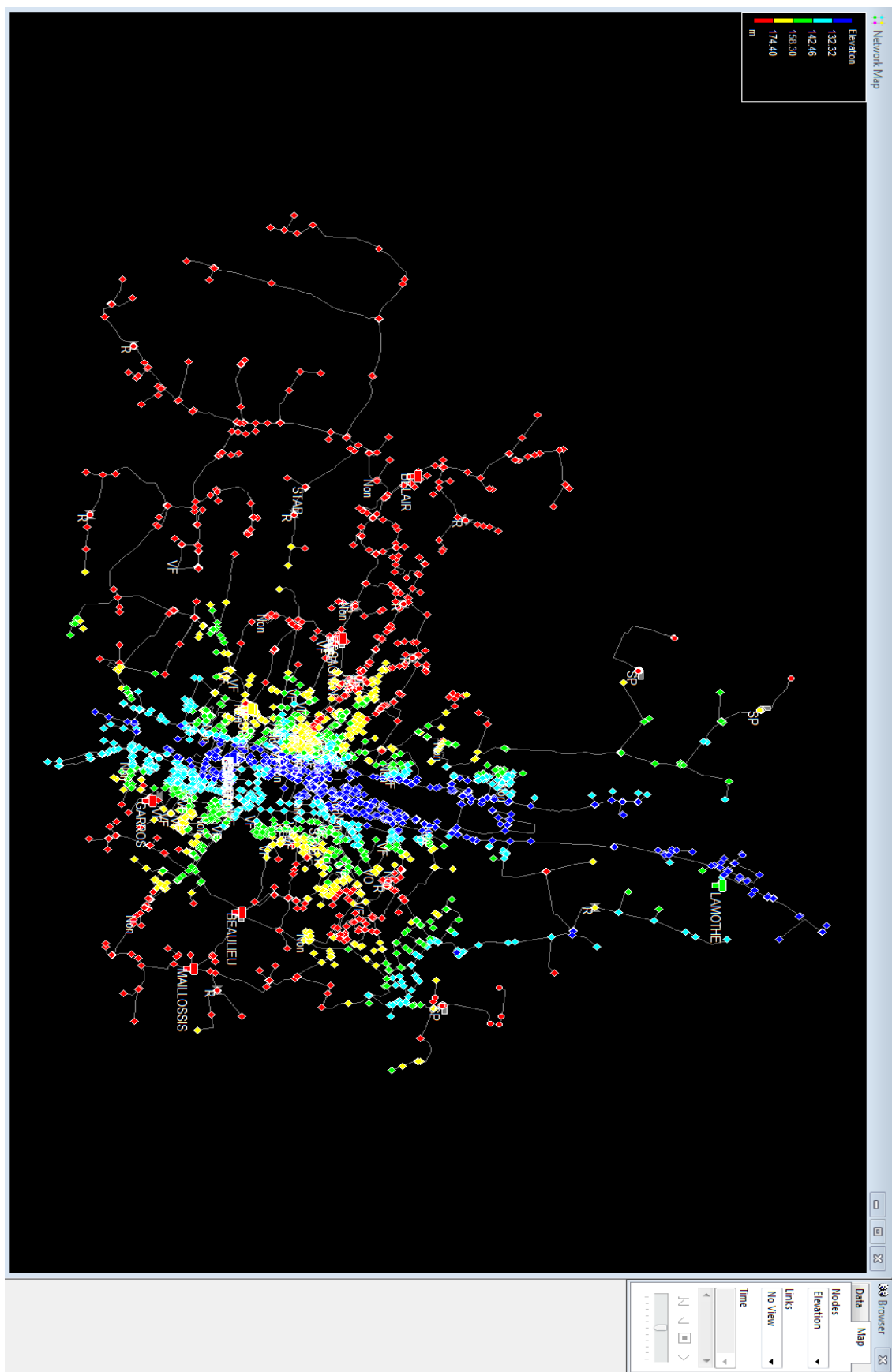
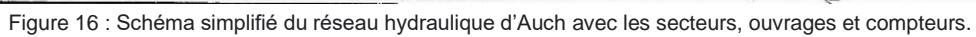


Figure 15 : Répartition de l'altitude de chaque nœud à Auch.





