



HAL
open science

Modélisation du réseau d'eau potable de la commune de Saint-Leu

Abdramane Traoré

► **To cite this version:**

Abdramane Traoré. Modélisation du réseau d'eau potable de la commune de Saint-Leu. Sciences de l'ingénieur [physics]. 2019. dumas-02477922

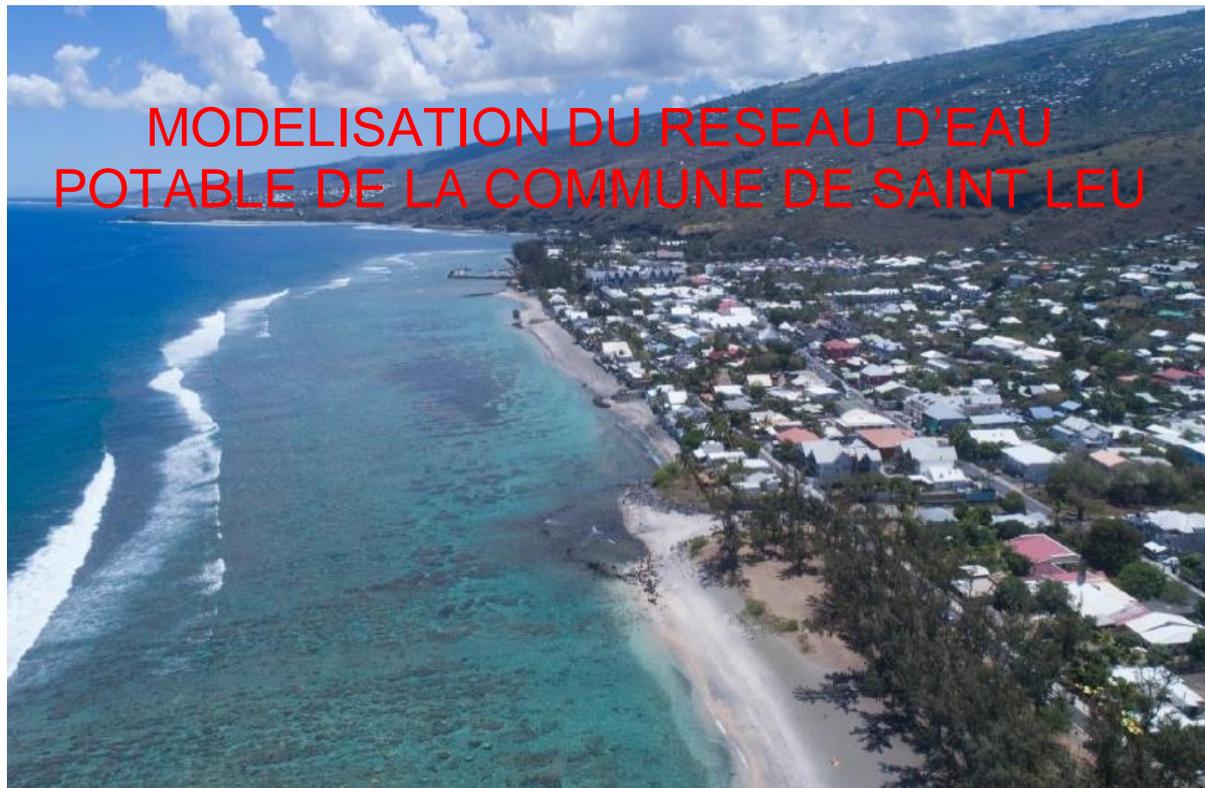
HAL Id: dumas-02477922

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-02477922v1>

Submitted on 13 Feb 2020

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

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



Mémoire de fin d'études – Mastère spécialisé eau potable et assainissement

*Ecole nationale du génie de l'eau et de
l'environnement de Strasbourg*

Abdramane TRAORE

Période de stage : 16 Mai au 08 Novembre 2019

Maître de stage :

Philippe CHARBONNEL - Directeur

Idr974@orange.fr

Structure d'accueil : IDR - 29, Rue Georges Pompidou 12^{ème} Km –
97 430 le Tampon (La Réunion)

REMERCIEMENTS:

Je tiens à remercier l'ensemble du personnel du bureau d'études IDR pour m'avoir permis d'effectuer mon stage de fin d'études en leur compagnie dans une ambiance conviviale ;

M. Philippe CHARBONNEL, de m'avoir accepté et intégré dans l'équipe et permis de découvrir les autres activités de IDR ;

L'ensemble du personnel (chargés d'opération, techniciens, stagiaires et l'assistante de gestion) de m'avoir fait profiter de leurs connaissances et de m'avoir donné l'opportunité de participer à différentes tâches extérieures à mon sujet de stage ;

Aux familles TRAORE, BALLO et CISSE, à mes amis merci pour vos soutiens financiers et moraux sans lesquels je ne pourrais faire cette formation, ma pensée et mes prières à eux tous ;

Je tiens à remercier mon tuteur école M. Jean Bernard BARDIAUX pour sa disponibilité et ses conseils et remarques concernant les démarches à adopter dans le cadre de la modélisation ;

Mes remerciements au personnel de la direction de la formation continue de l'ENGEES, pour leur sérieux dans le travail, leur soutien à travers des conseils précieux et leur disponibilité ;

Pour finir je remercie mes camarades de classe pour les agréables moments passés lors des cours, projets et sorties sur le terrain, je vous souhaite bonne chance pour vos futures carrières professionnelles.

RESUME :

Le réseau AEP de la commune de Saint Leu est constitué de 329,8 km de conduites desservant une population de 33 701 habitants dont 15 341 abonnés au total.

L'approvisionnement en eau de la commune est assuré par des ressources souterraines (puits Grande Ravine, forage Petite Ravine) et les captages Bras Jeanne, qui constituent les ressources propres de Saint Leu totalisant 28 % des besoins en eau. La commune est alimentée à 72 % par des achats d'eau destinée à l'agriculture auprès de la SAPHIR. Un diagnostic du réseau réalisé en 2018 a révélé l'état dégradé et la vétusté des infrastructures en génie civil de l'ensemble des sites.

La commune de Saint Leu étant fortement dépendante de l'achat d'eau, chaque intervention ou incident sur le réseau SAPHIR occasionne un manque d'eau et une gestion dégradée du réseau de distribution, qui impacte les usagers et n'améliore pas les performances hydrauliques du réseau.

L'exploitation du réseau est assurée depuis 2017 par la société DERICHEBOURG. Dans le cadre des obligations de son contrat d'affermage, l'exploitant doit fournir à la Collectivité une modélisation de son réseau AEP à l'état actuel, que l'exploitant a confié au bureau d'études IDR.

La simulation du fonctionnement du réseau a permis de déceler les dysfonctionnements du réseau, et notamment les faibles pressions au niveau du chemin Dubuisson et la route Georges Pompidou, et de dégager des axes de travaux à réaliser pour améliorer la desserte en eau.

Durant ce stage, plusieurs difficultés ont été rencontrées, telles que l'absence et le délai d'attente des données au niveau de certains ouvrages du réseau ; de même, les plans du réseau n'étaient pas à jour sur certains tronçons. Dans le modèle, nous avons intégré les travaux et récents changements effectués sur le réseau.

Le calage devait être fait selon les données fournies par l'exploitant, car il n'y avait pas de campagne de mesures prévue, aussi l'absence ou le retard dans l'obtention de certaines données nécessaires au calage a constitué une grande difficulté.

Le modèle réalisé dans le cadre de cette étude constituera une base pour l'exploitant, qui devra ensuite être mise à jour en fonction des travaux d'extension ou de modernisation AEP réalisés.

ABSTRACT :

The AEP network in the municipality of Saint Leu consists of 329,8 km of pipes serving a population of 33 701 inhabitants of which 15 341 subscribers in total. The municipal water supply is provided by underground sources (Grande Ravine wells, Petite Ravine wells) and Bras Jeanne water catchments, which constitute Saint Leu's own resources, accounting for 28% of water needs.

The municipality is supplied for 72% by water purchases for agriculture from SAPHIR. A network diagnostic conducted in 2018 revealed the deteriorated state and dilapidated civil engineering infrastructure of all the sites.

Being the municipality of Saint Leu heavily dependent on the purchase of water, each intervention or incident on the SAPHIR network causes a lack of water and a degraded management of the distribution network. This impacts users and does not improve the hydraulic performances of the network.

Since 2017, the network has been operated by DERICHEBOURG. As part of the obligations of its lease contract, the operator has entrusted IDR with modeling the network in its current state to better understand the problems.

The simulation of the water distribution network has made it possible to detect network malfunctions, in particular the low pressures in the roads Dubuisson and Georges Pompidou, and to identify areas of work to be done to improve the water supply.

Several difficulties were encountered during this phase, such as the absence of data and the long waiting time to receive data at the level of certain works in the network; the network plans were not up to date on certain sections. In the model we have integrated the work and recent changes made on the network. Calibration should be done according to the data provided by the operator as there was no planned measurement campaign; indeed, the lack of some data needed for calibration was a big problem.

The model developed as part of this study will provide a basis for the operator; in the near future, an update will be made once all the work has been completed and the SIG update completed.

LISTE DES ABREVIATIONS

AEP : Alimentation en Eau Potable

ARS : Agence Régional de Santé

CD : Chemin Départemental

DN : Diamètre Nominal

INSEE : Institut National de la statistique et Etudes Economiques

ILC : Indice linéaire de consommation

ILP : Indice linéaire de perte

ILO : Irrigation du Littoral Ouest

NGR : Nivellement Général de la Réunion

PVC : Polychlorure de vinyle

PEHD : Polyéthylène Haute Densité

RAD : Rapport Annuel du Délégué

RN : Route Nationale

RD : Route Départementale

SDAEP : Schéma Directeur d'Alimentation en Eau Potable

STEP : Station d'Épuration d'Eaux Usées

SIG : Système d'information géographique

SAPHIR: Société d'Aménagement de Périmètres Hydro agricoles de l'île de la Réunion

ZAC : Zone d'Aménagement Concertée

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Localisation des communes de la Réunion.....	11
Figure 2 : Précipitation moyenne de Saint Leu (Source : SDAEP)	12
Figure 3 : Température moyenne de Saint Leu (Source : SDAEP)	13
Figure 4 : Evolution de la population de la commune de Saint Leu	14
Figure 5 : Station de potabilisation du Plate (Source : RAD 2018)	18
Figure 6 : Réservoir Maduran	20
Figure 7 : Répartition nature et âge des conduites (Source: RAD 2018)	23
Figure 8 : Chambre des vannes du réservoir Maduran.....	25
Figure 9 : Synoptique de fonctionnement.....	26
Figure 10 : Ossature du réseau modélisé	39
Figure 11 : Modèle de consommation 1	41
Figure 12 : Modèle de consommation centre-ville.....	42
Figure 13: Marnage réservoir ville	43
Figure 14 : Marnage réservoir Boulanger.....	44

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Températures maximales Saint Leu	13
Tableau 2: Ouvrages de prélèvement d'eau brute	17
Tableau 3 : Installations de production.....	18
Tableau 4 : Qualité de l'eau distribuée	19
Tableau 5 : Stations de reprise et surpression	21
Tableau 6 : Equipements hydrauliques du réseau	22
Tableau 7 : Conduites d'adduction et de distribution.....	22
Tableau 8 : Age compteurs	25
Tableau 9 : Capacité de production de Saint Leu	29
Tableau 10 : Volume distribué en 2018.....	29
Tableau 11 : Valeurs guides de l'ILC.....	30
Tableau 12 : Evolution du nombre d'abonnés	30
Tableau 13 : Pertes journalières moyennes.....	31
Tableau 14 : valeurs de référence de l'ILC (Source : Agence de l'eau Adour Garonne)	31
Tableau 15 : Besoins moyens journaliers	31
Tableau 16 : Estimation des coefficients de pointe journalière	32
Tableau 17 : Besoins journaliers de pointe	33
Tableau 18 : Appréciation du rendement (Source : E. WEBER et D. GILBERT, 2001-2008)	33
Tableau 19 : Rendement du réseau de Saint Leu	33
Tableau 20 : Bilan besoins ressources.....	34
Tableau 21 : Capacité de stockage	35
Tableau 22: Comparaison volume.....	45
Tableau 23 : Catalogue rugosité.....	45

SOMMAIRE

LISTE DES ABREVIATIONS	4
LISTE DES FIGURES	5
LISTE DES TABLEAUX.....	5
SOMMAIRE	6
INTRODUCTION.....	9
I. CONTEXTE GENERAL DE L'ETUDE	10
1. Présentation d'IDR :.....	10
2. Présentation générale de la commune de saint leu :	11
a. Contexte géographique.....	11
b. Contexte climatique.....	12
c. Contexte urbain	13
3. Présentation du réseau AEP de Saint-Leu.....	15
a. Les ressources	15
b. Les installations de production	17
c. Le réseau AEP.....	19
II. BILAN BESOIN RESSOURCES	28
1. Capacité de production actuelle de la commune	28
2. Besoin actuel de la commune.....	29
a. Besoin moyen journalier	29
b. Besoin de pointe journalière	32
c. Rendement du réseau.....	33
d. Analyse de la sécurité à la production	34
e. Analyse de la sécurité au stockage.....	35
III. MODELISATION HYDRAULIQUE DU RESEAU.....	37
1. Construction du modèle.....	38
a. Equipements de réseau :.....	39
b. Modèles de consommation.....	41
c. Calage	43
2. Résultats de la modélisation et proposition d'aménagements.....	46
IV. Conclusion	51
Bibliographie.....	52
Annexes.....	53
Annexe 1 : Schéma altimétrique	54

Modélisation du réseau d'eau potable de la commune de Saint Leu (Réunion)

Annexe 2 : Marnages des réservoirs.....	55
Annexe 3 : Consignes de régulation.....	61
Annexe 4 : Courbes caractéristiques des pompes	63
Annexe 5 : Calcul de charge aux points de livraison SAPHIR 1 et 2.....	68

INTRODUCTION

Le service de l'eau de la commune de Saint Leu (production, distribution et entretien) est assuré par un délégataire, à savoir la société DERICHEBOURG Aqua qui remplace depuis Juillet 2017 la CISE Réunion (filiale de la SAUR).

La présente étude s'inscrit dans le cadre des obligations contractuelles du contrat d'affermage entre DERICHEBOURG et la commune de Saint Leu.

Aucune modélisation du réseau AEP de Saint Leu n'avait été faite sur son fonctionnement auparavant, et pour une meilleure connaissance de son état actuel et mieux appréhender les dysfonctionnements du réseau, une modélisation paraissait nécessaire.

DERICHEBOURG a confié au bureau d'études IDR la réalisation des études de création du SIG, ainsi que la modélisation et simulation des réseaux et ouvrages AEP de la commune de Saint-Leu. Cette étude a pour objectif principal de développer un modèle informatique sous le logiciel PORTEAU. Pour ce faire, une simulation suivant différentes configurations (période moyenne, période de pointe) sera faite afin de déceler les insuffisances du réseau et améliorer les conditions de desserte en eau de la population. La phase 1 de cette étude déjà réalisée consistait à la réalisation d'un fichier SIG du réseau AEP avec les données et informations recueillies auprès de l'exploitant et des différentes parties prenantes du projet.

Cette présente étude constitue la phase 2 qui est la réalisation d'un modèle hydraulique informatique à l'aide du logiciel de modélisation Porteau. C'est dans ce contexte que m'a été proposé un stage d'une durée de six (6) mois sur la modélisation du réseau d'adduction d'eau potable de la commune de Saint-Leu au sein du bureau d'études IDR.

Les résultats de la modélisation doivent conduire à suggérer des solutions de modernisation, renforcement ou extension de réseau qui seront présentées au client.

Le présent document présentera dans un premier temps l'aire d'étude. Cette présentation consistera à situer l'aire d'étude et présenter le réseau d'eau potable de la commune de Saint Leu en vue de faire un état des lieux sur la base des données de base.

Pour étudier le comportement du réseau, une modélisation hydraulique sous le logiciel PORTEAU sera faite avec des simulations du comportement du réseau sous des conditions différentes.

Enfin, la dernière partie de l'étude sera consacrée à faire des propositions et à suggérer des solutions de modernisation, de renforcement ou d'extension du réseau AEP pour améliorer la desserte en eau.

I. CONTEXTE GENERAL DE L'ETUDE

1. Présentation d'IDR :

IDR (Ingénierie de la Réunion) est une entreprise individuelle qui est située au 12^{ème} Km au Tampon au Sud de La Réunion ; ce bureau d'études fondé en 1997 par M. Philippe CHARBONNEL est actif sur toute l'île pour des prestations d'études générales comme de Maîtrise d'oeuvre dans le domaine de l'hydraulique urbaine ou agricole.

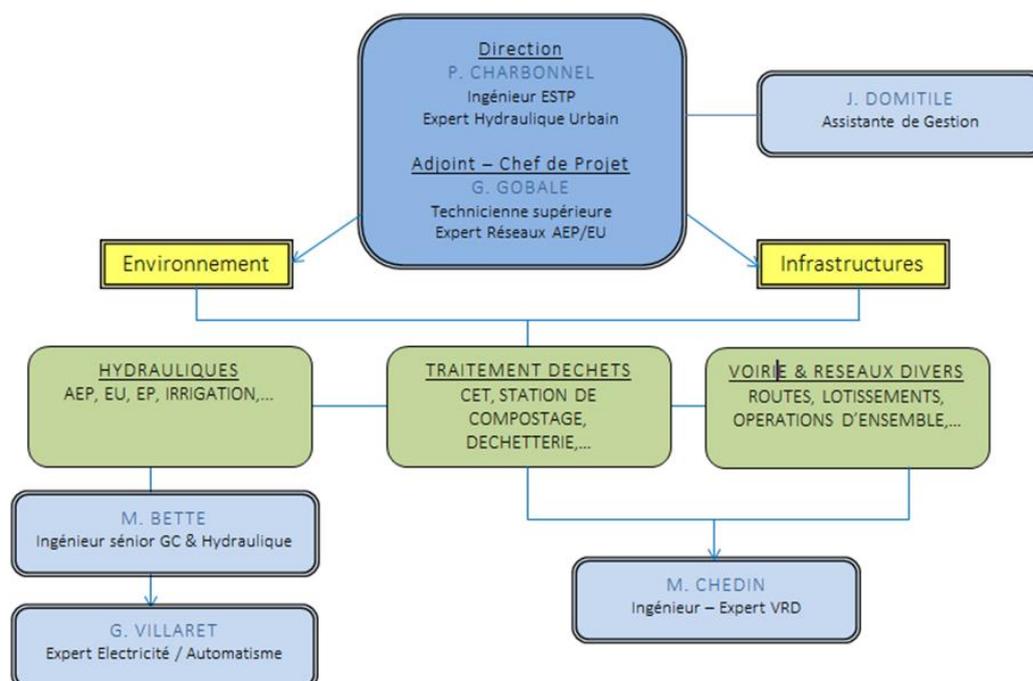
Compétences :

- Eau Potable & Irrigation : Traitement, Adduction & Distribution ;
- Eaux Usées : Traitement & Réseaux, Procédés épuratoires classiques, Valorisation ;
- Infrastructures : Voiries Réseaux Divers (VRD) / Déchets : Centre d'enfouissement technique, Déchetterie ;
- Station de compostage.

Prestations : Etudes Générales :

- Audit ;
- Etudes de faisabilité ;
- Etudes Comparatives de procédés techniques ;
- Diagnostic et optimisation d'ouvrages ;
- Schéma Directeur ;
- Schéma de traitement & Valorisation des boues de STEP (Station d'épuration) ;
- Etudes d'impact & Dossier réglementaires (STEP – CET – Déchets – Industries) ;
- Etudes « Loi sur l'Eau » ;
- Permis de Lotir & Permis d'Aménager.

Organigramme Infrastructure & Environnement



2. Présentation générale de la commune de saint leu :

La commune de Saint Leu est située à la limite du Sud et de l'Ouest sans appartenir à l'un ou à l'autre, elle possède une très forte originalité. La commune dispose de très peu de structures de caractères industriels, elle bénéficie en revanche d'une topographie qui en fait une région bénie pour le sport et le tourisme. La figure ci-après présente la localisation de l'ensemble des communes du département de La Réunion :



Figure 1 : Localisation des communes de la Réunion

a. Contexte géographique

L'île de la Réunion présente un climat tropical humide, & à l'instar de l'île, la commune de Saint Leu est caractérisée par deux grandes saisons :

- L'hiver austral, période fraîche et sèche allant de Mai à Novembre,
- L'été austral, temps chaud et humide de Décembre à Avril.

Saint Leu est bien desservie par le réseau routier ceinturant l'île, puisque la commune est traversée par la RN1 reliant Le Port à St Pierre au niveau du littoral, et par la RD3 dans les hauts.

Sa superficie est de 11 837 ha.

La topographie de la commune correspond :

- d'une part à une bande littorale étroite et plane, correspondant à la baie de St Leu comprise entre la Pointe des Châteaux et la Pointe au Sel et en partie bordée :
 - soit par des falaises rocheuses,
 - soit, en son centre, par un littoral sableux donnant sur le récif corallien de St Leu.

- d'autre part au versant ouest (Planèzes) du massif du Piton des neiges dont les pentes varient du littoral au sommet entre 15 et 35%.

L'altitude de la commune varie de 0 m NGR à 1000 m NGR au niveau du secteur Vaudeville et jusqu'à 2500 m NGR au niveau du rempart du Cirque de Cilaos.

La commune est limitée de part et d'autre par 2 ravines :

- La Ravine des Avirons au Sud ;
- Petite Ravine au Nord.

b. Contexte climatique

➤ Pluviométrie

Les données fournies par la station pluviométrique située au niveau du village de St Leu sont représentatives des caractéristiques pluviométriques rencontrées sur le littoral de St Leu.

La fin du printemps et l'été (Décembre à Avril) sont les périodes les plus pluvieuses avec un maximum marqué en février.