39

Sectorisation du réseau de distribution d'eau potable de la commune de Pamiers

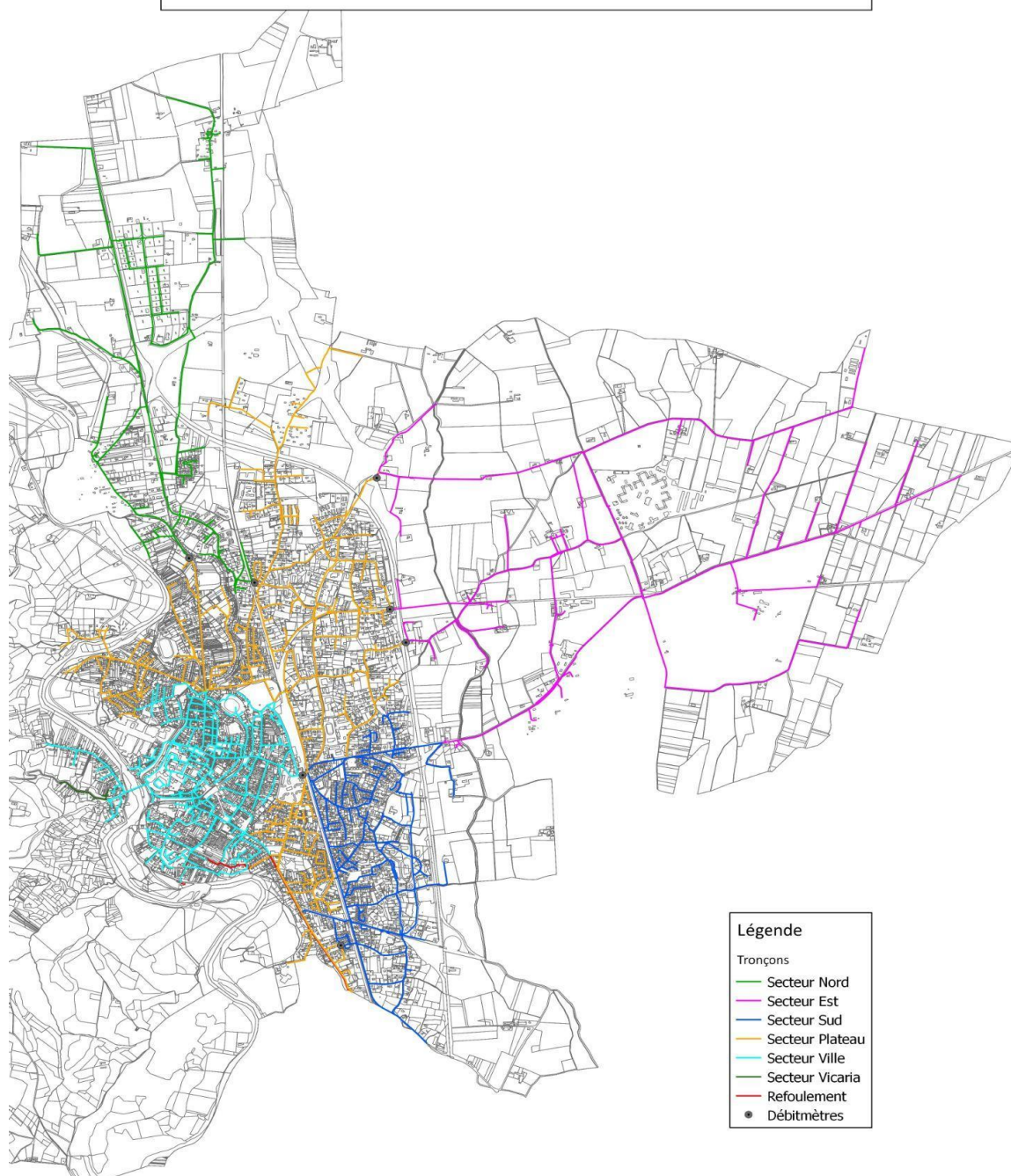


Figure 18 : Projet de sectorisation initial à Pamiers.