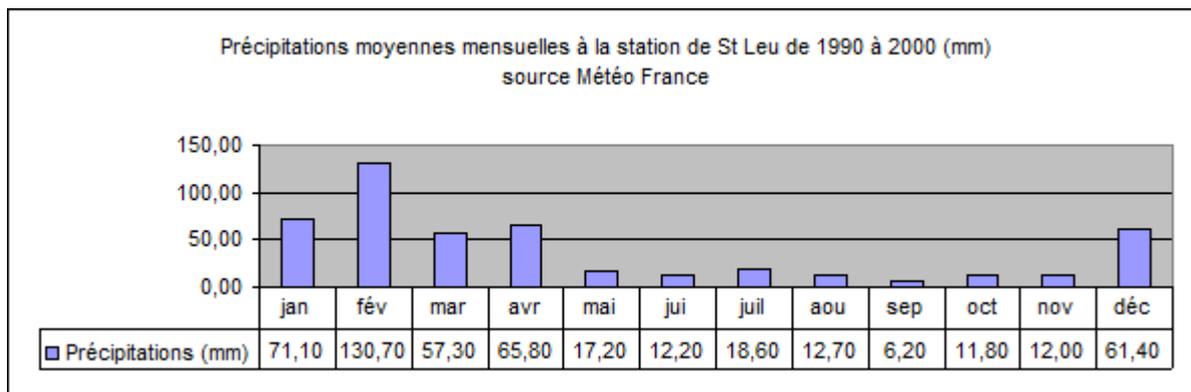


Figure 2 : Précipitation moyenne de Saint Leu (Source : SDAEP)

La hauteur des précipitations moyennes annuelles sur St Leu est de 493,5 mm/an. Ces précipitations se répartissent suivant :

- 81% des précipitations entre décembre et Avril avec une moyenne mensuelle de 77.3 mm/mois ;
- 19% des précipitations entre mai et novembre avec une moyenne mensuelle de 12.9 mm/mois.

Néanmoins, les précipitations varient fortement entre la côte et les hauts de la commune comme au niveau du village de la Chaloupe St Leu où la hauteur des précipitations moyennes annuelles est de 1166.3 mm/an soit 2.4 fois supérieure : cette différence étant surtout marquée lors de la saison des pluies de décembre à mars

➤ Température

Modélisation du réseau d'eau potable de la commune de Saint Leu (Réunion)

Au cours de l'année 1998, les températures maximales ont été atteintes au cours du mois de février avec des valeurs atteignant 32.3 degrés Celsius. Le minimum a été atteint au cours du mois de septembre 1993 avec 10.7 degrés Celsius.

La distribution des températures moyennes à St Leu Mascarins est uniforme sur l'ensemble de l'année et caractéristique du climat chaud de la côte sous le vent.

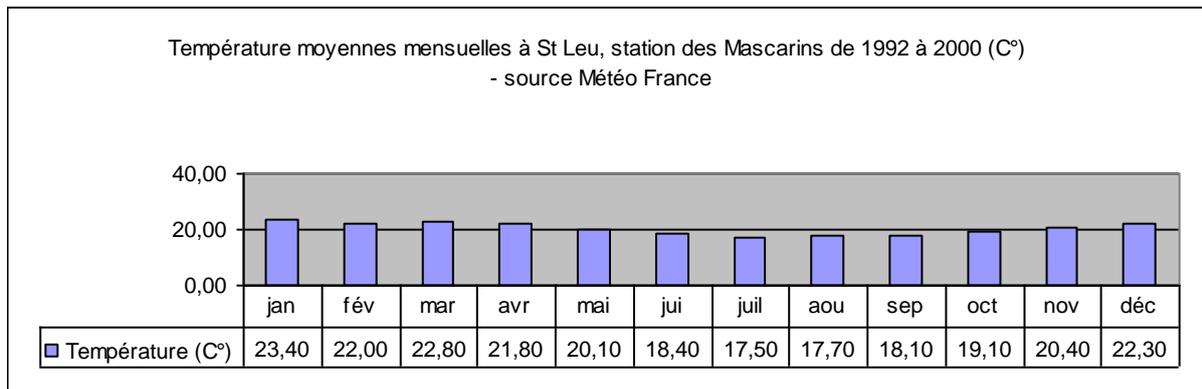


Figure 3 : Température moyenne de Saint Leu (Source : SDAEP)

En revanche, la commune bénéficie de 148 jours où la température maximale dépasse les 25 °C.

Nombre de jours où T° > 30 °C	Nombre de jours où T° > 25 °C
2,5	147.6

Tableau 1 : Températures maximales Saint Leu

La commune de St Leu est divisée en plusieurs régions climatiques directement dépendantes de la topographie locale :

- région chaude et sèche sur le littoral au-dessous de 200 à 300 m ;
- région chaude et humide (Subtropical) à région tempérée (Hauts sous le vent) entre 300 et 900 m ;
- région tempérée d'altitude entre 900 et 1100 m.

D'autre part, La Réunion étant une île tropicale, son climat se caractérise par l'existence d'une saison cyclonique pouvant être marquée par des pluies diluviennes accompagnées de vents pouvant atteindre plus de 200 km/h. La commune de St Leu située sous le vent est néanmoins « plus à l'abri » de ces événements climatiques, 2/3 de ces dépressions abordant la région par l'Est ou le Nord.

c. Contexte urbain

→ Démographie

Modélisation du réseau d'eau potable de la commune de Saint Leu (Réunion)

La population de la commune de Saint Leu en 2018 s'élève à 33 701 habitants (Source INSEE).

Au recensement de 1990, la population de Saint-Leu était de 20 931 habitants ce qui plaçait la commune au dixième rang des communes de l'île.

En 1999, Saint-Leu présentait une population de 25 314 habitants, soit 21% de plus qu'en 1990 (source INSEE) ;

Sur ces périodes intercensitaires, le taux d'accroissement annuel moyen est passé de 1,76 % (1982-1990) à 2,12 % (1990-1999) :

Nettement supérieurs à la moyenne Réunionnaise sur la deuxième période intercensitaire (taux respectifs de 1,86 % et 1,85 %), ces taux de variation traduisent l'attractivité de Saint-Leu du point de vue de l'emploi éventuellement, mais surtout du logement, de la présence d'un grand axe routier et d'espaces disponibles à des coûts fonciers abordables.

Inférieur à celui de la micro-région Ouest sur la période 1982-1990, le taux de variation de Saint-Leu a dépassé légèrement ce dernier sur 1990-1999. La commune joue un rôle résidentiel par rapport au pôle d'activité côtier voisin de Saint-Paul.

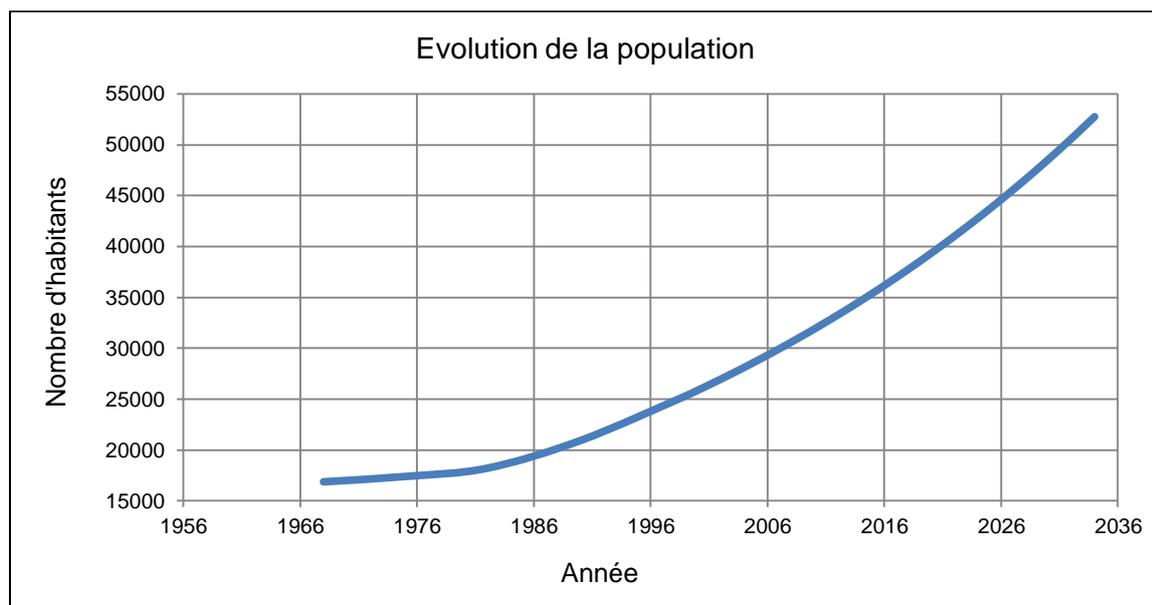


Figure 4 : Evolution de la population de la commune de Saint Leu

→ Activité

Pour cette étude il est important de considérer les différentes activités présentes sur l'aire d'étude afin de voir l'impact que chacune d'elle pourrait avoir sur la variation de la demande en eau.

A Saint-Leu, il n'y a pas d'industriel, & on rencontre sur l'aire d'étude quelques fermes d'exploitations agricoles, des structures touristiques (hôtel, chambre d'hôte, gîte du fait des activités touristiques), et on note également des consommateurs municipaux et des consommateurs collectifs (hôpitaux, collège,...). Les abonnés dont la consommation dépasse 2000 m³ sont considérés comme les gros consommateurs.

3. Présentation du réseau AEP de Saint-Leu

a. Les ressources

Le service de l'eau de la commune de Saint Leu (production, distribution et entretien) est assuré par un délégataire, à savoir la société DERICHEBOURG Aqua qui remplace depuis Juillet 2017 la CISE Réunion (filiale de la SAUR).

Le réseau d'eau potable de Saint Leu est alimenté d'une part par une ressource souterraine et une ressource superficielle, qui constituent la production propre de la commune, et d'autre part, par des apports externes en eau (réseau d'irrigation SAPHIR).

Concernant la production, DERICHEBOURG Aqua est gestionnaire d'une partie de la ressource souterraine et superficielle produite sur le secteur. L'autre partie provient des apports :

- du périmètre irrigué du Bras du Cilaos, et du forage Fond Petit Louis (propriété du Conseil Général), géré par la SAPHIR ;
- du périmètre irrigué ILO (Irrigation du Littoral Ouest) propriété du Conseil Général, et géré par la SAPHIR ;
- Des interconnexions avec la commune des Avirons.

Il existe des conventions d'achat pour la fourniture d'eau entre la commune de Saint Leu et le Département (Conseil Général).

La production d'eau brute au niveau de la commune est ainsi assurée à partir d'une ressource destinée à l'usage AEP unique, et à partir d'une ressource d'eau brute (Apports Bras de Cilaos et ILO) destiné à un usage de type : irrigation, industriel et AEP.

Les principales ressources souterraines et superficielles qui participent à l'alimentation en eau de la commune sont les suivantes :

➤ **Ressource superficielle :**

- Captages Bras de Jeanne

➤ **Ressources souterraines :**

- Puits Grande Ravine ;
- Forage Petite Ravine 1

➤ **Apports SAPHIR à partir du réseau du Bras du Cilaos et du forage Fond Petit Louis:**

Les apports d'eau de la SAPHIR sont situés au niveau des réservoirs du Maduran, Entre-Deux et Petite Ravine. Les apports du forage Petit Louis sont réalisés vers le réservoir Petite Ravine1.

➤ **Apports ILO au niveau de la station du Plate**

➤ **Apports de la commune des Avirons au niveau de Bois Blanc (marginal)**

Ressources superficielles

Elles étaient au nombre de 2 : les sources groupées du Bras de Jeanne, et le captage du Cap. Présentement, le captage du Cap étant à sec, les captages du Bras de Jeanne constituent la seule ressource superficielle propre de la commune.

Le Bras de Jeanne présente un débit d'étiage observé pouvant varier de 7 l/s en année normale à 1,5 l/s seulement en année sèche, voire nul en étiage sévère. Le débit moyen annuel peut ainsi varier de 11 l/s à 26 l/s selon l'année, avec des pointes à plus de 45 l/s en bonne période.

Le captage du Cap n'est plus utilisé.

Malgré l'irrégularité de la ressource disponible aux captages (selon le captage, la période dans l'année et l'année considérée), celle-ci est globalement utilisée au mieux et dessert les zones des hauts (secteur Boulanger et le Plate) en priorité, tandis que l'eau venant du bas est refoulée en complément.

Ressources souterraines

A l'origine au nombre de quatre (puits des Colimaçons, puits de la Grande Ravine, forage de la Petite Ravine et forage de l'Entre Deux), elles ne sont aujourd'hui plus que deux à être utilisées dans l'AEP communal, en raison de la présence avérée de chlorures à des taux importants dans la composition de l'eau du puits des Colimaçons et du forage de l'Entre Deux – laissant supposer une contamination des nappes exploitées par le biseau salé, suite vraisemblablement à leur sollicitation trop conséquente et étant donné leur proximité avec le littoral.

Le puits de la Grande Ravine et le forage de la Petite Ravine sont exploités de façon irrégulière dans l'année, mais de façon assez régulière d'une année sur l'autre (sauf année d'étiage très sévère). Leurs capacités de production sont respectivement de 220 et 70 m³/h (débit d'équipement des pompes). Si leur production réelle fluctue selon la période de l'année, c'est qu'elle est en fait directement liée à la production des captages des Hauts.

Ainsi, on observe conjointement sur ces deux ressources des productions maximales aux périodes sèches de l'année (fin de l'étiage) pour compenser le manque de ressources superficielles, et minimales aux périodes les plus favorables (milieu de la saison des pluies) où les captages donnent le plus.

L'estimation de la capacité de production optimale de ces ouvrages est basée sur leur débit d'exploitation nominal et un temps d'exploitation de 20 heures maximum selon les informations fournies par l'exploitant ; dans l'idéal, ces 20 heures de pompage ne doivent être atteintes qu'en période de pointe.

Ressources importées

Une part importante de l'eau distribuée sur la commune de St Leu est de l'eau dite « d'import », car achetée soit à la Commune des Avirons, soit à la SAPHIR.

L'achat d'eau à la Commune des Avirons ne représente qu'un très faible volume, consacré exclusivement à l'alimentation du secteur Bois Blanc, de petite envergure. Le volume d'eau distribué en moyenne en 2018 était de 34 m³/j, donc négligeable sur l'ensemble de l'eau distribuée sur la Commune de Saint-Leu. Ce volume est néanmoins primordial pour les habitants de Bois Blanc puisqu'il n'existe aucune autre alternative pour les alimenter.

L'achat d'eau à la SAPHIR est lui beaucoup plus conséquent : les volumes importés représentent plus de 70 % des volumes distribués sur la Commune en 2018. La Commune dispose de 4 prises sur le réseau de la SAPHIR :

- Les prises SAPHIR 1, 2 & 3, alimentant respectivement les réservoirs Maduran, Entre Deux et Grand Fond, délivrent de l'eau en provenance du Bras de Cilaos. La prise SAPHIR 3 (Grand Fond) n'est actuellement plus utilisée. Les débits maximaux d'achat sur ces prises sont fixés à 540 m³/h (par prise) ; en 2018 l'achat a varié de 6 713 m³/j à 6 926 m³/j sur Maduran, et de 1 080 m³/j à 1 115 m³/j sur l'Entre Deux selon la saison.
- La prise SAPHIR 4, alimentant le réservoir Petite Ravine 1, délivre de l'eau en provenance du forage Fond Petit Louis. Cet ouvrage est certes la propriété de la SAPHIR, mais il ne sert qu'à l'alimentation en eau potable de Saint-Leu. Le débit maximal disponible sur cette ressource est fixé à 75 m³/h ; en 2018, l'achat était de 1 026 m³/j en moyenne.

Les caractéristiques des différentes ressources sont décrites dans les tableaux suivants :

Ouvrages de prélèvement d'eau brute :

Nom de l'ouvrage de prélèvement	Type d'ouvrage	Année de mise en service	Débit autorisé en m ³ /jour	N°BRGM
Puits Grande Ravine	Puits	1990	4154	12266X0070
Forage Petite Ravine 1	Forage	1974	1032	12266X0053
Bras de Jeanne	Captage Superficiel	-	2700	

Tableau 2: Ouvrages de prélèvement d'eau brute

b. Les installations de production

En 2018, les principales sources de production propres de la commune sont le puits Grande Ravine, le forage Petite Ravine et le captage Bras de Jeanne qui représentent **28 %** de l'eau mis en distribution à Saint Leu, tandis que les imports d'eau des réseaux gérés par la SAPHIR (Fond Petit Louis, Maduran, Entre-Deux, RE8) et les Aviron (Bois Blanc) constituent **72 %** de l'eau distribuée.



Figure 5 : Station de potabilisation du Plate (Source : RAD 2018)

Libellé	Année de mise en service	Capacité nominale	Nature de l'eau	Télesurveillance	Groupe électrogène
Réservoir Entre-Deux	2003	90 m ³ /h	Superficielle : Rivière	Oui	Non
Puits Grande Ravine	2003	220 m ³ /h	Souterraine : Nappe	Oui	Oui
Réservoir Maduran	1991	71 m ³ /h	Superficielle : Rivière	Oui	Non
Forage Fond Petit Louis	2001	75 m ³ /h	Souterraine : Nappe	Oui	Oui
Forage Petite Ravine1	1991	70 m ³ /h	Souterraine : Nappe	Oui	Oui
Station de traitement du plate	2011	385 m ³ /h	Superficielle : Rivière + ILO	Oui	Oui

Tableau 3 : Installations de production

Traitement

Les eaux pompées font l'objet d'une désinfection au chlore gazeux par injection au niveau des conduites de refoulement ou dans les réservoirs (Maduran, Entre-Deux et Petite Ravine). Il existe une station de traitement au niveau du Plate qui a été mise en service en 2011. La station de potabilisation du Plate d'une capacité nominale de 385 m³/h traite l'eau du réseau de l'ILO et du Bras de Jeanne, & assure un traitement physico-chimique classique et une désinfection par chlore de l'eau distribuée.

Les autres ressources superficielles (injections SAPHIR) ne sont pas traitées autrement que par chloration, et en période de fortes pluies, la qualité de l'eau du secteur Maduran n'est pas conforme du fait de la turbidité ; dans son dernier rapport annuel de délégataire, l'exploitant avait signalé l'urgence de la réalisation de la station de potabilisation de MADURAN (l'appel d'offre pour la construction de cette station a été lancé en Mai 2019).

	2017 (2ème Semestre)	2018
Taux de conformité microbiologique	98.15 %	99.0 %
Taux de conformité physico-chimique	100 %	96.1 %
Nombre d'échantillons analysés ARS	108	102
Nombre de prélèvements sur le réseau autocontrôle (chlore libre, chlore total, turbidité) Derichebourg	220 prélèvements 660 paramètres	438 prélèvements 1254 paramètres
Taux de conformité eau traitée à l'usine du Plate	100 %	100 %

Tableau 4 : Qualité de l'eau distribuée

Les non-conformités sont enregistrées au niveau des sites Maduran et Entre Deux qui sont les points de fourniture d'eau issus du réseau d'irrigation de la SAPHIR. Lors des fortes pluies, la qualité de l'eau superficielle est dégradée et ne permet donc pas de répondre aux exigences de conformité sanitaire. Le simple traitement par chloration n'est pas suffisant dans ces cas et la mise en place d'unité de potabilisation est nécessaire pour ces 2 sites (*en cours pour Maduran*).

Quand la qualité de l'eau distribuée est dégradée l'exploitant adresse un communiqué aux abonnés en les conseillant de ne pas consommer l'eau pour la boisson ou à défaut de faire bouillir l'eau pendant 3 minutes avant toute consommation.

c. Le réseau AEP

Selon le rapport annuel du délégataire (RAD) de 2018, le service délégué recouvre l'alimentation en eau potable de 15 341 abonnés sur la commune de Saint Leu.

Le patrimoine du service est constitué de :

- 3 ouvrages de prélèvement d'eau brute ;
- 7 unités de chloration (Maduran, Etang, Forage Petit Louis, Forage Petite Ravine ; Boulanger, Grande Ravine, Entre Deux) ;
- 19 réservoirs de stockage ;
- 6 bâches de reprises et de surpression ;
- 329.8 Km de réseau.

Les bâches de reprise et de surpression :

Nom de la bâche	Capacité de stockage	Télesurveillance
Bâche ENTRE DEUX	600 m ³	Oui
Bâche INTER BRAS MOUTON	30 m ³	Oui
Bâche GRAND FOND	150 m ³	Oui
Bâche INTER PIVETEAU	90 m ³	Oui
Bâche LEONARD TECHER	40 m ³	Oui
Bâche VAUDEVILLE	40 m ³	Oui

Tableau 5 : Bâches de Reprise

Les ouvrages de stockage :

Libellé	Capacité de stockage (m ³)	Cote trop plein (m)	Cote Radier (m)	Cote Sol (m)	Télésurveillance
BOULANGER	1500		900	900	Oui
LA VILLE	400		70	70	Oui
PLATE 2	1000	838	835	835	Oui
PLATE 3	1000	935	930	930	Oui
ECOLE	60		560	560	Non
ETANG	800		460	460	Oui
N.D CHAMPS	1500	942	940	940	Non
PETITE RAVINE 1	600	144.5	140	140	Oui
PETITE RAVINE 2	400	744	740	740	Oui
PITON 800	800	338	335	335	Oui
PIVETEAU	400	624	620	620	Oui
GRANDE RAVINE	600	92.7	90	90	Oui
SAFER	300	84	80	80	Non
VAUDEVILLE	600	992.8	990	990	Oui
BRAS MOUTON	1000	523	520	520	Oui
LELIEVRE	1000	165	160	160	Non
LEONARD TECHER	600	962	960	960	Oui
MADURAN	1000	264.5	260	260	Oui
PITON 1000	1000	397	394	394	Oui

Tableau 6 : Ouvrages de stockage



Figure 6 : Réservoir Maduran

Les installations de surpression :

Comme sur une grande partie de l'île, la commune de Saint-Leu est constituée de relief montagneux, et pour desservir les secteurs Hauts de Saint-Leu, 12 stations de reprise et 9 stations de surpression sont installées sur le réseau.

Ces stations de surpression permettent d'assurer la bonne desserte en eau en apportant l'énergie nécessaire pour vaincre la dénivelée très importante (environ 900 m entre le centre-ville de Saint-Leu et le secteur Vaudeville) et soulager les abonnés situés loin des réservoirs.

La liste de ces installations est présentée dans le tableau ci-après :

Désignation	Année de mise en service	Débit nominal	Télesurveillance	Description
Reprise D'INTER BRAS MOUTON	1978	100 m ³ /h	Oui	-
Reprise ÉCOLE BRAS MOUTON	1978	14 m ³ /h	Oui	-
Reprise ENTRE DEUX	1979	100 m ³ /h	Oui	-
Reprise GRAND FOND	1997	125 m ³ /h	Oui	-
Reprise GRANDE RAVINE	1996	120 m ³ /h	Oui	-
Reprise INTER PIVETEAU	1982	120 m ³ /h	Oui	-
Reprise LEONARD TECHER	1987	50 m ³ /h	Oui	-
Reprise MADURAN	1991	30 m ³ /h	Oui	-
Reprise PETITE RAVINE 1	1998	120 m ³ /h	Oui	-
Reprise PETITE RAVINE 2	1985	120 m ³ /h	Oui	-
Reprise PIVETEAU	1986	120 m ³ /h	Oui	-
Reprise VAUDEVILLE	1987	70 m ³ /h	Oui	-
Surpresseur BANCOULE	2005	10 m ³ /h	Oui	-
Surpresseur DUGUET	2016	0 m ³ /h	Oui	-
Surpresseur EMMANUEL PAYET	2009	30 m ³ /h	Oui	Surpression pour le secteur Emmanuel Payet
Surpresseur PIFFARELY	2009	30 m ³ /h	Oui	-
Surpresseur PLATEAU	2003	5 m ³ /h	Oui	Vers lotissement Plateau
Surpresseur POINTE DES CHATEAUX	2006	20 m ³ /h	Non	-
Surpresseur SAGOUS	2010	5 m ³ /h	Oui	-
Surpresseur Saint CRISTOPHE	2002	10 m ³ /h	Oui	Vers Saint Christophe
Surpresseur TI JEAN	2004	5 m ³ /h	Oui	Réseau surpressé Ti Jean

Tableau 5 : Stations de reprise et surpression

Equipements Electriques et d'Automatisme :

La production de l'eau est assurée par un système de pompage géré par le logiciel de télégestion TOPKAPI ; ainsi à l'aide des enclenchements et arrêts asservis aux niveaux d'eau (seuil bas, seuil haut) des différents réservoirs, les pompes démarrent et s'arrêtent pour emplir des tranches d'eau dans les réservoirs, tout en fonctionnant en alternance afin de maintenir leur durée de vie.

La télégestion est assurée par l'outil de supervision TOPKAPI qui permet :

- De centraliser l'ensemble de données issues des ouvrages liés au service eau potable ;
- De traiter les données ;
- De transmettre les données aux agents ;

- De générer un appel/message en cas de dysfonctionnement.

Les données gérées proviennent de sondes, capteurs, automates présents sur les différents sites. L'outil est utilisé en tant que :

- Outil de téléalarme-télécommande : TOPKAPI permet de réagir sans délai par mobilisation des intervenants nécessaires ou par commande à distance,
- Outil de télégestion-communication : TOPKAPI permet d'optimiser l'exploitation et de présenter les résultats synthétiques,
- Outils d'archivage : il permet de conserver une traçabilité des données de fonctionnement des stations ainsi recueillies,
- Outil d'analyse : il permet également à l'exploitant d'identifier les insuffisances des installations et d'anticiper les dysfonctionnements.

La liste des consignes des pompes et régulation est jointe en Annexe 3

Equipements de régulation et de protection:

Le réseau de Saint-Leu, de par sa configuration en zone montagneuse, nécessite de nombreux équipements hydrauliques pour réguler la pression, de telle sorte que les abonnés puissent avoir l'eau à une pression de service acceptable ; ainsi plusieurs réducteurs de pression sont installés sur le réseau afin de réduire la pression et permettre aux particuliers d'utiliser les appareils électroménagers sans les endommager.

Le tableau 8 ci-dessous présente les équipements du réseau AEP :

Type d'équipement	Nombre
Accélérateur	1
Boite à boue	16
Clapet	3
Compteur (production, distribution, sectorisation)	89
Défense incendie (PI/BI)	296
Plaque d'extrémité	449
Régulateur/Réducteur	200
Robinet Vanne	1137
Ventouse	288
Vidange	262

Tableau 6 : Equipements hydrauliques du réseau

Les conduites d'adduction et de distribution :

Type de réseau	Longueur (m)
Distribution	285 961
Refoulement/Distribution	8 776
Refoulement	29 900
Adduction	5 212
TOTAL	329 848

Tableau 7 : Conduites d'adduction et de distribution

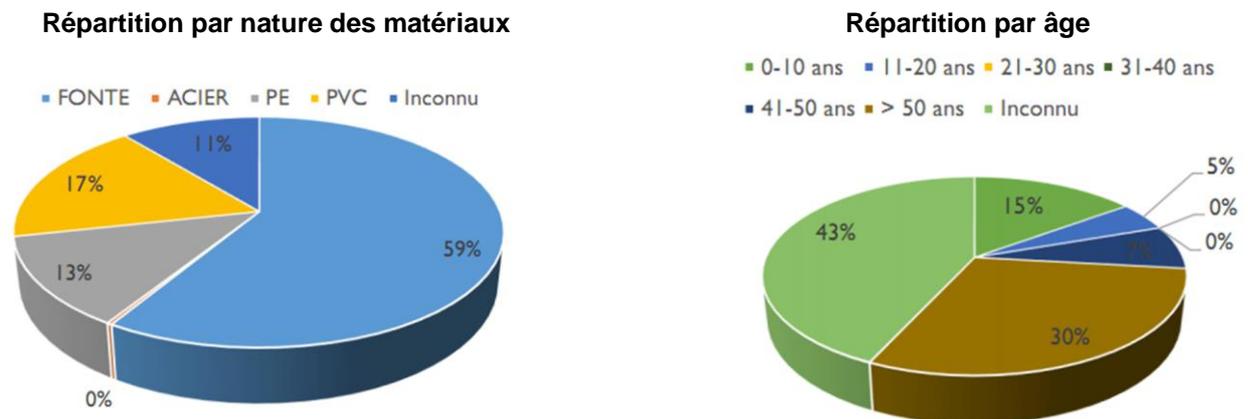


Figure 7 : Répartition nature et âge des conduites (Source: RAD 2018)

Le linéaire total du réseau est de 329,8 km ; le réseau est constitué majoritairement de conduite en Fonte qui représentent 59 % du linéaire total, de 13 % de conduite en PEHD, de 17% de conduites en acier ; la nature de 11% des conduites n'est pas connue.

Sur le graphique de droite nous pouvons remarquer que 30 % des conduites ont plus de 50 ans : c'est-à-dire que ces conduites sont très anciennes - ce qui explique en grande partie les fuites importantes sur le réseau et son mauvais rendement.

En 2019, certains travaux avaient été programmés par l'exploitant suivant son rapport annuel de 2018 afin d'améliorer la distribution en eau ; ces travaux concernaient :

- Les canalisations en acier galvanisé, vétustes et fragiles,
- La conduite principale du secteur Maduran DN 150 à réhabiliter en DN 300,
- La conduite principale DN 110 de la rue Cassiopée, à réhabiliter en DN 150,
- Zone G2 (Maduran) : la conduite principale DN 90 à réhabiliter en fonte DN 150,
- Secteur Piton 800 : l'installation d'une conduite fonte en DN 150 mm minimum pour remplacer les réseaux en acier galvanisé en service, afin d'avoir une alimentation correcte des abonnés et assurer la défense incendie,
- L'alimentation du réservoir Lelièvre à partir de Maduran en DN 300 fonte pour permettre à la ZAC Four à Chaux d'être alimentée correctement : à réaliser en urgence,
- Remplacement de la conduite d'adduction entre le Plate et la Chaloupe (canalisation en DN175 acier et certains tronçons DN 200 fonte) très vétuste et fuyarde,
- L'étude de faisabilité pour remplacer la conduite située à la limite des réseaux Piton 800 et Piton 1000,

Pendant la période de ce stage, les travaux ont été effectués sur le CD 12 partie basse, le secteur Maduran (chemin Mazeau et la rue Cassiopée) et le secteur du Plate.

Les ouvrages de défense incendie :

Les obligations des communes en matière de défense contre l'incendie sont fixées par la

Modélisation du réseau d'eau potable de la commune de Saint Leu (Réunion)

circulaire du 10 décembre 1951 concernant les zones à usage d'habitation. La mise en place du dispositif de protection contre l'incendie est constituée par la mise à disposition d'un débit de 60 m³/h pendant 2 heures à partir d'un réseau d'eau ou des réserves alimentées ou non par un réseau.

Selon la réglementation, un poteau d'incendie couvre une zone située dans un rayon de 400 m via les cheminements praticables par les sapeurs-pompiers, et en cas de citerne, le volume minimal de la citerne est de 60 m³ (**Circulaire interministérielle n°465 du 10 Décembre 1951**).

On compte sur le réseau 296 poteaux et bornes d'incendies ; selon DERICHEBOURG, le débit en sortie d'une majorité des poteaux d'incendie ne respecte pas 60 m³/h (cf. RAD 2018).

Le renforcement des réseaux en amont de ces poteaux est donc nécessaire afin que la défense incendie soit respectée.

Le comptage :

Sur le réseau, 89 compteurs (hors branchements particuliers) sont installés pour la production, distribution et la sectorisation du réseau AEP.

L'exploitant relève à l'aide de ces compteurs :

- les débits d'eau produits pour veiller à ne pas dépasser les débits maximums d'eau à prélever pour les ressources,
- pour la distribution : le comptage est nécessaire afin de connaître la quantité d'eau consommée par les usagers,
- les compteurs de sectorisation permettent à l'exploitant de surveiller la quantité d'eau consommée par secteur afin de déceler toutes anomalies et détecter les fuites ponctuelles sur le réseau, facilitant ainsi leur recherche. Pendant les travaux en 2019 (période de ce stage), certains compteurs de sectorisation ont été installés.

En plus de ces compteurs, au 31/12/2018, DERICHEBOURG gérait un parc de 15 426 compteurs d'abonnés sur l'ensemble du réseau de la commune de Saint Leu. La répartition par âge et par diamètre est présentée dans le tableau ci-dessous :

PYRAMIDE DES AGES COMPTEURS								
Age	Année	DIAMETRE						TOTAL
		15 mm	20 mm	30 mm	40 mm	> = 50 mm	> = 100 mm	
34	1985	1						1
29	1990	1			1		1	3
28	1991	1						1
26	1993	1						1
25	1994	1					1	2
23	1996	3			1	1		5
22	1997	5						5
21	1998	7			1			8
20	1999	14			2			16
19	2000	44	1			1		46

Modélisation du réseau d'eau potable de la commune de Saint Leu (Réunion)

18	2001	147		1			1	149
17	2002	369		1	3			373
16	2003	370			3	1		374
15	2004	470		1				471
14	2005	808			4	2		814
13	2006	1 049			8	8		1 059
12	2007	1 048		4	3		1	1 056
11	2008	1 193		2	3	4		1 202
10	2009	1 165	1	1	8	1		1176
9	2010	872		6	3	3		884
8	2011	1 041		3	4	4		1 052
7	2012	819		4	4	7		834
6	2013	889		3	5	1		898
5	2014	739	3	1	5	5	2	755
4	2015	979	1	3	6	2	1	992
3	2016	1157		10	7	6	1	1181
2	2017	649	6	1	3	9	1	669
1	2018	911	8	1	9	4	1	934
0	2019	460		1	1	2	1	465
		15 213	20	43	84	55	11	15 426

Tableau 8 : Age compteurs

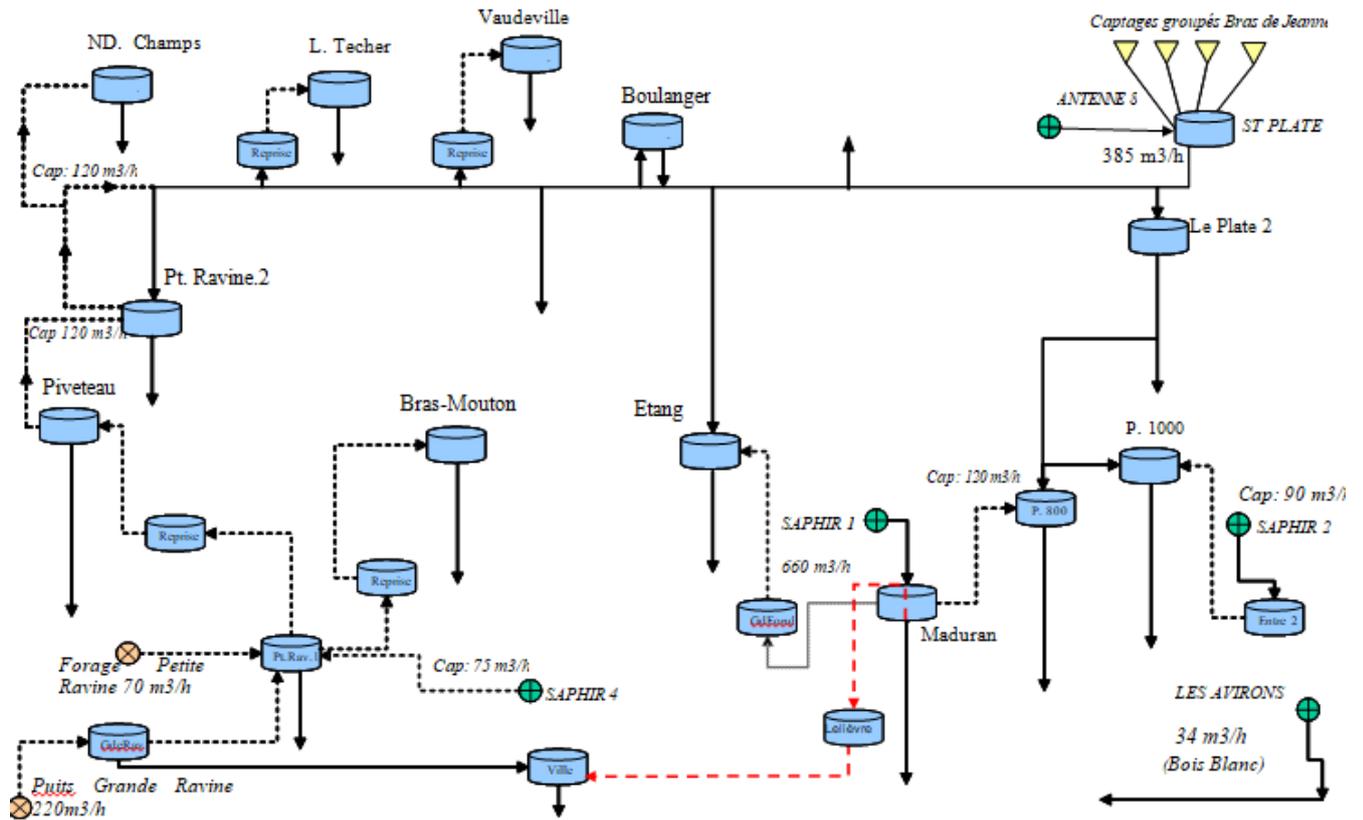
L'âge moyen du parc compteur est de **8.3 ans**.



Figure 8 : Chambre des vannes du réservoir Maduran

Le principe de fonctionnement du réseau est présenté sur la page suivante :

Modélisation du réseau d'eau potable de la commune de Saint Leu (Réunion)



Ressources 2018 : Commune de Saint Leu	
Puits de la Grande Ravine :	3819 m3/j
Forage Petite Ravine :	554 m3/j
SAPHIR 4 Forage Petit Louis :	1026 m3/j moyen
SAPHIR 1 Maduran :	6364 m3/j
ST LE PLATE :	7000 m3/j

Figure 9 : Synoptique de fonctionnement

Conclusion :

Les ressources en eau de la commune de Saint Leu sont issues de 2 ressources souterraines (forage Petite Ravine 1 et puits Grande Ravine), et d'une ressource superficielle (les captages Bras de Jeanne) partagée par les collectivités de Saint Leu et celles de la commune des Avirons. Ces ressources constituent la production propre de la commune qui était de 4 787 m³/j sur un volume moyen total de 17 123 m³/j distribué en 2018.

L'eau est traitée par une désinfection au chlore au niveau des réservoirs et à la station de traitement du Plate qui a une capacité de production de 385 m³/h. La station de traitement du Plate reçoit les eaux du captage Bras de Jeanne et du branchement SAPHIR RE8 (réseau ILO) : en fonction de la période d'étiage des sources Bras de Jeanne, la demande SAPHIR est ajustée afin de répondre aux besoins d'eau traités par la station (partie haute de la Commune).

Le puits Grande Ravine qui représente à lui seul 22 % de la production d'eau propre de la commune, est dans un état de vétusté très avancé, et nécessite une réhabilitation complète, à faire en urgence, selon l'exploitant du réseau : en effet les canalisations de refoulement présentent un état de corrosion avancé, avec des fuites au niveau de certaines brides.

L'eau traitée est de bonne qualité selon les analyses effectuées par l'ARS ; cependant en période de fortes pluies, la qualité de l'eau issu de l'irrigation (Apports SAPHIR Maduran et Entre-Deux) est dégradée et ne répond pas aux exigences de critères de conformité sanitaire du fait par la turbidité (> 1 NFU). Un appel d'offre a été lancé en Mai 2019 afin de construire la station de potabilisation du Maduran.

La commune possède 19 réservoirs de stockage avec un volume total de 14 960 m³ et une réserve incendie installée sur le secteur Piton (volume non connu), 6 bâches de reprises et 9 surpresseurs.

Le réseau est constitué de 329,848 km de conduites, 296 accessoires incendies, 200 réducteurs de pression ; plus de 30% des conduites ont plus de 50 ans. L'état dégradé de certaines conduites favorise les fuites et explique le mauvais rendement du réseau. La conduite fonte DN150 du secteur Maduran, qui était sous-dimensionnée, a été réhabilitée pendant cette étude, avec d'énormes changement du mode d'alimentation, afin de soulager ce secteur.

Les travaux et études sont également en cours pour le secteur Piton et Plate : dans notre étude, nous avons pris en compte des éléments nouveaux afin de mettre à jour le réseau et mieux adapter le modèle à la réalité.

II. BILAN BESOIN RESSOURCES

Le bilan besoin ressource est effectué en comparant les besoins d'eau à distribuer pendant les périodes de pointe aux capacités de production des différentes ressources. Il est calculé pour la situation la plus défavorable, qui est celle des mois de septembre à novembre, quand la demande en pointe des réseaux se conjugue avec l'étiage des ressources disponibles.

Ce calcul est réalisé pour la situation actuelle.

1. Capacité de production actuelle de la commune

Le prélèvement effectué par la commune ne doit pas dépasser certains volumes autorisés pour la préservation des ressources en eau, au titre de la loi sur l'Eau. Le tableau 11 présente les débits autorisés pour chaque ressource. L'eau distribuée sur le réseau est produite à 28% par les ressources propres qui sont le forage Petite Ravine et le Puits Grande Ravine, tandis que le reste des besoins en eau de la commune est assuré par des achats d'eau SAPHIR (72%).

Les volumes produits et achetés sont comptabilisés ainsi:

- Les Puits et forages sont équipés de compteurs en sortie ;
- Les achats SAPHIR sont comptabilisés au niveau des différents points d'apport (réservoirs)
- Les réservoirs sont équipés de compteur.

Le tableau suivant présente les capacités de production des différentes ressources :

Ressources actuelles	Capacités en m ³ /j					
	Nominal	%	Etiage Moyen	%	Etiage Sévère	%
Forage Petite Ravine	1 260	6%	1 260	7%	1 260	7%
Puits Grande Ravine	3 960	18%	3 960	21%	3 960	21%
Total Ressources Souterraines	5 220	24%	5 220	28%	5 220	28%
Captages Bras de Jeanne	3 888	18%	605	3%	0	0%
Total Ressources Superficielles	3 888	18%	605	3%	0	0%
Bras de Cilaos SAPHIR 1	6 364	30%	6 722	36%	6 926	37%
Bras de Cilaos SAPHIR 2	1 057	5%	1 100	6%	1 155	6%
Petit Louis (SAPHIR)	1 026	5%	1 069	6%	1 115	6%
Bois Blanc	34	0%	34	0%	51	0%
Antenne RE8 (SAPHIR)	3 854	18%	4 181	22%	4 266	23%
Total Imports	12 335	58%	13 106	69%	13 513	72%
Total Ressources	21 443	100%	18 931	100%	18 733	100%

Tableau 9 : Capacité de production de Saint Leu

Remarque : il est rappelé que les chiffres figurant dans le tableau ci-dessus sont des **capacités de production** et ne traduisent pas nécessairement les conditions d'exploitation actuelles. Pour les ressources superficielles, ces capacités sont évaluées à partir des données recueillies, des situations observées. Pour les autres ressources, il s'agit :

- soit des capacités de production sur un temps de pompage journalier maximum recommandé de 18 h/j (forage Petite Ravine et Puits Grande Ravine),
- soit des capacités d'achat constaté en 2018 au niveau des prises SAPHIR selon le rapport annuel de l'exploitant,
- soit de l'achat moyen constaté sur Bois Blanc (sachant que le volume acheté pourra évoluer avec l'augmentation des besoins).

Le volume d'eau mis en distribution en 2018 se présente de la façon suivante :

	Volume journalier moyen (m³)	Volume annuel (m³)
Production propre	4 788	1 747 610
IMPORTS (Achats d'eau)	12 335	4 502 216
Production totale	17 123	6 249 826

Tableau 10 : Volume distribué en 2018

On remarque que la commune de Saint Leu n'a produit que 27,96 % de l'eau distribuée en 2018, tandis que 72,04 % de l'eau est acheté auprès de la SAPHIR, ce qui démontre la forte dépendance de la commune à l'achat d'eau brute extérieur. En Août 2018, suite à des travaux de la SAPHIR sur la canalisation du Bras de Cilaos, les points d'alimentation de Maduran et du réservoir Entre-Deux représentant 43 % de l'eau disponible à Saint Leu ont été interrompus pendant plus de 24 heures. Cette coupure a mis de nouveau en avant la faible capacité des réservoirs de Saint Leu.

2. Besoin actuel de la commune

Les besoins en eau de la commune constituent la somme des consommations et des pertes sur le réseau.

$$\text{Besoins (m}^3\text{)} = \text{Consommation (m}^3\text{)} + \text{Pertes (m}^3\text{)}$$

La consommation est le volume mesuré ou estimé au compteur de l'abonné, les pertes représentent les volumes non comptés.

a. Besoin moyen journalier

➤ Les consommations

Les volumes consommés pour chaque secteur de la commune sont donnés par les relèves de compteurs : les relèves de compteurs ont lieu deux (2) fois dans l'année : une première fois en début Août pour la période de Février – Juillet, et une seconde relève vers fin Janvier pour la période de Août - Janvier.

La consommation de la commune de Saint Leu est essentiellement liée aux consommateurs domestiques qui représentent 91 % de la consommation totale en 2018.

Modélisation du réseau d'eau potable de la commune de Saint Leu (Réunion)

Dans cette étude, est considéré comme gros consommateur (9 % de la consommation), tout abonné dont la consommation annuelle est supérieure à 2000 m³ ; parmi les gros consommateurs, on retrouve : les hôtels, les consommateurs municipaux, les consommateurs collectifs (collège, hôpitaux, stade etc...) ; il n'y a pas d'industriel à Saint Leu.