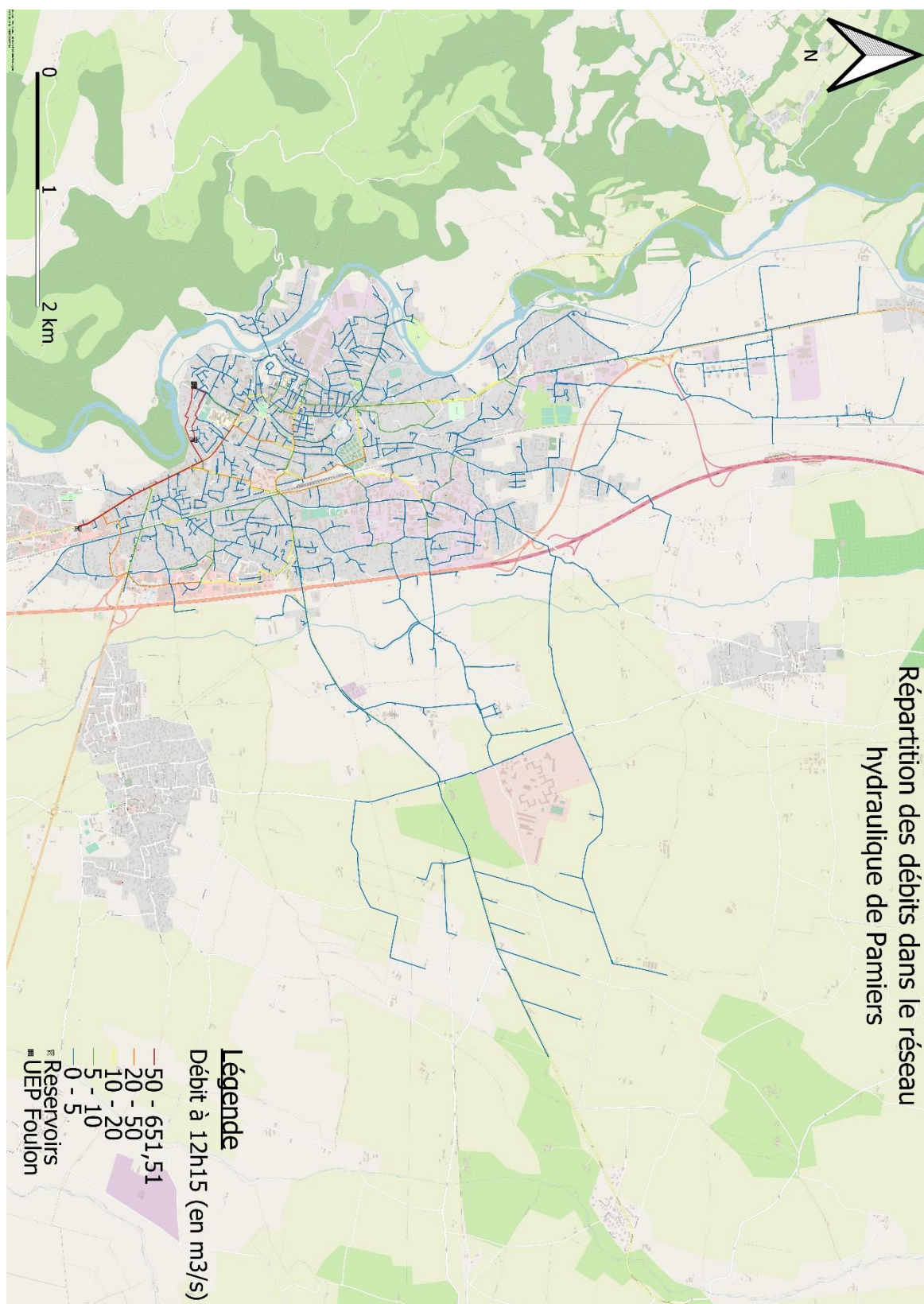


Figure 19 : Carte de la répartition des débits dans le réseau hydraulique de Pamiers.