A l'aide du volume consommé on peut déterminer l'indice linéaire de consommation qui permet de caractériser le type de réseau. Cet indice est égal au volume journalier consommé comptabilisé par kilomètre de réseau (hors linéaire de branchement). Il se calcule à l'aide de la formule suivante :

$$ILC (m^3/j/km) = \text{Volume consommé (m}^3/j) / \text{Linéaire total du réseau (km)}$$

Ci-dessous, le tableau des valeurs guides de l'ILC est présenté ci-après :

Zone	ILC
Zone rurale	0 < ILC < 10
Zone intermédiaire	10 < ILC < 30
Zone urbaine	ILC > 50

Tableau 11 : Valeurs guides de l'ILC

L'évolution des volumes annuels consommés dans la commune de Saint Leu sur ces dernières années est présentée dans le tableau ci-dessous :

Année	2014	2015	2016	2017	2018
Nombre d'abonnés	13 981	14 278	14 768	15 075	15 341
Consommation moyenne (m ³ /j)	7 867	7 585	7 951	-	8 438
ILC	26,2	25,3	26,1	-	27,33

Tableau 12 : Evolution du nombre d'abonnés

Pour rappel, DERICHEBOURG a commencé l'exploitation le **01 Juillet 2017**, aussi les données complètes sur toute l'année 2017 n'étaient pas disponibles à cause du changement d'exploitant ; néanmoins, les données sur les années antérieures ont été utilisées dans le cadre de notre étude.

L'analyse des consommations montre une légère augmentation de 9,73 % du nombre d'abonnés entre 2014 à 2018, et une légère baisse de la consommation qui est passée de 563 l/j/abonné en 2014 à 550 l/j/abonné en 2018.

L'indice linéaire de consommation déterminé pour l'année 2018 est de 27,3 m³/j/km qui correspond à une zone intermédiaire.

➤ Les pertes

Le volume de pertes peut être défini par les 3 termes suivants :

- Le volume d'eau soutiré sur le réseau & non comptabilisé,
- Les fuites sur le réseau,

- Les défauts d'enregistrement des compteurs.

L'indice linéaire de pertes (ILP) caractérise le niveau de pertes du réseau : il est égal au volume perdu par jour sur les réseaux et par kilomètre de réseau. Cette perte est calculée par différence entre le volume mis en distribution et le volume consommé, exprimé en m³/j/km.

$$ILP (m^3/j/km) = \text{Volume de pertes journaliers (m}^3/j) / \text{Longueur totale du réseau (km)}$$

$$\text{Pertes (m}^3/j) = [\text{Volume annuel distribué (m}^3) - \text{Volume annuel consommé (m}^3)] / 365$$

Les pertes du réseau estimées pour les 5 dernières années sont présentées dans le tableau suivant :

	2014	2015	2016	2017	2018
Volume de pertes moyennes journalières (m ³ /j)	6 629	7 591	7 591	7 642	8 110
Indice linéaire de pertes (m ³ /j/km)	20,35	23,29	23,29	23,44	24,6

Tableau 13 : Pertes journalières moyennes

Le tableau de référence pour cet indice est présenté ci-dessous :

Type	Rural	Intermédiaire	Urbain
Critère	D ≤ 25	25 ≤ D < 50	50 ≤ D
Bon	ILP < 1,5	ILP < 3	ILP < 7
Acceptable	1,5 ≤ ILP < 2,5	3 ≤ ILP < 5	7 ≤ ILP < 10
Médiocre	2,5 ≤ ILP ≤ 4	5 ≤ ILP ≤ 8	10 ≤ ILP ≤ 15
Mauvais	ILP > 4	ILP > 8	ILP > 15

Tableau 14 : valeurs de référence de l'ILC (Source : Agence de l'eau Adour Garonne)

L'indice linéaire de pertes varie de 20,35 m³/j/km en 2014 à 24,6 m³/j/km pour l'année 2018, ce qui le situe dans la plage mauvaise sur ces 5 dernières années.

➤ Les besoins

En considérant les consommations moyennes journalières déterminées et les pertes moyennes journalières, les besoins moyens journaliers de la commune peuvent donc être estimés.

Le tableau suivant présente l'évolution des besoins moyens journaliers au cours de ces 5 dernières années :

	2014	2015	2016	2017	2018
Besoins moyens journaliers (m ³ /j)	14 496	15 176	15 542	-	16 548

Tableau 15 : Besoins moyens journaliers

b. Besoin de pointe journalière

Les besoins annuels ne sont pas uniformément répartis dans le temps ; on constate des variations saisonnières résultant de nombreuses causes (démographiques, climatiques, économiques, culturelles, etc.). Il est important de connaître le besoin le plus élevé sur une journée qui est appelé besoin journalier de pointe ; si ce besoin est satisfait, cela signifie que les besoins des autres jours de l'année sont également satisfaits.

$$\text{Coefficient de pointe journalière} = \text{Besoin du jour de pointe} / \text{Besoin du jour moyen}$$

A l'aide des données de télégestion fournies par l'exploitant, nous avons estimé les valeurs des coefficients de pointe journalière pour l'année 2018.

Le tableau ci-dessous présente les coefficients de pointe journalière notée K1 pour les différents secteurs du réseau :

Secteur	K1
Boulangier	1,32
La Ville	1,27
Etang	1,41
CD 13 Petite Ravine	1,10
Piton Entre-Deux	1,18
Maduran	1,40
Le Plate	1,11

Tableau 16 : Estimation des coefficients de pointe journalière

Ce coefficient peut aussi être fixé en fonction de l'ampleur de l'importance des variations quotidiennes sur l'aire d'étude. Il varie en général entre 1,2 et 1,8 pour une population permanente (fréquemment 1,4 à 1,6 en milieu rural, et peut aller jusqu'à 3 voire au-delà en cas de population saisonnière importante. **(Denis GILBERT et Eugène WEBER, 2001-2008)**).

La ville de Saint Leu, à l'instar des autres villes de l'île, est fréquentée en été et pendant les vacances ; nous avons déterminé le coefficient de pointe saisonnière pour ces 4 dernières années à l'aide de la formule ci-dessous :

$$\text{Coefficient de pointe saisonnière} = \text{Besoin du mois de pointe} / \text{Besoin du mois moyen}$$

Le coefficient de pointe journalière est généralement estimé pour les 2 saisons (saison sèche et saison des pluies) à la Réunion.

Le mois le plus chaud pour ces dernières années a été le mois de Décembre qui correspond à la période chaude connue sur l'île - et le coefficient de pointe saisonnière le plus élevé sur ces 4 dernières années est celui de 2015 qui était de 1,21 : ce qui est cohérent, car en général, le coefficient de pointe saisonnière se trouve entre 1,15 et 1,40 à La Réunion.

Au vu des données disponibles, le coefficient de pointe saisonnière paraît plus proche de **1,30** ce qui semble plus sécuritaire. Nous retiendrons cette dernière valeur.

Le tableau ci-dessous présente les besoins de pointe journalière de la Commune estimés pour l'année 2018.

	2018
Consommation de pointe journalière (m ³ /j)	10 970
Volume moyen journalier de pertes estimé (m ³ /j)	8 110
Besoins journaliers de pointe (m ³ /j)	19 080

Tableau 17 : Besoins journaliers de pointe

c. Rendement du réseau

Le rendement est un paramètre qui permet d'apprécier l'état du réseau. A l'aide des données de production et de consommation de la commune fournies par l'exploitant (à travers les récents rapports de délégataire annuel), le rendement du réseau a été déterminé à l'aide de la formule ci-dessous :

$$\text{Rendement} = \text{Volume Consommé Autorisé (m}^3\text{)} / \text{Volume mis en distribution (m}^3\text{)}$$

- Le volume consommé autorisé correspond à la somme du volume facturé, du volume non comptabilisé et du volume de service qui correspond au volume d'eau utilisé pour les besoins techniques (lavage de réservoirs, essais de poteaux d'incendie etc...) du réseau.
- Le volume mis en distribution correspond à la somme du volume d'eau produit par la commune, le volume d'eau acheté auprès de la SAPHIR et la commune des Avirons.

De 50 % à 60 %	Mauvais
De 60 % à 70 %	Médiocre
De 70 % à 75 %	Moyen
De 75 % à 80 %	Bon
De 80 % à 85 %	Très Bon
De 85 % à 90 %	Excellent

Tableau 18 : Appréciation du rendement (Source : E. WEBER et D. GILBERT, 2001-2008)

	2014	2015	2016	2017 (6 mois)	2018
Volume mis en distribution (m ³ /j)	5 531 876	5 749 346	5 882 509	3 066 515	6 250 126
Volume consommé autorisé (m ³ /j)	3 112 388	2 978 806	3 111 847	1 667 998	3 289 974
Rendement du réseau (%)	56,26 %	51,81 %	52,90 %	54,39 %	52,64 %

Tableau 19 : Rendement du réseau de Saint Leu

NB : Les données de l'année 2017 sont sur 6 mois

Durant ces 5 (cinq) dernières années le rendement du réseau a varié de 56,26 % à 52,64 %; l'année 2018 a été une année exceptionnelle marquée par de nombreux événements cités précédemment ce qui explique la baisse du rendement - mais ce rendement reste logique sur les années récentes.

Compte tenu du tableau 18, nous pouvons conclure que le rendement de la commune de Saint Leu est mauvais.

Nous allons considérer un rendement de 53 % qui est une moyenne de ces 5 dernières années ; toutefois, la commune devra mettre en place des outils de gestion visant à optimiser le circuit de distribution et atteindre **70 %** qui avait été fixé comme objectif dans le cadre du schéma directeur AEP effectué par IDR en 2005.

d. Analyse de la sécurité à la production

L'analyse de la sécurité à la production permet de vérifier que la production arrive à satisfaire les besoins de pointe des différents abonnés sur la commune, elle permet aussi de vérifier la limite de prélèvement dans la nappe qui lui est imposée. En considérant la limite de prélèvement admissible dans la nappe et les besoins de pointe de la commune, la formule ci-dessous permet d'estimer le coefficient de sécurité à la production (CSP).

$$CSP = \frac{\text{Ressource potentielle}}{\text{Besoins journaliers de pointe}}$$

La ressource est excédentaire si le rapport est supérieur à 1 et déficitaire s'il est inférieur à 1.

Comme expliqué au début de ce document, la commune de Saint Leu ne possède pas suffisamment de ressources en eau nécessaires pour l'alimentation en eau potable, elle a donc recours à des importations d'eau à travers les achats auprès de la commune des Avirons et de la SAPHIR.

L'achat d'eau à la commune des Avirons ne représente qu'un très faible volume.

Le bilan besoins ressources est présenté dans le tableau 20 ci-après en tenant compte des besoins de pointe et les débits d'étiage des ressources utilisés dans le cadre du schéma directeur.

	Jour moyen			Jour de pointe		
	Besoins (m ³ /j)	Production (m ³ /j)	Marge (m ³ /j)	Besoins (m ³ /j)	Production (m ³ /j)	Marge (m ³ /j)
Période Normale	16 548	21 443	+ 4 895	19 080	21 443	+ 2 363
Etiage Sévère	16 548	18 733	+ 2 185	19 080	18 733	- 347

Tableau 20 : Bilan besoins ressources

En comparant la capacité maximale de production journalière et les besoins journaliers de pointe pour l'année 2018, nous remarquons un déficit de la ressource en période d'étiage sévère, ce qui confirme la difficulté de l'exploitant à assurer correctement la desserte en eau pendant les périodes de pointe.

Ce déficit du bilan peut s'expliquer par le fait que les besoins en eau sont élevés à cause des pertes importantes sur le réseau : une amélioration du rendement du réseau est nécessaire afin d'équilibrer le bilan et d'avoir une marge acceptable.

e. Analyse de la sécurité au stockage

Les réservoirs jouent 4 rôles essentiels sur les réseaux d'eau potable :

- La mise en pression du réseau de distribution,
- La régulation entre le transport et la distribution,
- La sécurité d'approvisionnement en eau,
- La défense incendie.

L'analyse de la sécurité au stockage permet de vérifier la sécurité de l'approvisionnement en eau par les réservoirs. Il permet de qualifier et quantifier la réserve de sécurité en cas de défaillance du système de production ou d'autres conditions exceptionnelles (ruptures de conduites, dysfonctionnement des pompes des forages, puits ou reprises, coupures d'électricité, etc...). En cas de dysfonctionnement de l'alimentation d'un réservoir pendant le temps d'intervention, la capacité de stockage du réservoir doit être en mesure d'assurer l'alimentation des abonnés situés en aval.

Le début de l'année 2018 a été marqué par les événements extrêmes à La Réunion avec le passage de 2 cyclones (BERGUITTA les 17/18 Janvier 2018 et FAKIR le 24 Avril 2018) - ainsi que le passage de la forte tempête tropicale DUMAZILE le 6 Mars 2018. Ces événements ont engendré de nombreuses casses sur le réseau - avec de fortes quantités d'eau perdues ainsi que sur les branchements d'eau potable, entraînant plus de 120 interventions et plus de 300 heures d'astreinte afin de rétablir le service public.

De plus en Août 2018, suite à des travaux de la SAPHIR sur le Bras de Cilaos alimentant les réservoirs Maduran et Entre Deux qui représentent au total 43% de l'eau de Saint Leu, les points d'alimentation ont été interrompus pendant plus de 24h.

D'une manière générale, chaque intervention ou incident sur le réseau d'achat d'eau se traduit par des manques d'eau importants impactant de nombreux usagers.

Du fait de ces éléments ci-dessus et à travers les échanges avec l'exploitant nous savons déjà que la sécurité de l'approvisionnement n'est pas assurée sur la commune en période exceptionnelle.

Le coefficient de stockage est le rapport entre la réserve utile pour un secteur donné et les besoins de pointe de ce même secteur : il se détermine par la formule ci-dessous :

$$\text{Coefficient de stockage} = \text{Réserve utile} / \text{Besoins journaliers de pointe}$$

Le coefficient de stockage ainsi que les autonomies des ouvrages de stockage pour l'ensemble du réseau sont présentés dans le tableau 21 ci-dessous :

	2018	
	Jour moyen	Jour de pointe
Besoins (m³/j)	16 548	19 080
Réserve utile (m³)	13 042	13 042
Capacité de Stockage (%)	79 %	68 %
Autonomie (h)	19 h	16 h

Tableau 21 : Capacité de stockage

NB : Nous n'avons pas les données sur les volumes utiles des réservoirs : l'exploitant nous a informé que les réservoirs étaient sollicités au maximum ; le volume utile des réservoirs a

été estimé en fonction de la hauteur d'eau et de la surface intérieure de chaque réservoir.

Nous remarquons que les capacités des réservoirs sont sous dimensionnées avec une autonomie de distribution réduite de moins d'une journée (19 h pour un jour moyen et 16 h pour un jour de pointe en 2018). Certains réservoirs présentent des autonomies très limitées (moins de 10 h), ainsi le moindre incident d'exploitation entraîne des manques d'eau pour les abonnés desservis par ces réservoirs - comme les événements de l'année 2018 cités précédemment l'ont montré.

Conclusion :

Le bilan besoin ressource réserve effectué sur le réseau de la Commune a permis de relever les points suivants :

- Les ressources de la Commune ont une capacité maximale de production de 21 443 m³/j ; la production actuelle est suffisante pour couvrir les besoins en période moyenne avec une marge de 4 895 m³ mais insuffisante pour une période de pointe avec un déficit de 347 m³. Les ressources propres de la commune n'étant pas suffisantes, en période d'étiage, les débits d'achats d'eau sont augmentés pour faire face à la demande. Compte tenu de ce déficit de marge, la recherche de nouvelles ressources doit être étudiée. Le renforcement des branchements SAPHIR ou de nouvelles interconnexions avec d'autres communes demeurent des solutions envisageables.
- L'ensemble des réservoirs de la Commune représentent une capacité de stockage de 13 042 m³ ; le bilan réalisé sur la sécurité de stockage, a révélé que la Commune ne dispose pas suffisamment de temps d'intervention en cas de problème en amont des réservoirs. En considérant les capacités de stockage des différents réservoirs, on voit que la Commune est très limitée si l'on se réfère au SDAGE de la Réunion qui recommande une autonomie en distribution d'au moins 24 heures pour chaque réservoir.

Il faudra augmenter la taille des réservoirs ou en rajouter, afin d'améliorer leur autonomie en cas de défaillance d'alimentation.
- Le rendement actuel (2018) du réseau est de 53 %, inférieur à l'objectif de 70%, et ne répond pas aux exigences du décret n°97-2012 du 27 Janvier 2012 : la Commune devra œuvrer à améliorer son rendement pour atteindre 75 % conformément aux objectifs et orientations du SDAGE de la Réunion.

III. MODELISATION HYDRAULIQUE DU RESEAU

La présente partie de l'étude traite la modélisation du fonctionnement hydraulique du réseau d'eau potable de la commune de Saint Leu. Cette modélisation à l'état actuel du réseau de Saint Leu s'inscrit dans les obligations du contrat d'affermage de l'exploitant qui doit fournir un modèle à la Commune. La modélisation a pour objectif d'une part de développer un modèle informatique qui représente le fonctionnement des ouvrages & qui servira d'outil de gestion pour l'exploitant, d'autre part de tester différents scénarios en vue de proposer des solutions de modernisation ou renforcement du réseau.

Le logiciel utilisé pour la modélisation du réseau est Porteau 4.1.05.

Le logiciel PORTEAU est un outil de modélisation du comportement d'un réseau maillé de distribution ou transport d'eau sous pression. Il permet de schématiser le réseau étudié par l'emploi de tronçons pour les conduites et de nœuds pour les intersections. Les différents éléments du réseau sont documentés de telle sorte que toutes les infrastructures soient représentées comme dans la réalité.

Porteau utilise quatre (4) modules de calcul :

- ZOMAYET : calculs successifs représentant la dynamique du réseau,
- OPOINTE : calcul ponctuel avec les débits de pointe horaire,
- QUALITE : évaluation des temps de séjour et de transfert des substances,
- THERMIC : calcul de la température de l'eau en tout point du réseau.

Au vu des objectifs de la modélisation du réseau AEP de la commune de Saint Leu, les modules de calcul ZOMAYET et OPOINTE seront utilisés car ils sont les plus adaptés dans notre étude pour simuler le fonctionnement du réseau dans différentes situations.

PORTEAU permet :

- de schématiser l'ensemble du réseau sous forme de nœuds auxquels sont affectés des consommateurs qui simulent la consommation des abonnés, et de tronçons sur lesquels sont positionnés différentes singularités (vannes, réducteurs de pressions...) ayant un rôle dans le fonctionnement du réseau,
- de définir différentes courbes types de consommation, par tranche d'une heure (type domestique ou industriel) qui seront affectés aux abonnés,
- d'injecter des débits de pompe ou des débits des captages,
- de calculer les débits en réseau maillé par itérations successives,
- de simuler les variations journalières de niveau des réservoirs,
- de prendre en compte les singularités (vannes, réducteurs de pression, clapets, robinet flotteur...),

- de définir les lignes piézométriques et leur variation au cours de la journée (débits, vitesses et pertes de charges par tronçons, pression résiduelle aux nœuds),
- de visualiser le marnage des réservoirs sur une période.

La modélisation s'est réalisée en trois (3) phases :

- **la construction du modèle** : cette phase a consisté à renseigner toutes les caractéristiques des éléments constituant le réseau,
- **le calage** : le principe du calage est de rendre la modélisation plus réaliste en réduisant au maximum l'écart entre le modèle construit et les paramètres mesurés sur le terrain ; dans cette étude, il n'a pas été effectué de campagne de mesures, le calage a été effectué à partir des données fournies par l'exploitant sur les niveaux des réservoirs et les débits des compteurs de production et de distribution (enregistrés sur leur supervision). Le modèle sera ajusté en fonction des discussions et nouvelles données récemment fournies par DERICHEBOURG,
- **les simulations** : les simulations sont une manière de tester le modèle sous différentes configurations en exposant le réseau AEP aux conditions auxquelles il peut faire face dans la situation réelle.

1. Construction du modèle

Porteau est constitué, dans sa structure, de nœuds et tronçons. Les nœuds peuvent être de trois natures différentes :

- les nœuds ordinaires représentent les points de consommation, les maillages et extrémités des conduites et les changements de direction,
- les nœuds « ressources » représentent les ressources en eau, qui sont soit un forage ou captage Communal, soit une ressource superficielle d'import (SAPHIR),
- les nœuds « réserve » représentent les réservoirs de stockage.

De façon générale, les nœuds se caractérisent par leurs côtes altimétriques, capacités, volumes, débits prélevés, pressions, nombres et types d'abonnés.

Les tronçons symbolisent les canalisations du réseau, et sont caractérisés par leurs natures, longueurs, diamètres et rugosités.

Le tracé du réseau (nœuds et tronçons) a été importé à partir d'un fichier « Shape files » (SHP) qui a été réalisé dans la première phase de l'étude, laquelle consistait à la création d'un SIG de l'ensemble du réseau AEP et de ses ouvrages hydrauliques sur Saint Leu.

Une fois l'import réalisé, un travail préalable est nécessaire pour différencier les nœuds des vannes, poteaux d'incendies, compteurs et débitmètres. Il faut renseigner ensuite les informations nécessaires citées précédemment pour les conduites et les nœuds du réseau.

Les conduites ont été représentées selon le plan du réseau AEP fourni par l'exploitant ; cependant, certaines informations manquaient, dû au fait que certaines parties du plan n'étaient pas à jour et du fait de travaux en cours sur certaines zones de la Commune.

Des hypothèses sur les antennes ont été faites, pour les conduites principales ayant un impact direct sur la modélisation : ces informations ont été saisies à travers les différents échanges avec les techniciens de l'exploitant.

Modélisation du réseau d'eau potable de la commune de Saint Leu (Réunion)

Les altitudes des nœuds ont été récupérées sur Géoportail et ajoutées manuellement.

320 Km de réseau ont été modélisés, ce qui représente 97 % de la longueur totale du réseau qui est de 329 Km. Le schéma de l'ossature du réseau est présenté ci-dessous :

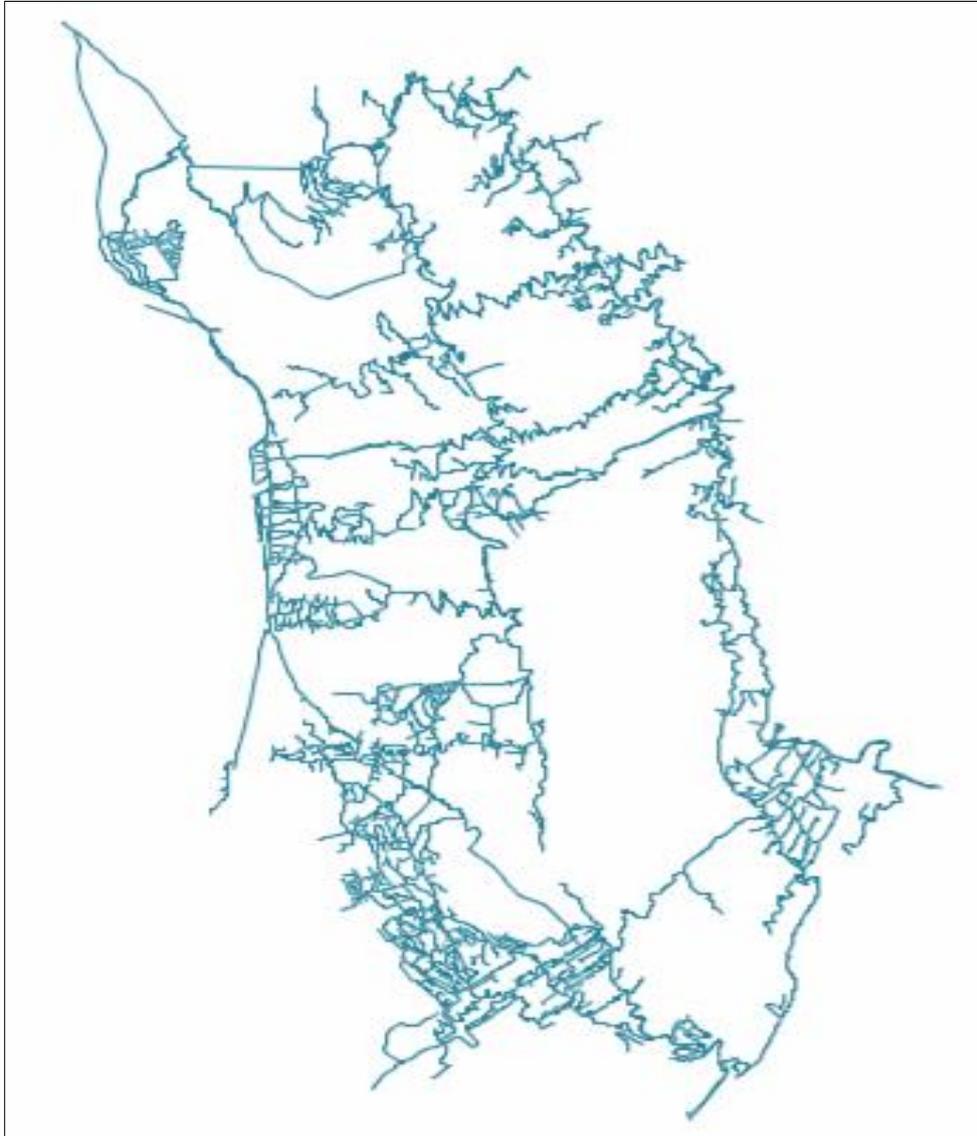


Figure 10 : Ossature du réseau modélisé

a. Equipements de réseau :

→ Pompages :

Compte tenu de la configuration de Saint-Leu, il existe plusieurs stations de reprises pour acheminer l'eau vers les Hauts de la Commune : ainsi 17 pompages ont été représentés sur le réseau. L'exploitant nous avait transmis les informations de seulement 2 pompages sur l'ensemble du réseau AEP : la liste des pompes a permis de récupérer auprès des

fournisseurs les caractéristiques nécessaires à leurs représentations dans le modèle.

Pour modéliser une pompe sur Porteau, sa courbe caractéristique doit être construite à l'aide de trois (3) points de débit et HMT, les caractéristiques des courbes de fonctionnement sont jointes en annexe 4.

La mise en marche des pompes est commandée par les niveaux d'eau des différents réservoirs, données qui varient selon les réservoirs : une liste de consignes de régulation est aussi présentée en annexe 3

→ Robinet à flotteur :

Les réservoirs SAFER, Ecole, Ville, Petite Ravine 2 et Plate 2 sont remplis gravitairement respectivement par les réservoirs Petite Ravine 1, Piveteau, Grande Ravine, Boulanger et la station de traitement du Plate : le remplissage de ces réservoirs est géré par des robinets flotteurs.

→ Vanne motorisée :

Une vanne motorisée gère le remplissage gravitaire du réservoir Boulanger par le réservoir Plate 3.

Le remplissage du réservoir Lelièvre par Maduran est actuellement fait par manœuvre de vannes fermées en place sur la partie basse du chemin Lelièvre : le réservoir Maduran dessert ce secteur et remplit Lelièvre par sa distribution ; une fois Lelièvre rempli, la vanne (Maduran → Lelièvre) est fermée pour que le réservoir Lelièvre prenne le relais.

Vu la complexité de cette situation, une vanne motorisée a été ajoutée. Les vannes motorisées ont comme consignes de régulation le niveau d'eau dans les réservoirs.

→ Régulateurs de pression avale :

Le modèle comprend 216 régulateurs de pression avale : ces régulateurs de pression ont été réglés à la consigne de 1,5 bars dans un premier temps, puis cette consigne a été ajustée sur certains secteurs entre 2,5 & 3 bars pour assurer une pression convenable aux abonnés.

→ Limiteurs de débits :

Le modèle comprend des limiteurs de débit : ces limiteurs de débit n'existent pas dans la réalité, ils ont été mis en place pour imposer des débits d'entrée dans les réservoirs Safer, Petite Ravine 2 et Plate 2 en évitant leurs débordements.

→ Bâches de reprise :

Les réservoirs Inter Bras-Mouton, Inter Piveteau, Grand Fond et Entre-Deux ont été représentés comme des nœuds ressources.

Les apports SAPHIR 1 (Maduran) et SAPHIR 2 (Entre Deux) qui sont gravitaires ont été représentés comme des nœuds ressource : la difficulté de leur représentation résidait du fait de la non connaissance de la charge en ces points, car la pression des réseaux d'irrigation SAPHIR (Bras de Cilaos) n'est pas connue.

Nous avons estimé la charge en ces points d'injection d'eau brute SAPHIR en déterminant la

perte de charge entre les points d'achats et les réservoirs qu'ils alimentent, et en déduisant ainsi les différentes charges à partir de celles des réservoirs alimentés - le détail de ce calcul est présenté en annexe 5.

b. Modèles de consommation

→ Consommation domestique

Afin de rendre plus réaliste l'étude, il est nécessaire de prendre en compte la variation de la demande en fonction de la période de la journée. On affecte ainsi à chaque type de consommateur un modèle de consommation domestique qui définit la demande à partir des coefficients multiplicateurs par pas de temps horaire. Pour chaque type de consommateur les courbes sont construites en fonction de l'évolution de la demande dans la journée.

L'analyse des données de télégestion récupérées avec l'exploitant a permis de visualiser les débits au départ des réservoirs et établir les profils de consommation pour chaque secteur : 2 profils types ont été établis pour l'ensemble de la Commune.

Les figures suivantes présentent les profils de consommation établis :

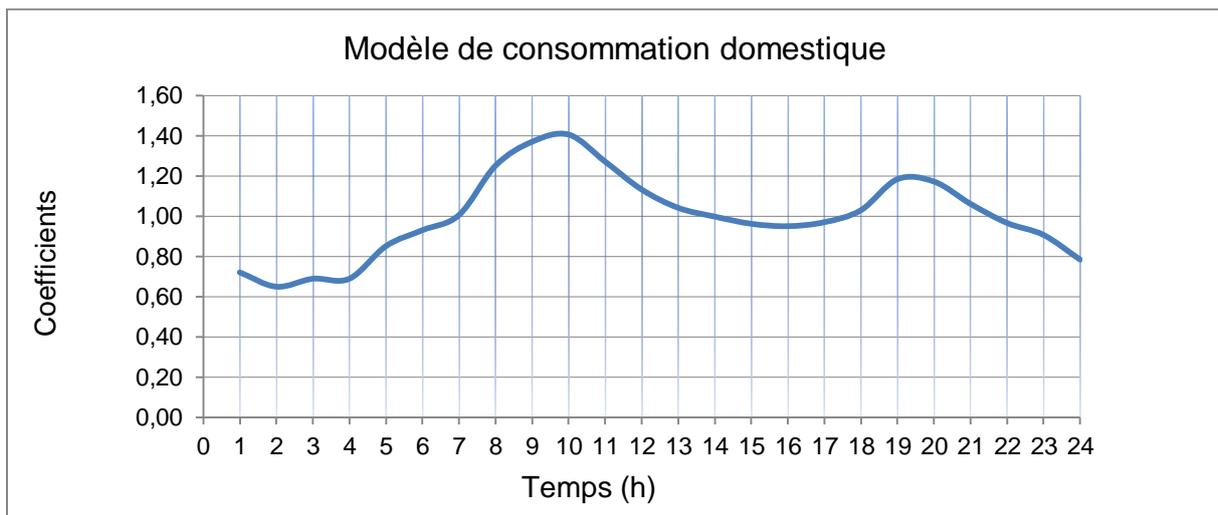


Figure 11 : Modèle de consommation 1

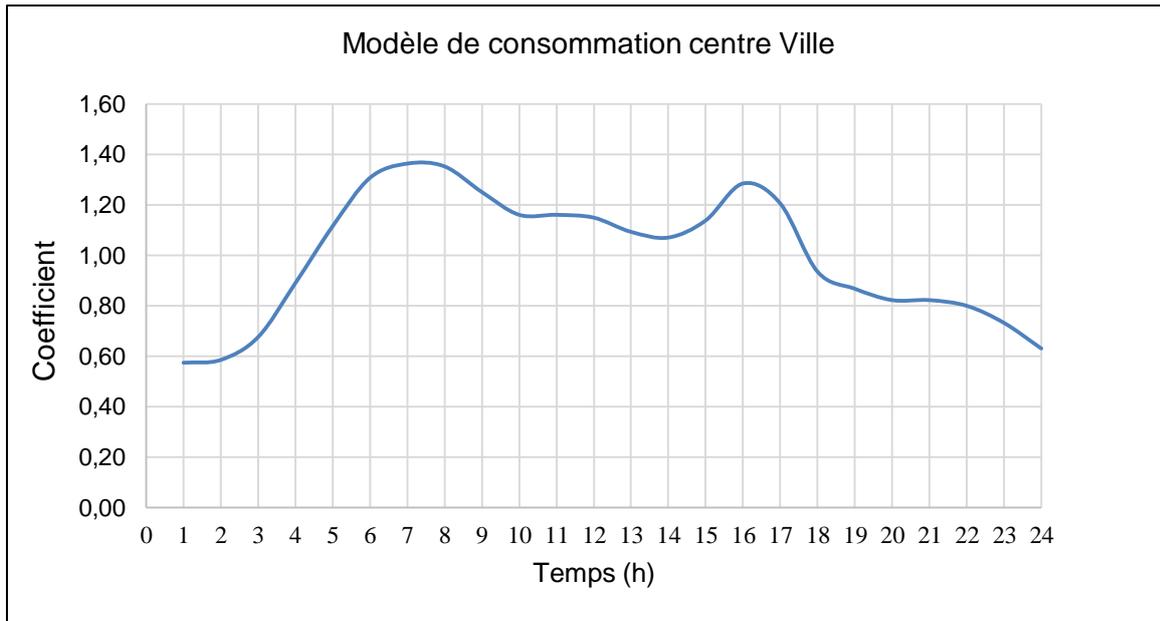


Figure 12 : Modèle de consommation centre-ville

Le second profil est celui du centre-ville de Saint Leu : il indique la présence de gros consommateurs et illustre les habitudes de consommation des bureaux administratifs et commerces présents dans cette zone ; le 1^{er} profil est celui du secteur Piton : parmi les courbes de consommation établies avec les données de télégestion disponibles, celle-ci représente le mieux les autres secteurs.

→ Consommation industrielle

Il n'y a pas de consommateur industriel dans la commune de Saint Leu, les besoins liés aux activités « non domestiques » sont repris dans le modèle domestique.

→ Fuites :

Le réseau de Saint Leu a un rendement de 53 % : l'estimation du volume de fuites a été faite à travers la formule ci-après ; n'ayant pas connaissance du rendement sectoriel, les pertes ont été moyennées sur l'ensemble de la commune.

$$\text{Pertes (m}^3/\text{j)} = \frac{(1 - \text{Rendement}) * \text{Consommation moyenne}}{\text{Rendement}}$$

Les volumes de fuites ont été répartis sur l'ensemble du réseau AEP, sur les nœuds et tronçons, en fonction des endroits de fuites signalés par les abonnés ou détectés par les équipes de l'exploitant. Le modèle de fuite constante dans le temps a été utilisé sur Porteau.

Les débits de distribution issus de la télégestion ont été visualisés pour avoir une idée de la demande au niveau des réservoirs, mais les données étaient manquantes sur certains compteurs ou inexploitable. L'absence de données peut s'expliquer par le passage début 2018 de 2 cyclones majeurs à la Réunion ayant causé d'énormes dégâts, mais aussi de défauts d'enregistrement des compteurs ou d'absences d'appareils de télégestion.

Le réseau ayant un rendement mauvais, la connaissance de rendement sectoriel des sous réseaux est souhaitable pour une meilleure représentation de la réalité sur le modèle.

c. Calage

Marnage des réservoirs :

Les marnages des réservoirs ont été vérifiés en ajustant les consignes de régulation des pompes, cependant pour les adductions gravitaires les débits entrants et les précisions du type de régulation manquaient pour certains réservoirs. Des ajustements ont été nécessaires pour les réservoirs : Ville, Safer, Maduran et Boulanger

- Les marnages des réservoirs Boulanger et Ville ont été imposé dans le modèle, les marnages du mois de Décembre (période de pointe) ont été utilisés pour prendre en compte le cas défavorable que le réseau puisse connaître,
- Une consommation de type abonné avec un débit de 30l/s a été renseignée sur le réservoir Maduran,
- Un limiteur de débit a été mis sur la conduite d'adduction du réservoir Safer.

Les marnages des réservoirs sont globalement bons dans l'ensemble, les réservoirs Plate 2 et Safer (Pointe des Châteaux) sont remplis car ils sont peu sollicités.

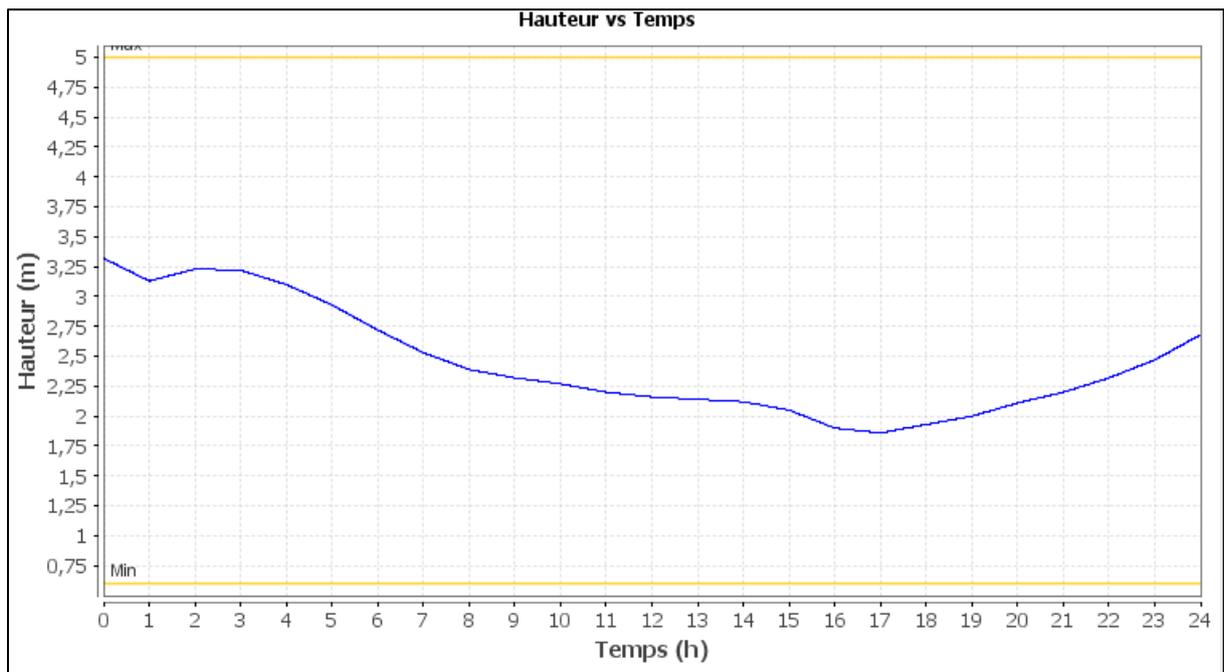


Figure 13: Marnage réservoir ville

Les périodes de vidange du réservoir correspondent aux activités du centre-ville qui se font dans la journée.

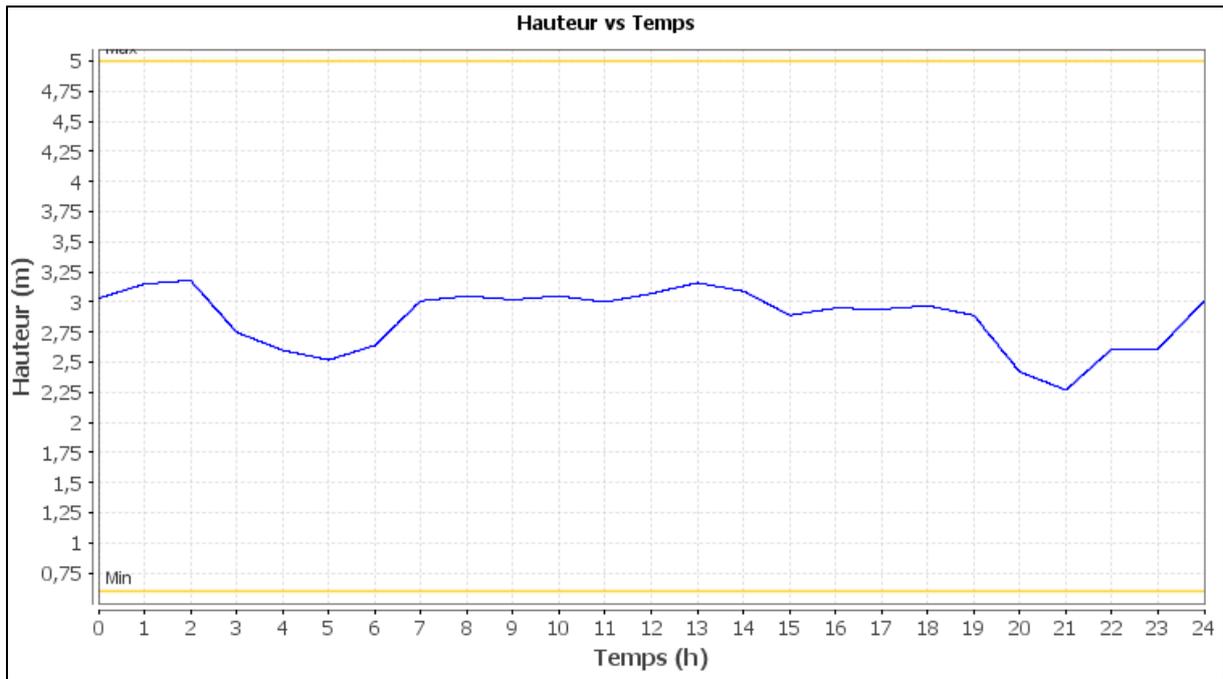


Figure 14 : Marnage réservoir Boulanger

La vidange du réservoir entre 2h et 7h correspond au remplissage des réservoirs Vaudeville, Leonard Techer et Petite Ravine 2.

Les marnages des autres réservoirs sont présentés en annexe 2.

Comparaison des volumes sectoriels :

Comme expliqué au début de ce document, l'absence de données a été l'une des difficultés dans cette étude, qui a été problématique dans la modélisation.

Nous n'avons pas de données sur le nombre d'abonnés et les volumes sectoriels, et certaines de ces données ont été fournies à la fin de ce stage : ayant eu des problèmes liés à la mise à jour du logiciel de facturation, l'exploitant n'a pas pu communiquer certaines données a temps.

Pour ne pas être bloqué, nous avons émis des hypothèses à l'aide des données de consommation de la première relève, pour la construction du modèle. Ces hypothèses de départ ont été discutées avec l'exploitant, & des ajustements seront apportés ensuite au modèle avec les nouvelles données disponibles de façon à rendre le plus réel le modèle.

Ayant eu les données de consommation et les nombres d'abonnés par sous-secteur récemment au moment de la rédaction de ce mémoire, un tableau de comparaison a été établi pour comparer les hypothèses théoriques et les données récentes fournies par l'exploitant : dans l'optique de situer les surestimations ou affinage à apporter, ce tableau sera présenté à l'exploitant et fera sujet de discussion pour la suite de la prestation.

Modélisation du réseau d'eau potable de la commune de Saint Leu (Réunion)

Secteurs	Volume simulé (m ³ /an)	Volume mesuré (m ³ /an)	Ecart
Boulangier	463 331	496 317	7%
CD13 Petite Ravine	207 174	253 623	18%
Etang	436 157	399 077	-9%
La Ville	587 796	586 509	0%
Maduran + Piton 1000	808 146	859 333	6%
Piton 800	297 913	303 491	2%
Usine le Plate	262 180	232 489	-13%
TOTAL	3 062 696	3 130 839	2%

Tableau 22: Comparaison volume

Dans l'ensemble, l'écart n'est pas très important entre le volume simulé sur la base d'hypothèses (exemple : modèles-types de consommation & même rendement sur toutes les zones) et les volumes mesurés fournis récemment par l'exploitant. Les écarts > à 10 % sur les sous-secteurs sont issus de la répartition des abonnés, du rendement moyenné sur l'ensemble des secteurs et de l'application de consommations-types.

Pression :

Les cotes renseignées au niveau des nœuds ont été prises sur Géoportail : il s'agit de valeurs approximatives. Le réseau de Saint Leu étant situé entre l'Océan et les Hauts de la Commune à plus de 1000 m d'altitude, on a une importante variation de la topographie. Les cotes ont été légèrement modifiées pour se rapprocher de la réalité.

N'ayant pas de données de pression, un test de sensibilité du modèle a été effectué sur les rugosités des canalisations. Les coefficients de rugosité qui ont été entrés lors de la construction du modèle peuvent sous-estimer l'état des conduites car les conduites très anciennes ont une rugosité plus élevée que les conduites récentes.