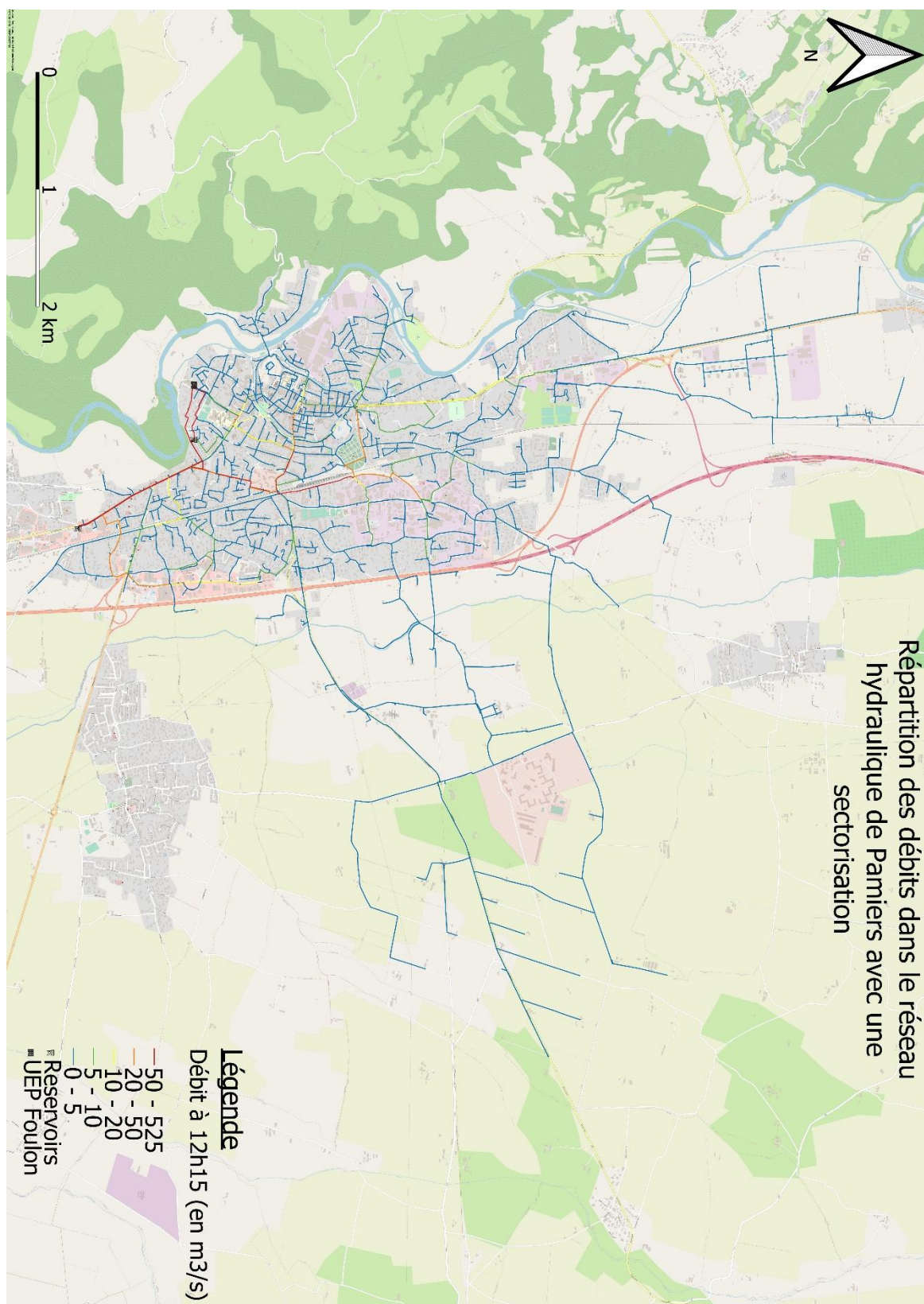


Figure 20 : Carte de la répartition des débits dans le réseau hydraulique de Pamiers avec le projet de sectorisation.