Les dates de pose d'une majorité de conduites n'étaient pas renseignées dans le SIG (car inconnues de l'exploitant et de la Commune), aussi les rugosités ont été augmentées sur les anciennes conduites connues et sur une grande partie des conduites principales.

Le tableau ci-dessous présente les rugosités utilisées dans la modélisation qui sont des valeurs couramment utilisées :

PVC	PEHD	Fonte		Acier	
Rugosité (mm)	Rugosité (mm)	Rugosité F Neuve (mm)	Rugosité F Ancienne (mm)	Rugosité A Neuve (mm)	Rugosité A Ancienne (mm)
0,03	0,03	0,1	0,5	0,05	0,5

Tableau 23 : Catalogue rugosité

Les rugosités des conduites neuves ont été utilisées dans un premier temps pour la construction du modèle, d'après les données transmises certaines conduites en fonte ont été réalisées en 1902 ces conduites ont été supposées en fonte grises vue leurs âges, de même des conduites en acier galvanisé très anciennes sont sur le réseau.

Le test a consisté à faire varier les rugosités pour voir l'impact sur les pressions, à certains endroits cela a eu un impact en diminuant légèrement la pression.

2. Résultats de la modélisation et proposition d'aménagements

Critères d'analyse :

Le réseau d'alimentation en eau potable doit satisfaire à certaines exigences pour lesquelles des valeurs guides permettent de juger du bon dimensionnement et fonctionnement des ouvrages existants. Sur la base des simulations, un diagnostic sera fait sur certains paramètres déterminants qui sont : la pression aux abonnés et la vitesse dans les conduites.

→ Les Pressions

Une observation des pressions sur l'ensemble du réseau AEP est nécessaire pour étudier son comportement dans la mesure où la pression répond à certains objectifs majeurs dans la distribution en eau :

- Rôle d'alimentation en eau avec une pression de service satisfaisante chez les abonnés,
- Rôle de préservation de la qualité de l'eau face aux risques d'intrusion,
- Pression minimale pour assurer la défense incendie.

→ Les Vitesses

Dans les canalisations d'eau potable, il existe des seuils préconisés pour les vitesses : des vitesses faibles, inférieures à 0,1 m/s, favorisent les dépôts de matières en suspension, & les vitesses supérieures à 2 m/s dégradent les canalisations et leurs équipements, en favorisant l'arrachement des particules sur leurs parois.

La défense incendie n'a pas été étudiée dans cette modélisation.

Simulations :

Les problèmes rencontrés en situation moyenne actuelle sont les suivants :

- Pressions :

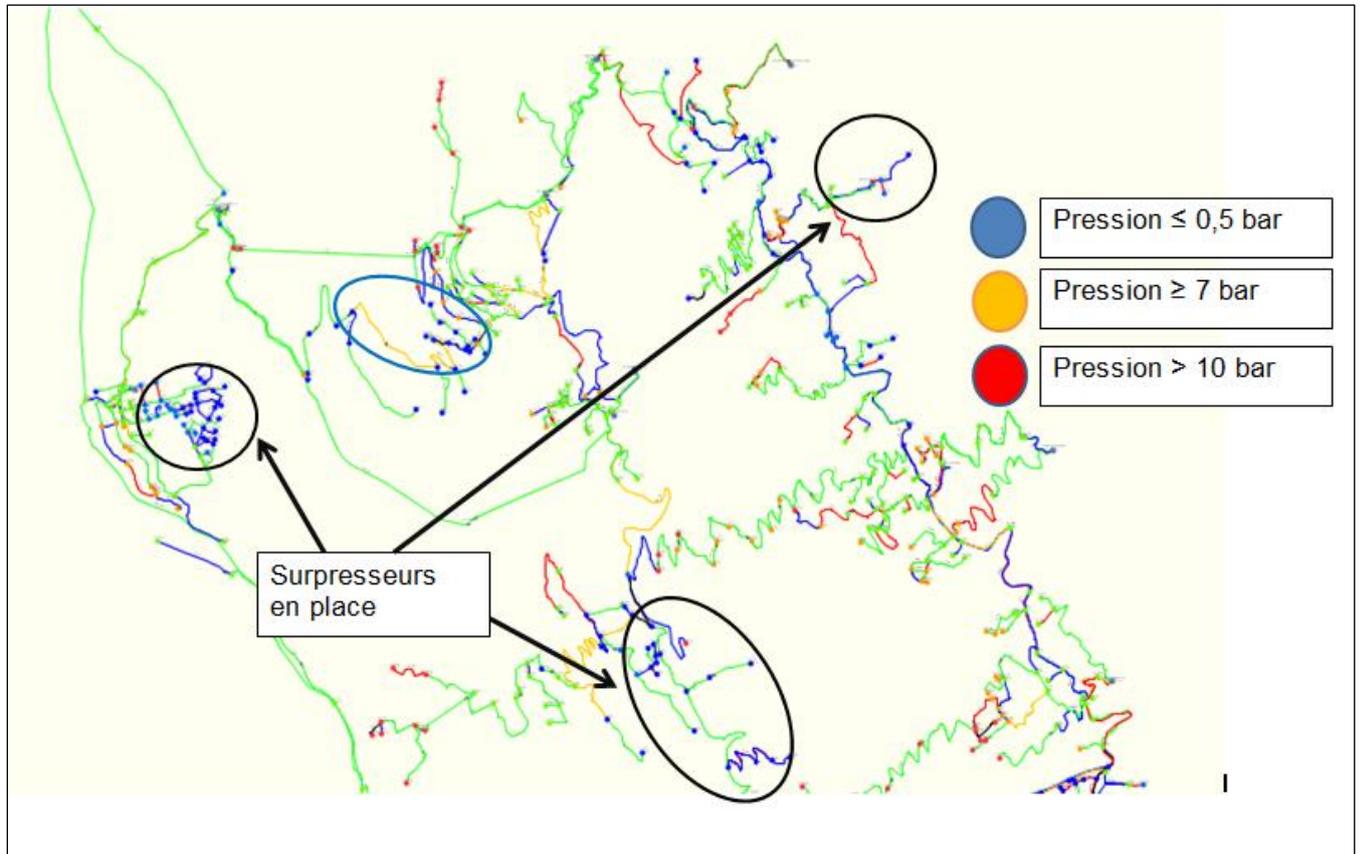


Figure 15 : Simulation jour moyen- pressions 1

On observe des faibles pressions dans les secteurs : Petite Ravine, Leonard Techer et Bras-Mouton : les surpresseurs de la Pointe des Châteaux (Petite Ravine), du chemin Emmanuel Payet (secteur Leonard Techer), de Jacquier et Duguet (secteur Bras-Mouton) desservent les habitations situées en haut de ces zones, difficilement accessibles à une pression convenable.

A certains endroits, les pressions atteignent ou dépassent 10 bars malgré l'existence de réducteurs de pressions : des réducteurs supplémentaires pourraient être installés pour réduire davantage les pressions.

Sur les figures 15, 16 et 17 on observe des baisses de pressions importantes sur certaines conduites : on peut citer les conduites PEHD 63 au niveau de la route départementale 12, dans le secteur Colimaçons, ce qui peut s'expliquer par l'état et le diamètre insuffisant des conduites, qui engendrent des pertes de charges énormes.

Des travaux ont eu lieu sur la partie basse de la route Georges Pompidou au moment de ce stage : des conduites fontes DN 200 mm et DN 150 mm ont été posées entre la route des Tamarins et le réservoir Petite Ravine1 : première tranche de renforcement. La seconde tranche de renforcement du réseau AEP sera bientôt lancée et prévoit de remonter la RD12

Modélisation du réseau d'eau potable de la commune de Saint Leu (Réunion)

de la Route des Tamarins jusqu'à la conduite DN 100 située au Conservatoire botanique des Mascariens.

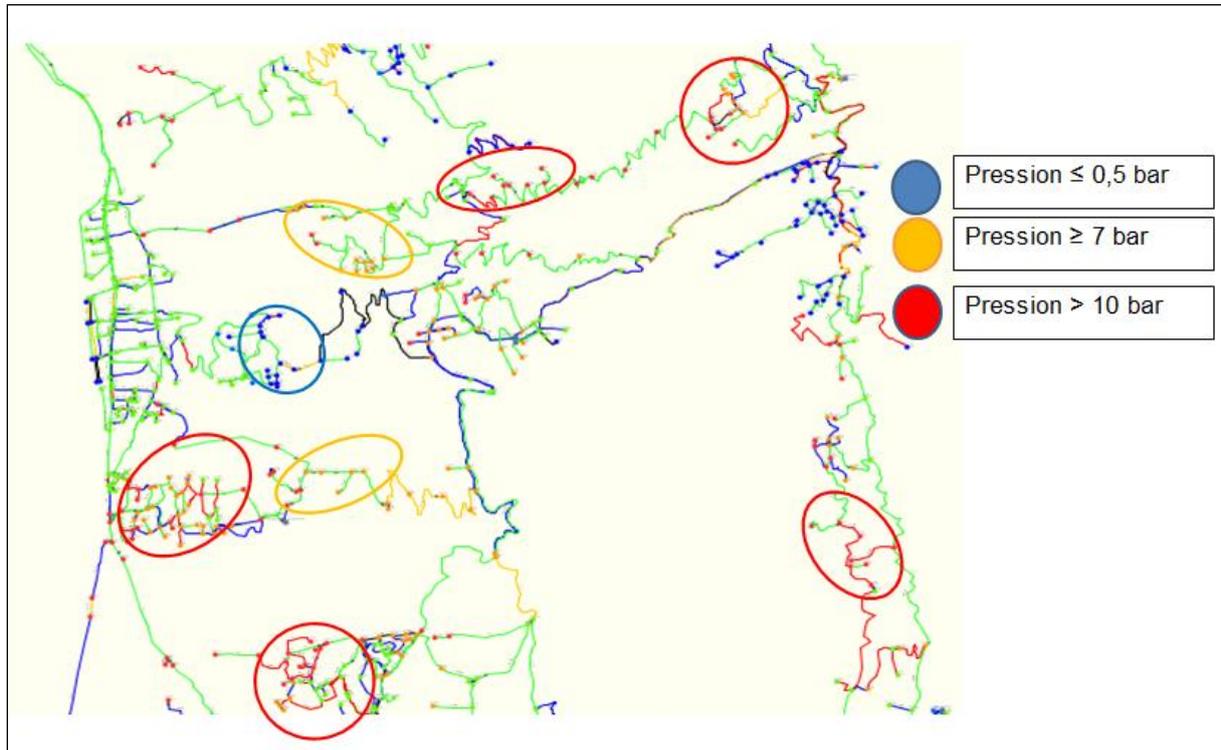


Figure 16 : Simulation jour moyen pressions 2

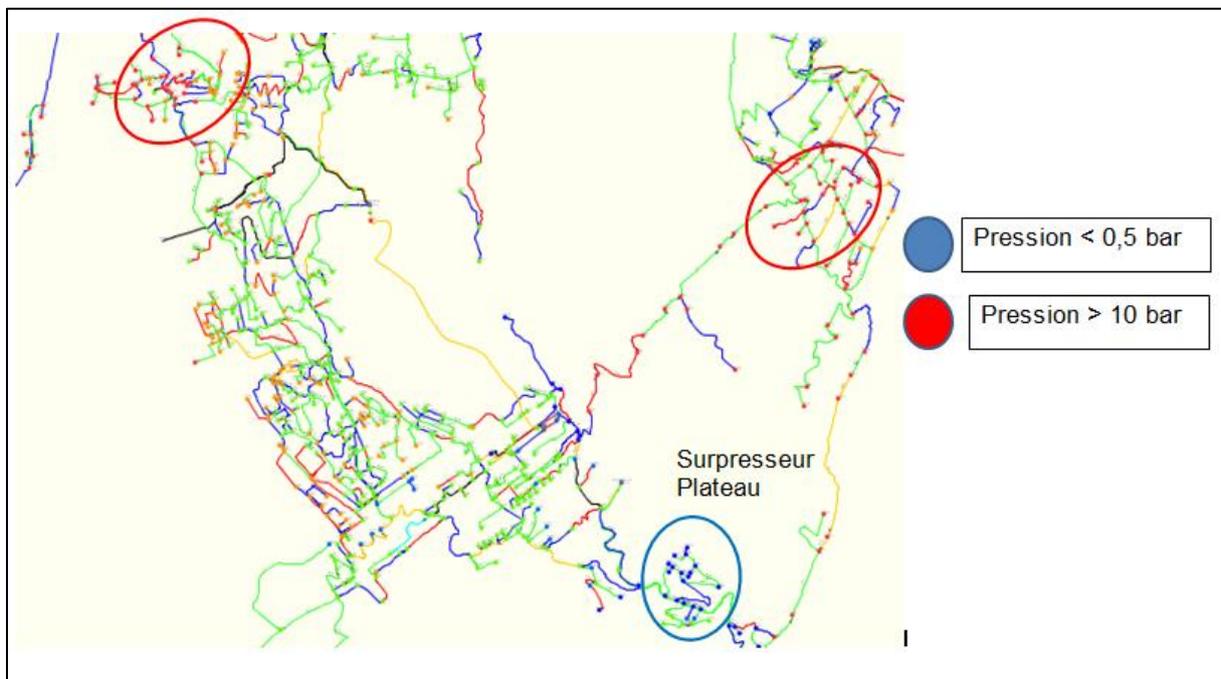


Figure 17 : Simulation jour moyen pressions 3

- Vitesses :

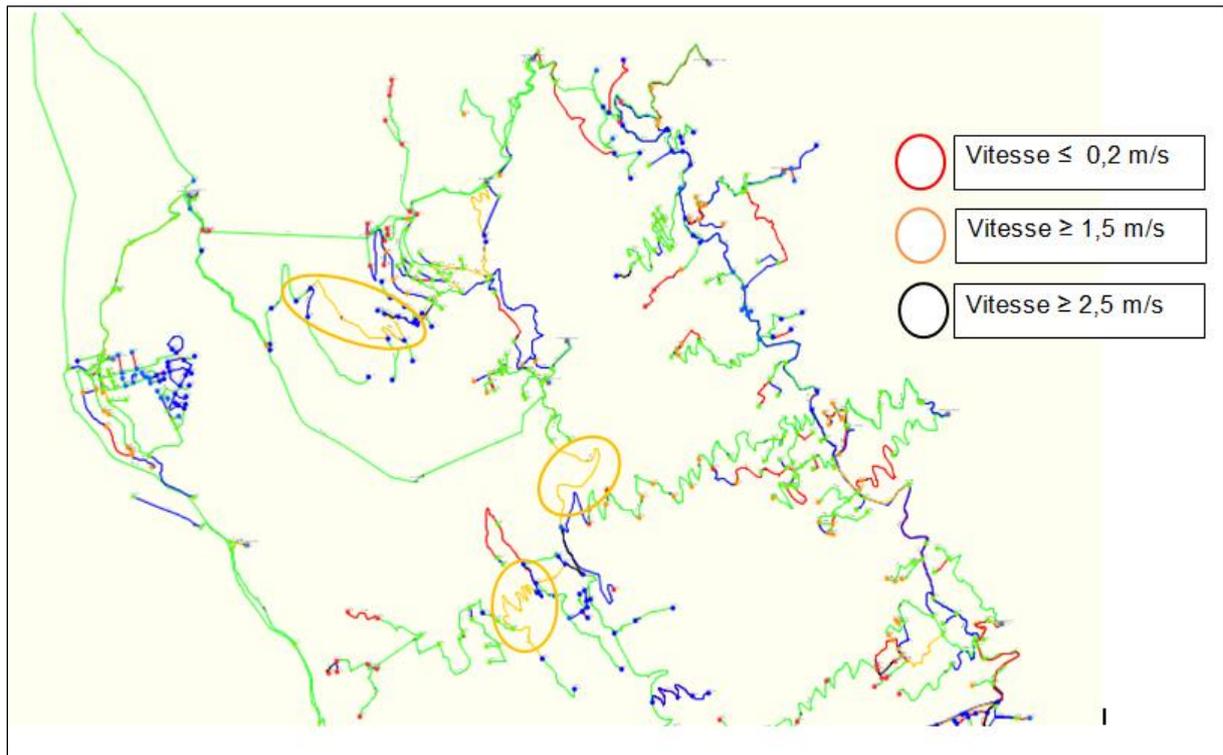


Figure 18 : Simulation jour moyen_ Vitesse 1

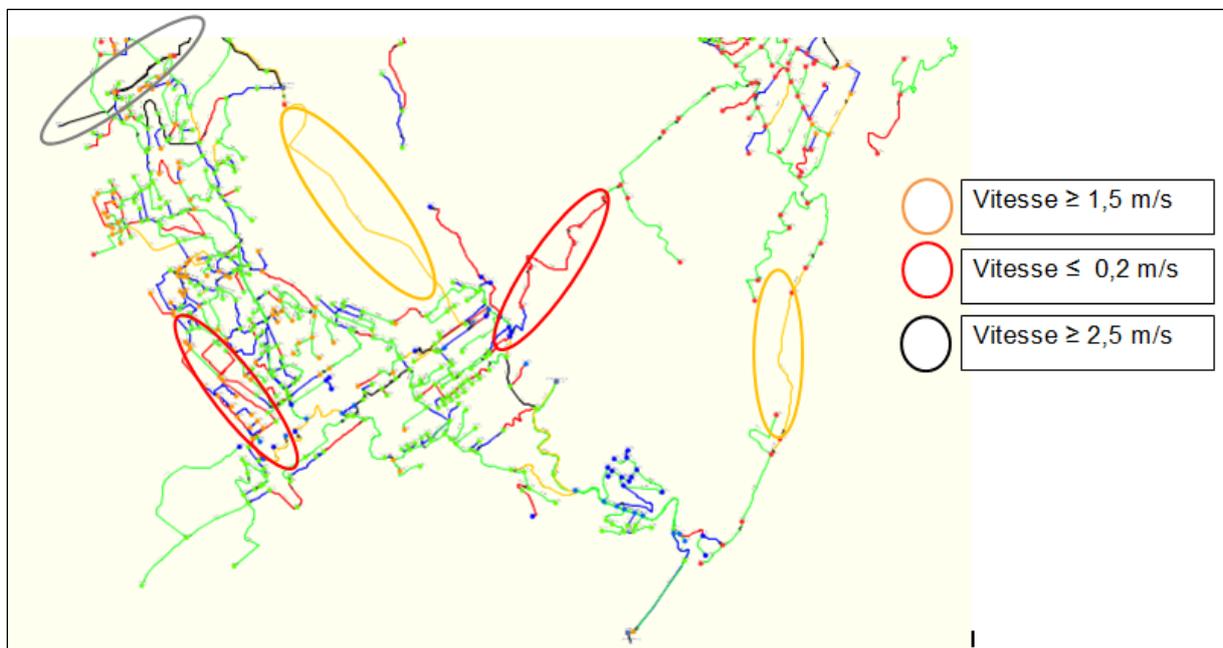


Figure 19 : Simulation jour moyen_ Vitesse 2

Dans le centre-ville de Saint-Leu, les vitesses dans les conduites sont globalement satisfaisantes.

Au Nord de la Commune, certaines vitesses dans les conduites sont 1,5 m/s mais restent

inférieures à 2 m/s.

Au Sud, la vitesse dans la conduite d'adduction entre les réservoirs Maduran et Piton 800 est de 1,8 m/s, & la vitesse entre le point d'achat SAPHIR 1 et le réservoir Maduran est de 2,5 m/s.

Sur le chemin Carlonnette (Sud Est figure 19), on a un rétrécissement de la conduite située à la limite de la Commune : on y retrouve des pertes de charges élevées sur ce tronçon, en corrélation avec des vitesses élevées.

Sur le réseau AEP, on retrouve certaines vitesses faibles qui sont issues des erreurs liées à la répartition des abonnés ou des hypothèses émises sur le dimensionnement de certaines conduites non renseignées sur le plan. Ces erreurs seront corrigées pour améliorer la simulation à ces endroits.

IV. Conclusion

La présente étude avait pour objectif la création d'un modèle informatique du réseau d'eau potable de la Commune de Saint Leu : cette prestation s'inscrit dans le cadre des obligations contractuelles du contrat d'affermage liant la société d'exploitation du réseau d'eau potable DERICHEBOURG à la Commune de Saint-Leu. Le but était de retrouver et déceler les insuffisances du réseau AEP, et de pouvoir les interpréter, afin d'améliorer les conditions de desserte en eau de la population.

La création du modèle a permis de mieux comprendre le fonctionnement des installations, & de confirmer certaines défaillances des ouvrages.

Des échanges et compléments d'informations sont en cours avec l'exploitant pour affiner et ajuster le modèle.

Durant cette étude la collecte des données a été l'une des difficultés majeures : certaines hypothèses de départ ont dû être émises afin de ne pas être bloqué et avancer sur l'étude : ces hypothèses ont fait l'objet d'une comparaison avec les nouvelles données fournies.

Cette étude a permis de mettre en évidence certains dysfonctionnements actuels sur le réseau et l'intérêt de mettre l'accent sur la collecte des données issues de la télégestion.

Bibliographie

AZMAOUI Abdessamad. Schéma directeur d'alimentation en eau potable du périmètre de la Moder. Travaux Universitaires Ecole Nationale du Génie de l'Eau et de l'Environnement (ENGEES), Juillet 2016. 94p.

DEMBELE Assimi. Modélisation hydraulique du réseau d'adduction d'eau potable de la communauté urbaine de Strasbourg. Travaux Universitaires Ecole Nationale du Génie de l'Eau et de l'Environnement (ENGEES), Octobre 2012. 119p.

DERICHEBOURG. Rapport Annuel du délégataire 2018. 104p.

Carte IGN de Saint Leu, www.geoportail.gouv.fr/carte

GILBERT Denis et WEBER Eugène, Cours d'Alimentation en Eau Potable ENGEES, 2001-2008. 77p.

IDR. Schéma directeur AEP de la commune de Saint-Leu. Rapport d'étude, 2005. 75 p.

IDR. Actualisation de l'étude préliminaire pour le renforcement du réseau AEP de la commune de Trois Bassins à partir du réseau de Saint-Leu. Rapport d'étude, Mai 2017. 37p.

IRSTEA. Guide Utilisateur du logiciel Porteau. Documentation Porteau 4, mise à jour mai 2019. 161p.

LEMAIRE François. Modélisation et propositions d'aménagement du secteur Nord-Ouest du réseau d'eau potable de la ville de la communauté de Communes Chambaran Vinay Vercors (38) dans le cadre de la mise en œuvre de l'actualisation du schéma directeur d'alimentation en eau potable. Travaux Universitaires Ecole Nationale du Génie de l'Eau et de l'Environnement (ENGEES), 28 Juin 2013. 91p.

MARTINOL Lionel. Diagnostic et optimisation du réseau d'adduction et de distribution d'eau potable. Travaux Universitaires Ecole Nationale du Génie de l'Eau et de l'Environnement (ENGEES), Octobre 2013. 98p.

NYADA AMBASSA Louis Gérard. Schéma directeur d'alimentation en eau potable du périmètre de Hochfelden et environs. Travaux Universitaires Ecole Nationale du Génie de l'Eau et de l'Environnement (ENGEES), 2014-2015. 113p.

ZIDA Haoua. Diagnostic du système d'alimentation en eau potable du syndicat intercommunal de la région de Regnauville. Travaux Universitaires Ecole Nationale du Génie de l'Eau et de l'Environnement (ENGEES), Novembre 2015. 100p.

Annexes

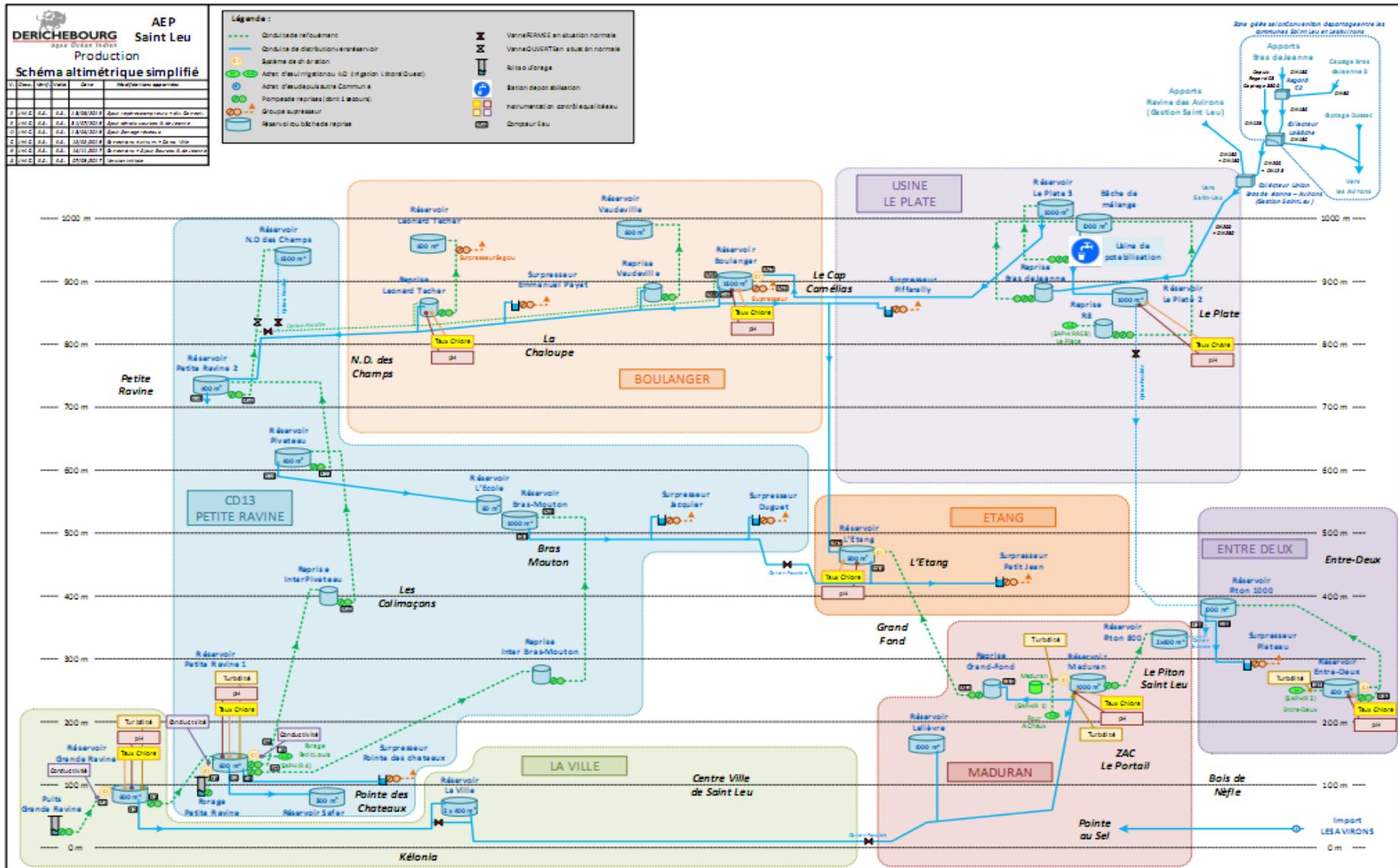
Annexe 1 : Schéma altimétrique

Annexe 2 : Marnage des réservoirs

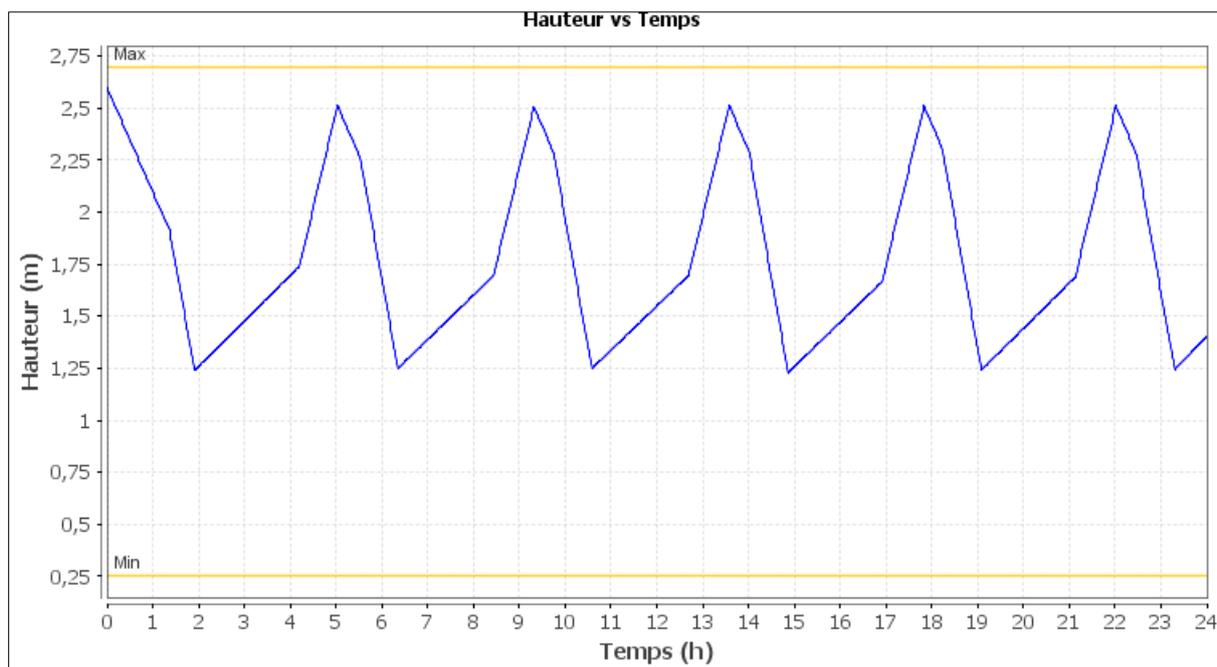
Annexe 3 : Courbe caractéristiques

Annexe 4 : Calcul de charge aux points de livraison SAPHIR 1 et 2

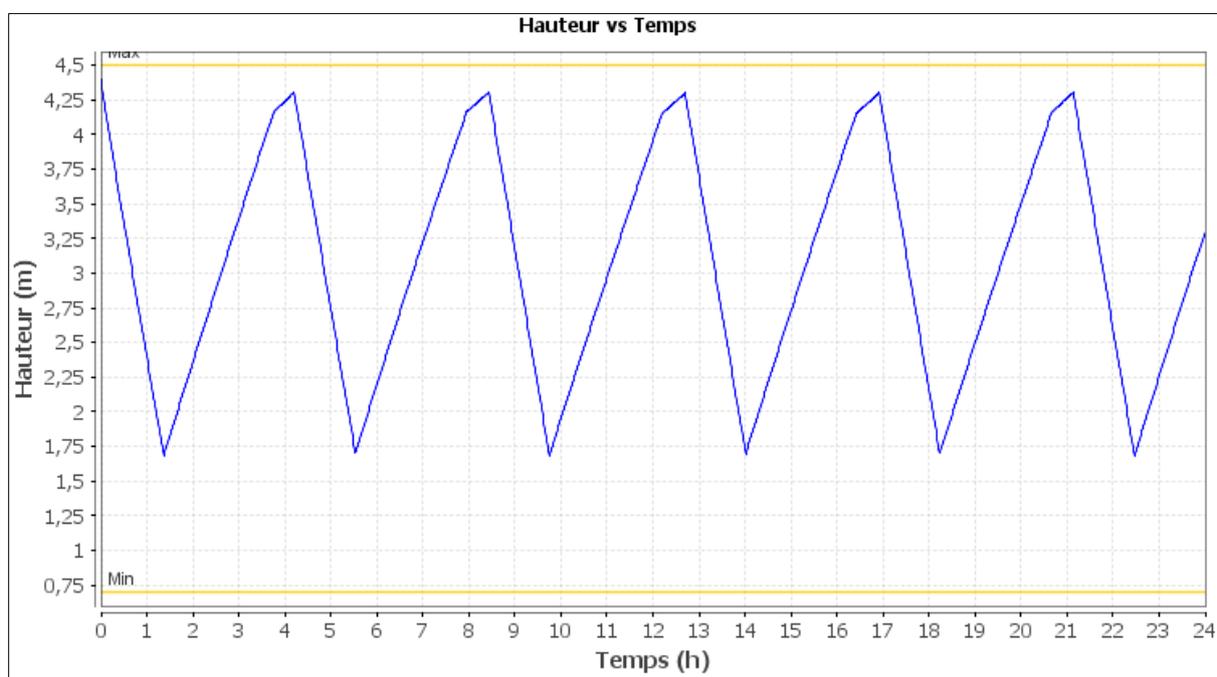
Annexe 1 : Schéma altimétrique



Annexe 2 : Marnages des réservoirs

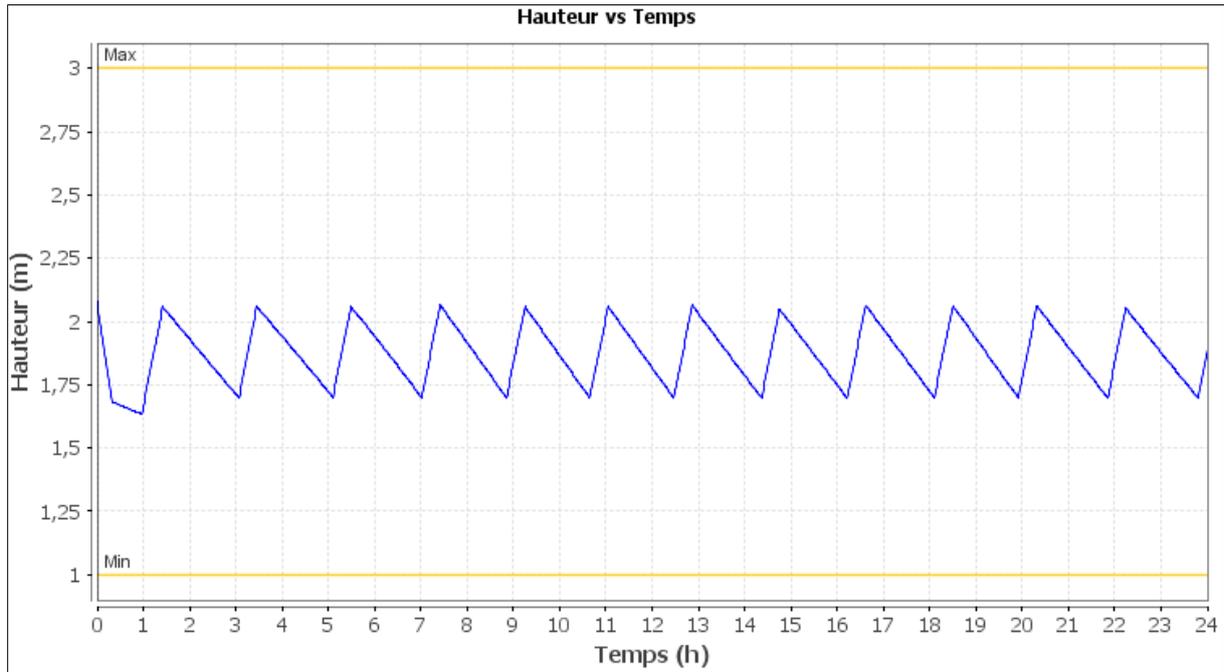


Courbe de marnage réservoir Grande Ravine

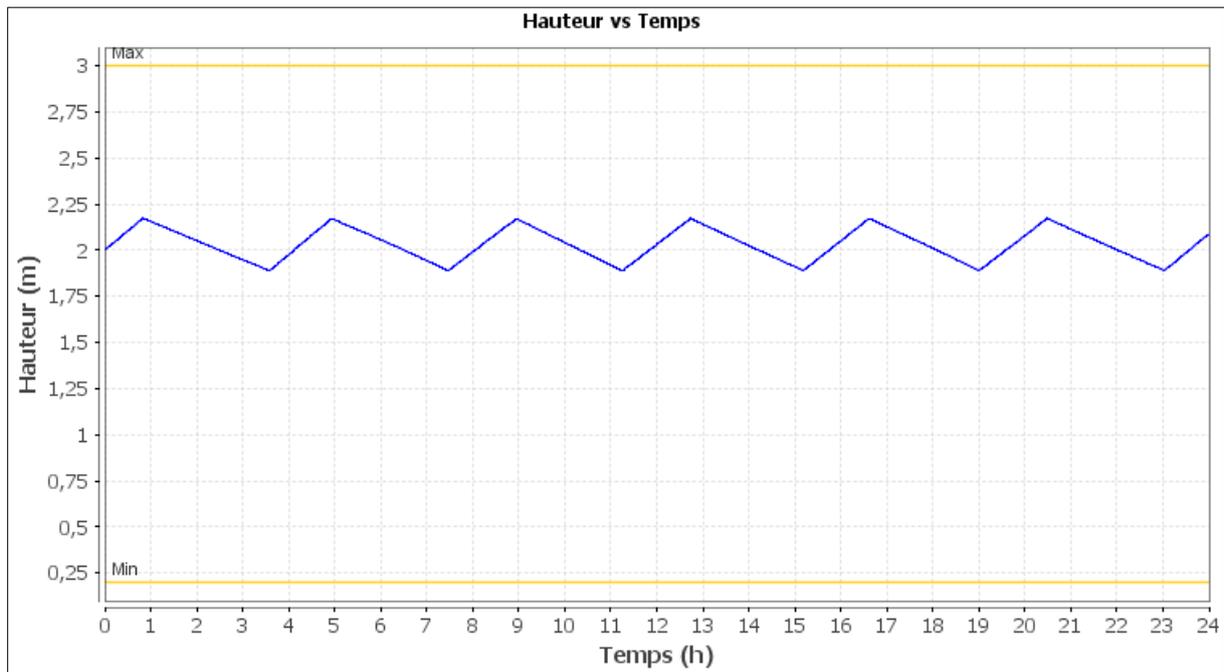


Courbe de marnage réservoir Petite Ravine

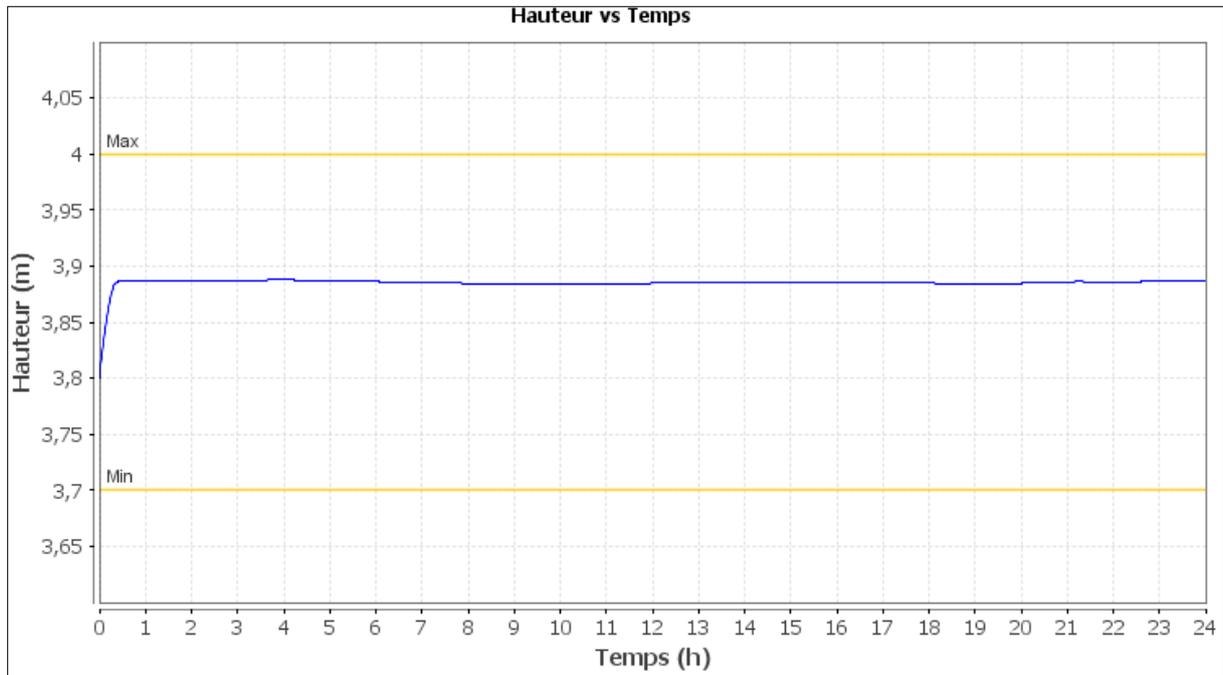
Modélisation du réseau d'eau potable de la commune de Saint Leu (Réunion)