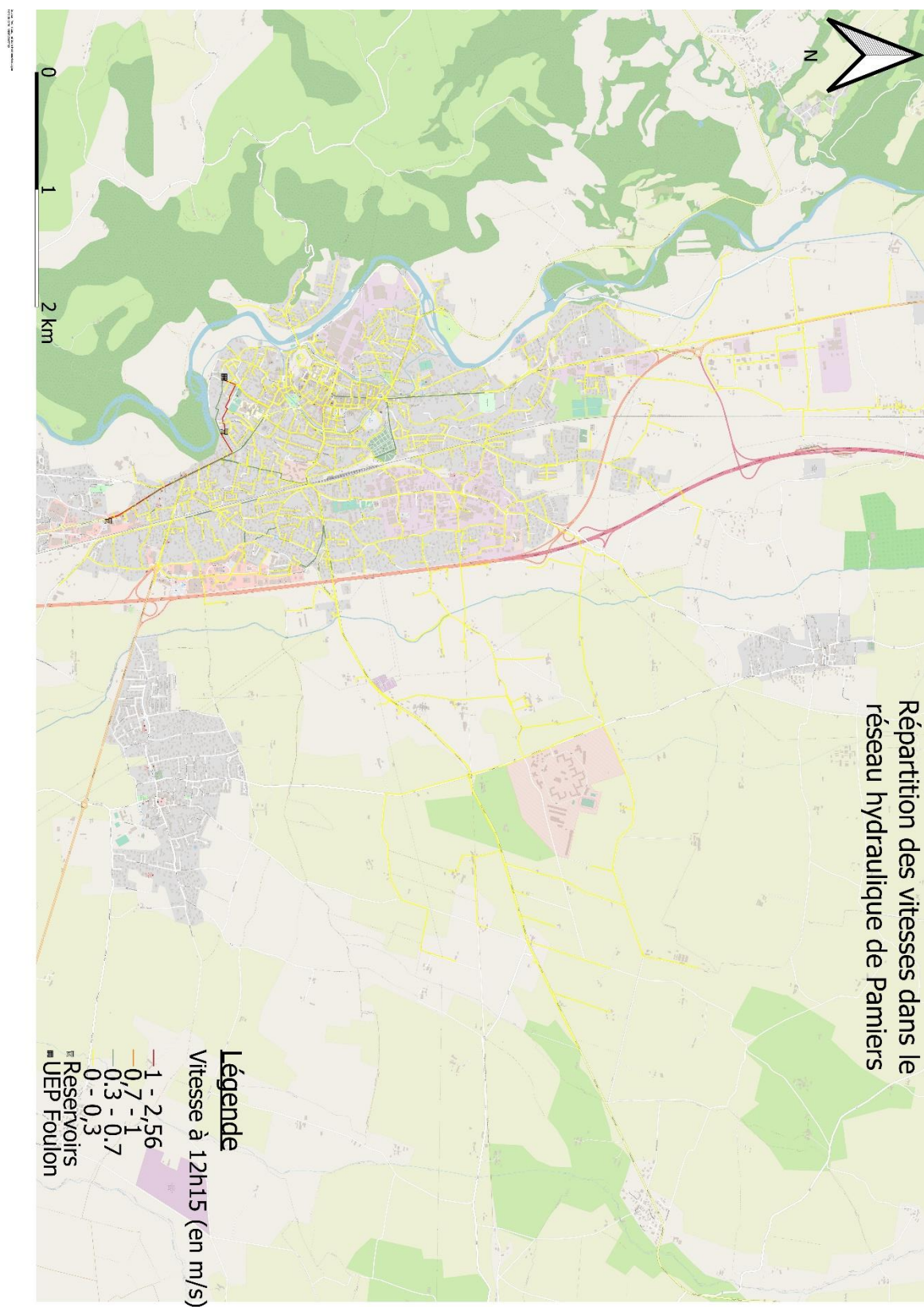


Figure 21 : Carte de la répartition des vitesses de l'eau dans le réseau hydraulique de Pamiers.

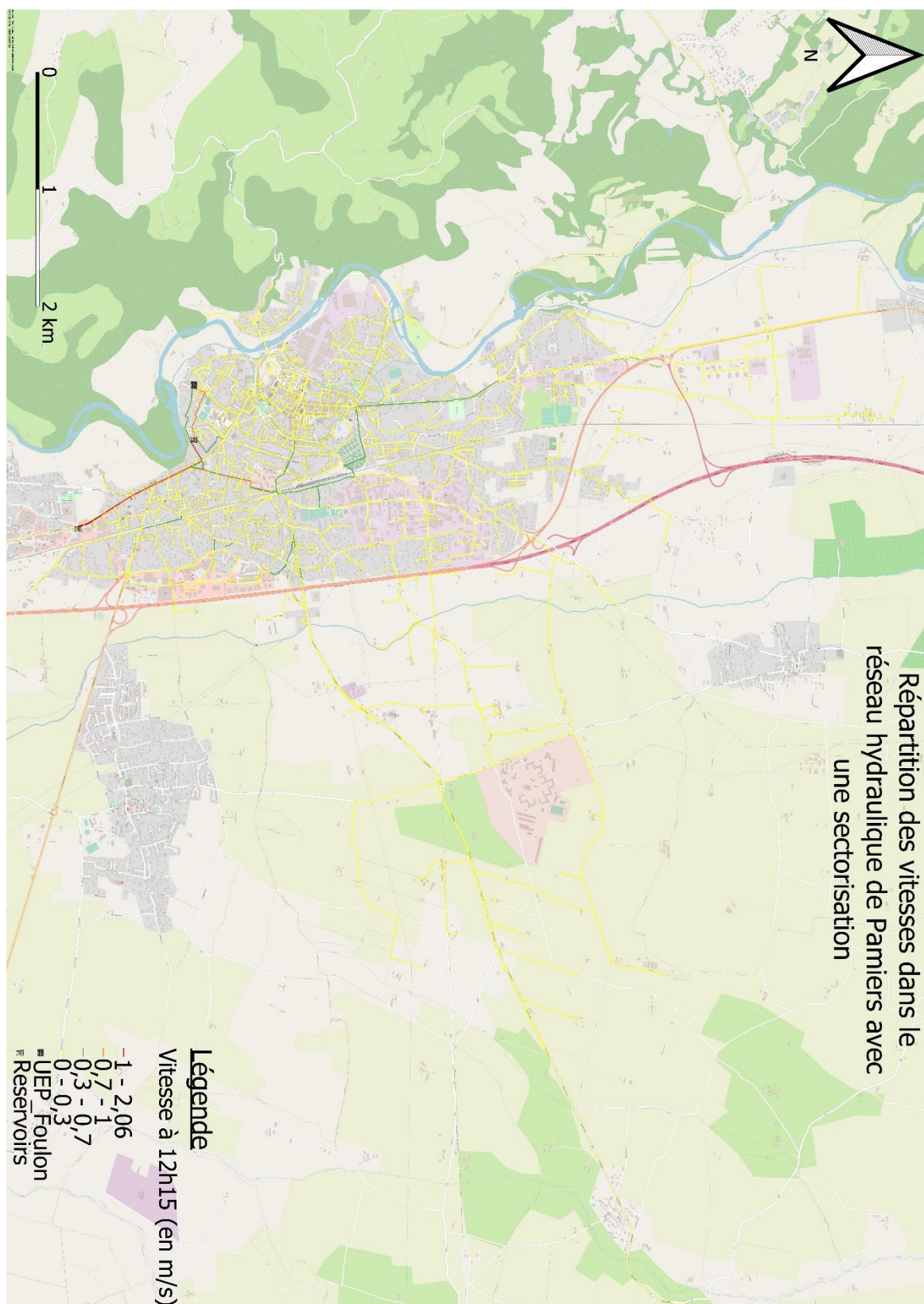


Figure 22 : Carte de la répartition des vitesses de l'eau dans le réseau hydraulique de Pamiers avec le projet de sectorisation.

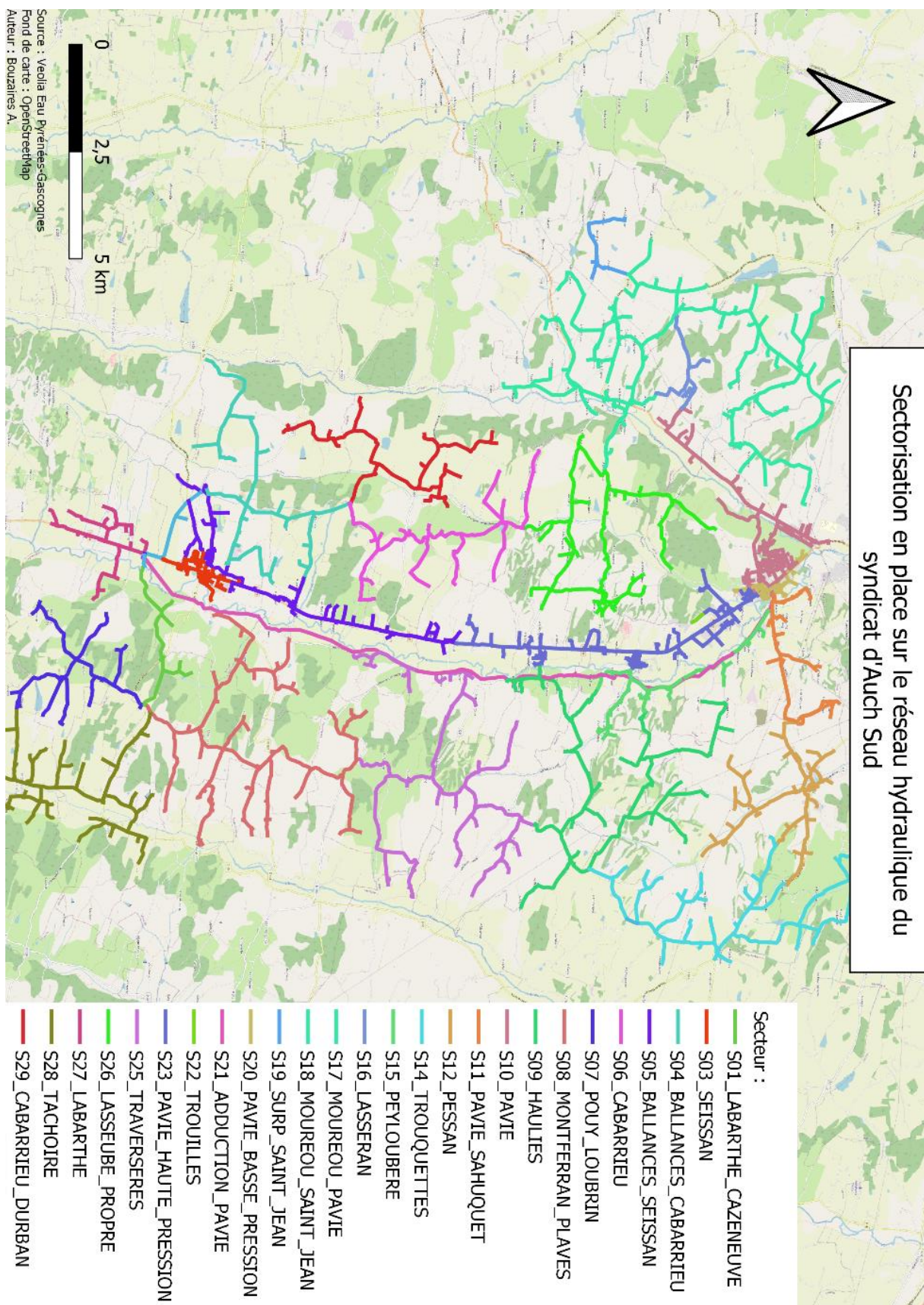


Figure 23 : Sectorisation en place au syndicat d'Auch Sud.

Bouzares
Alexandre
2021-2022



POLYTECH[®]
TOURS

35 ALLÉE FERDINAND DE LESSEPS
37200 TOURS

Titre : Modélisation de réseau hydraulique de distribution d'eau potable.

Résumé : Dans un contexte de dérèglement climatique entraînant une raréfaction de la ressource en eau potable et une baisse de sa qualité, économiser l'eau et trouver un traitement adéquat deviennent des enjeux importants. (Dobias, 2022) C'est dans ce contexte que s'effectue mon stage. Mon activité se base sur la création et l'étude des modèles hydrauliques des réseaux de distribution d'eau potable à Pamiers et Auch et l'amélioration du modèle du syndicat d'Auch Sud.

Cependant, mon travail lors du stage comprend aussi l'utilisation de ces modèles pour justifier l'installation de réducteur et stabilisateur de pression pour diminuer les fuites à Auch, valider le projet de sectorisation à Pamiers et proposer des changements sur les rechlors à Auch Sud.

Abstract : With global warming increasing scarcity of drinkable water and lowering its quality, to save water and to find an appropriate treatment have become a major issue. (Dobias, 2022) My internship takes place in this context. The point of my activity is to create and to study the hydraulics models of drinkable water network of Pamiers and Auch and the development of Auch Sud's syndicate model.

However, my work also includes the utilization of these models to justify the installation of pressure reducer and pressure stabiliser to reduce Auch's water leakage, to verify the sectorization project of the city of Pamiers and to propose modifications of the re-chlorination in Auch Sud.

Mots Clés : Distribution, eau, modélisation, qualité de l'eau, fuites.

Entreprise : Veolia Eau Pyrénées-Gascogne, ZAC du Parc des Pyrénées, Rue du Néouvielle, 65 420 Ibos

Tuteur académique :
Mindjid Maïzia

Tuteur entreprise :
Philippe Dobias
Direction Opérationnel