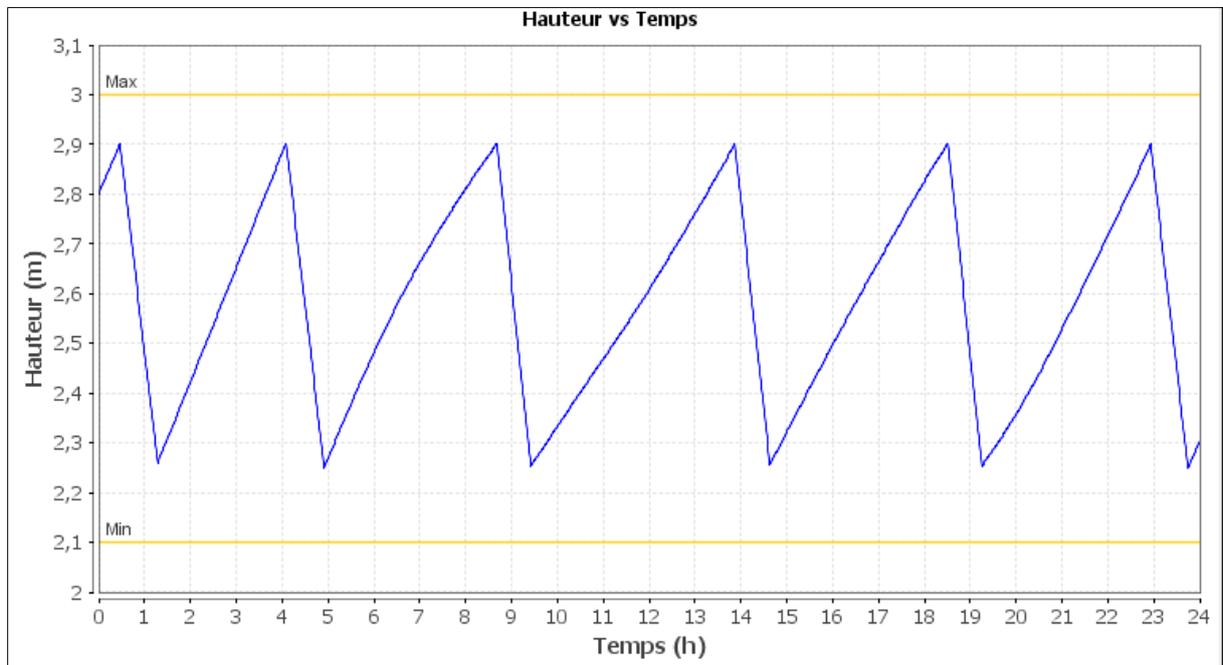
Courbe de marnage réservoir Piveteau



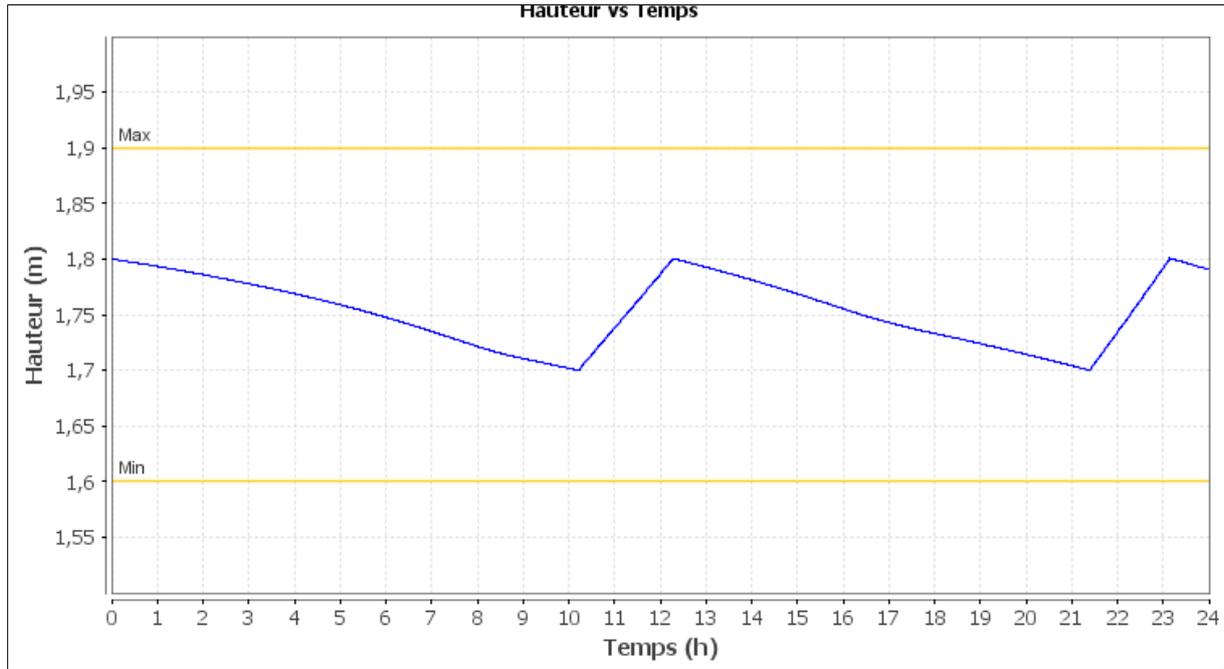
Courbe de marnage réservoir Bras-Mouton



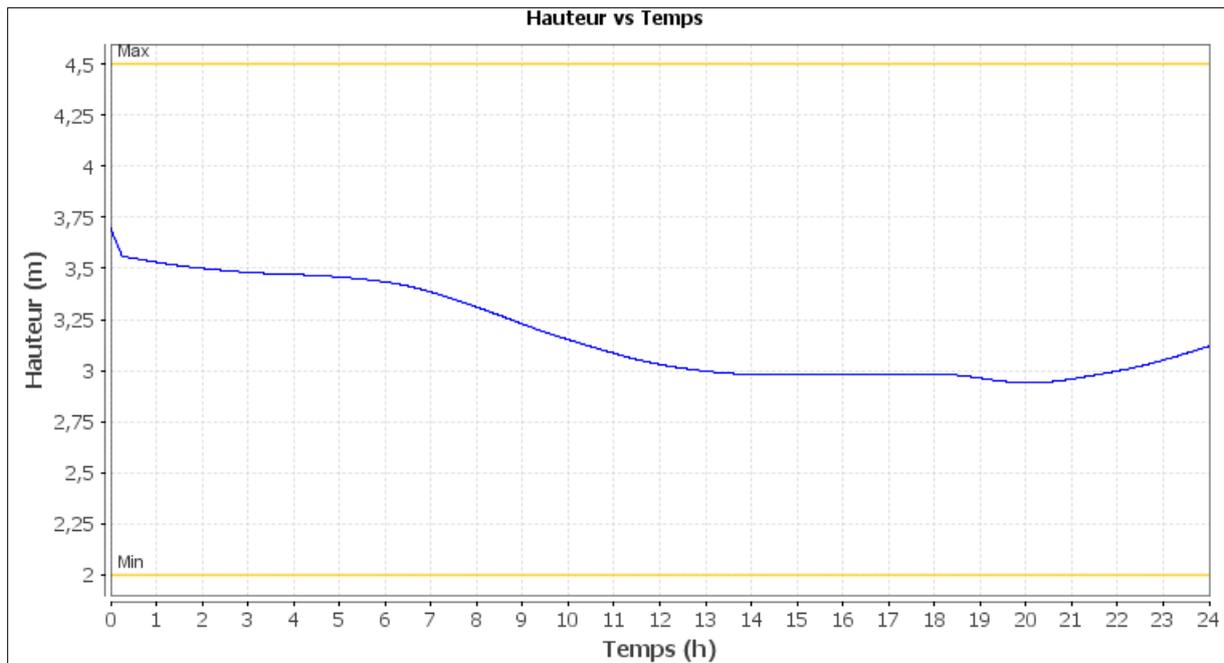
Courbe de marnage réservoir Safer



Courbe de marnage réservoir Etang

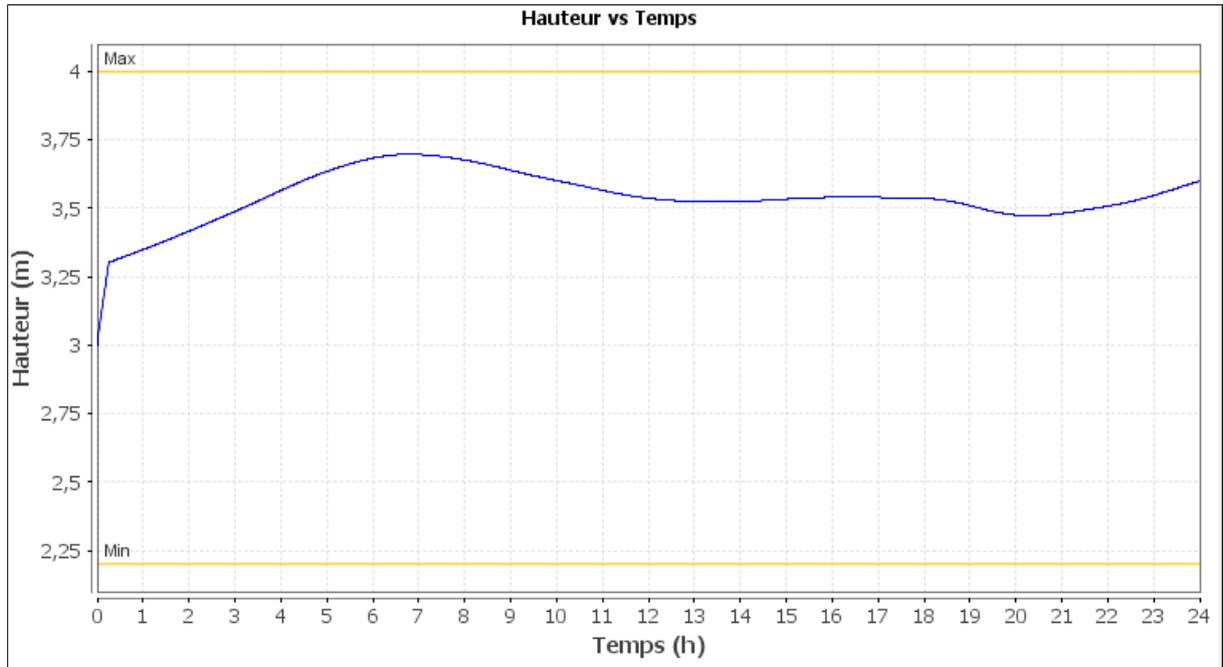


Courbe de marnage réservoir Léonard Techer

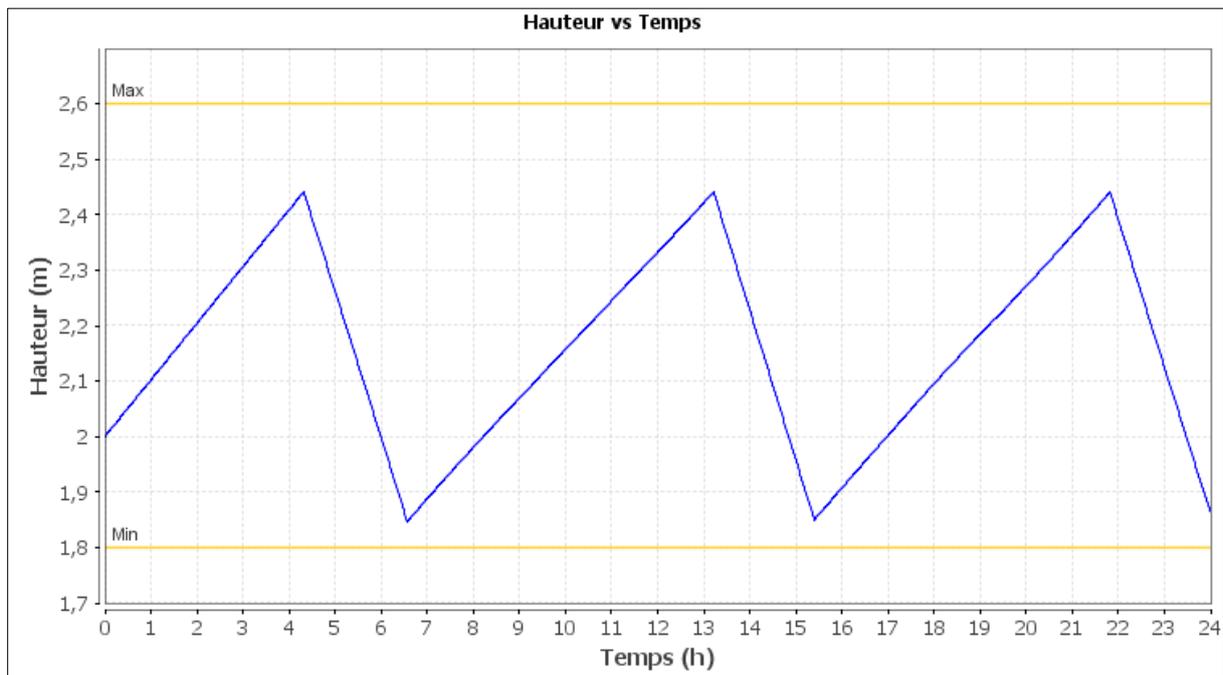


Courbe de marnage réservoir Maduran

Modélisation du réseau d'eau potable de la commune de Saint Leu (Réunion)

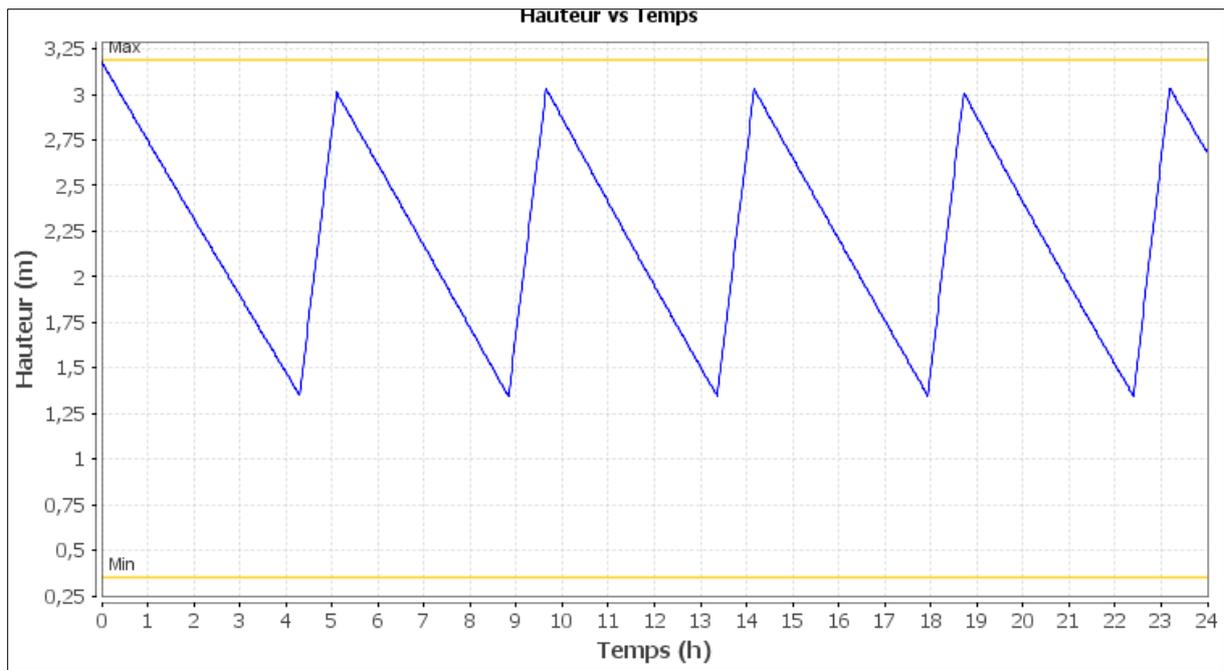


Courbe de marnage réservoir Piton 800



Courbe de marnage réservoir Piton 1000

Modélisation du réseau d'eau potable de la commune de Saint Leu (Réunion)



Courbe de marnage réservoir Plate 3

Annexe 3 : Consignes de régulation

Consigne pompes :

- Puits Grande Ravine → réservoir Grande Ravine
Pompe immergée : marche 1,25 m arrêt 2,5 m
- Station de reprise Grande Ravine
Pompe Grande Ravine → Petite Ravine 1 : marche 1,7 m arrêt 4,3 m
- Forage Petite Ravine → réservoir Petite Ravine 1
Pompe immergée : marche 1,7 m arrêt 4,3 m
- Forage Petit Louis → réservoir Petite Ravine 1
Pompe immergée : marche 1,7 m arrêt 4,15 m
- Station de reprise Petite Ravine 1
Pompe Petite Ravine 1 → Inter Bras-Mouton : marche 1,8 m arrêt 2,8 m
Pompe Petite Ravine 1 → Inter Piveteau : marche 2 m arrêt 3,8 m
- Inter Bras-Mouton → Bras-Mouton
Pompe de reprise : marche 1,89 m arrêt 2,17 m
- Inter Piveteau → Piveteau
Pompe de reprise : marche 1,7 m arrêt 2,05 m
- Piveteau → Petite Ravine 2
Pompe de reprise : marche 1,55 m arrêt 3 m
- Petite Ravine 2 → Notre Dame des Champs
Pompe de reprise : marche 1,8 m arrêt 1,98 m
- Reprise Leonard Techer → Leonard Techer
Pompe de reprise : marche 1,7 m arrêt 1,8 m
- Reprise Vaudeville → Vaudeville
Pompe de reprise : marche 2,67 m arrêt 2,78 m
- Reprise Grand-Fond → Etang
Pompe de reprise : marche 2,26 m arrêt 2,9 m
- Maduran → Piton 800
Pompe : marche 2,1 m arrêt 3,3 m
- Entre-Deux → Piton 1000
Pompe : marche 1,85 m arrêt 2,44m
- Station de traitement → Réservoir Plate 3
Pompe de reprise Bras de Jeanne : marche 1,35 m arrêt 3 m

Modélisation du réseau d'eau potable de la commune de Saint Leu (Réunion)

Réservoirs :

Grande Ravine → Ville : arrivée gravitaire, arrêt déclenché par robinet flotteur

Petite Ravine 1 → Safer : arrivée gravitaire, arrêt déclenché par robinet flotteur

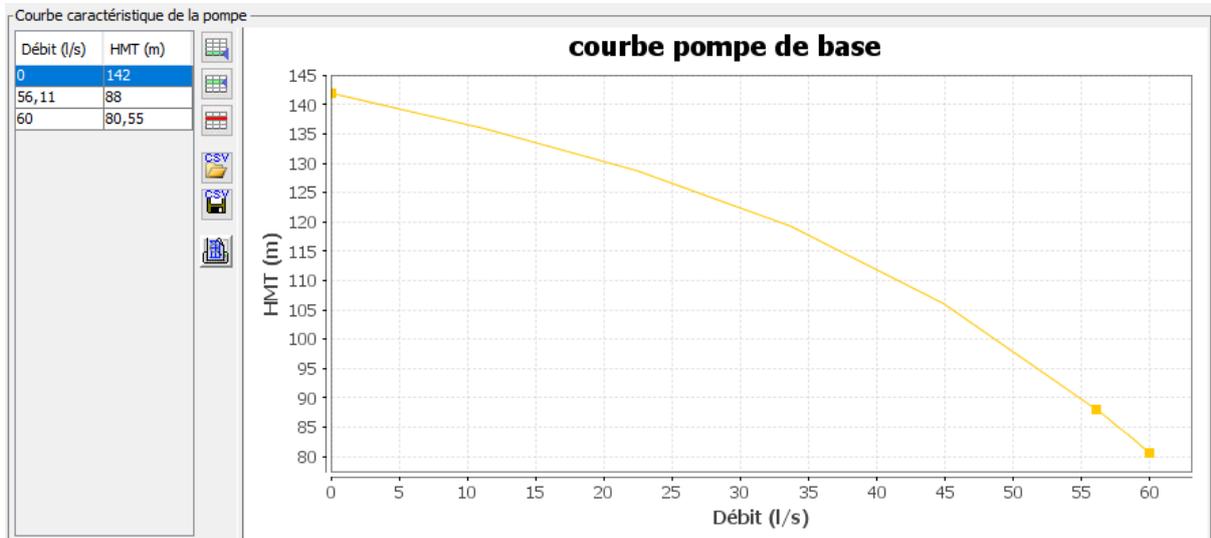
Plate 3 → Boulanger : arrivée gravitaire, arrêt déclenché par vanne motorisée

Réducteurs de pression :

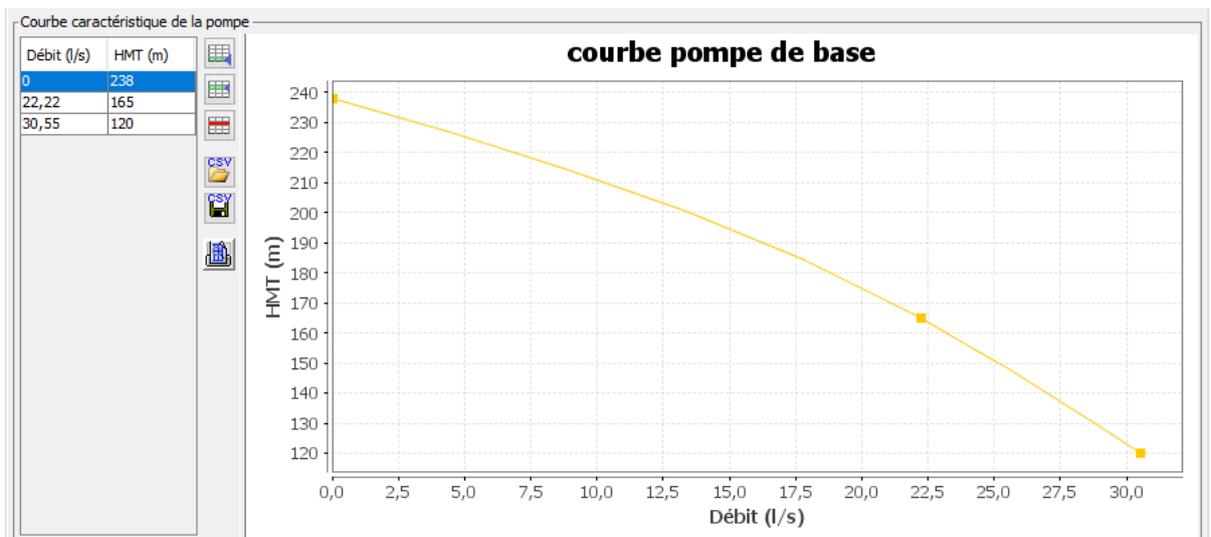
Consigne de régulation réglée entre 1,5-3 bars

Annexe 4 : Courbes caractéristiques des pompes

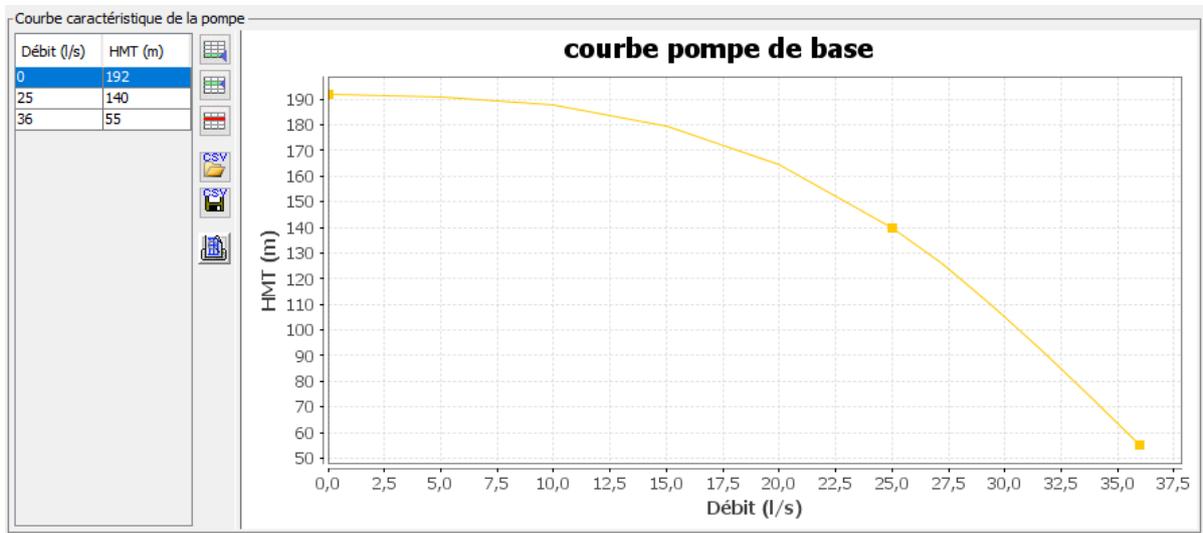
Pompe : Puits Grande Ravine :



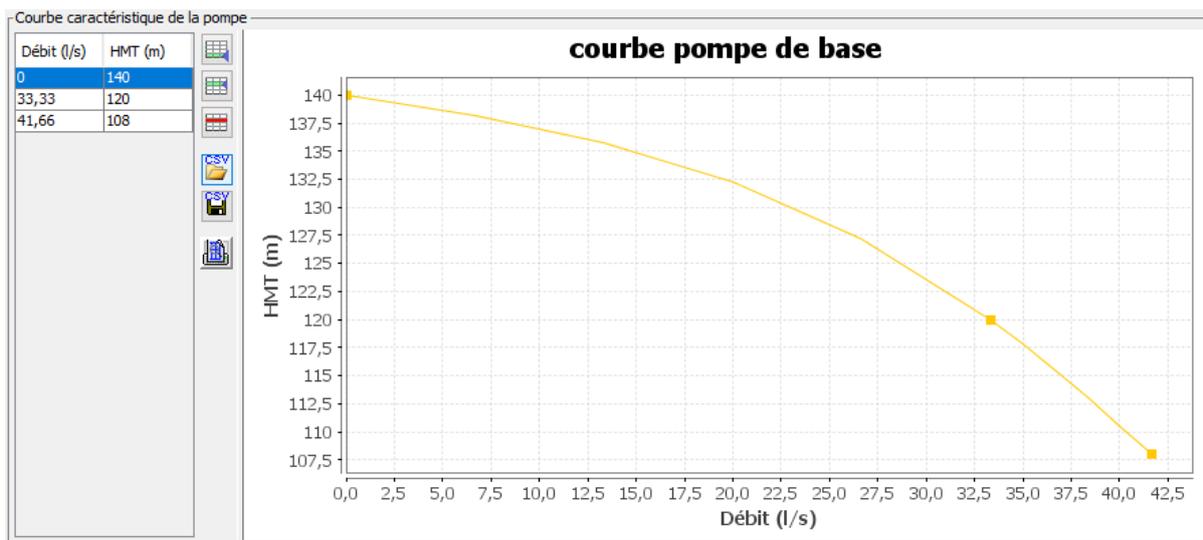
Pompe : Puits Petit Louis :



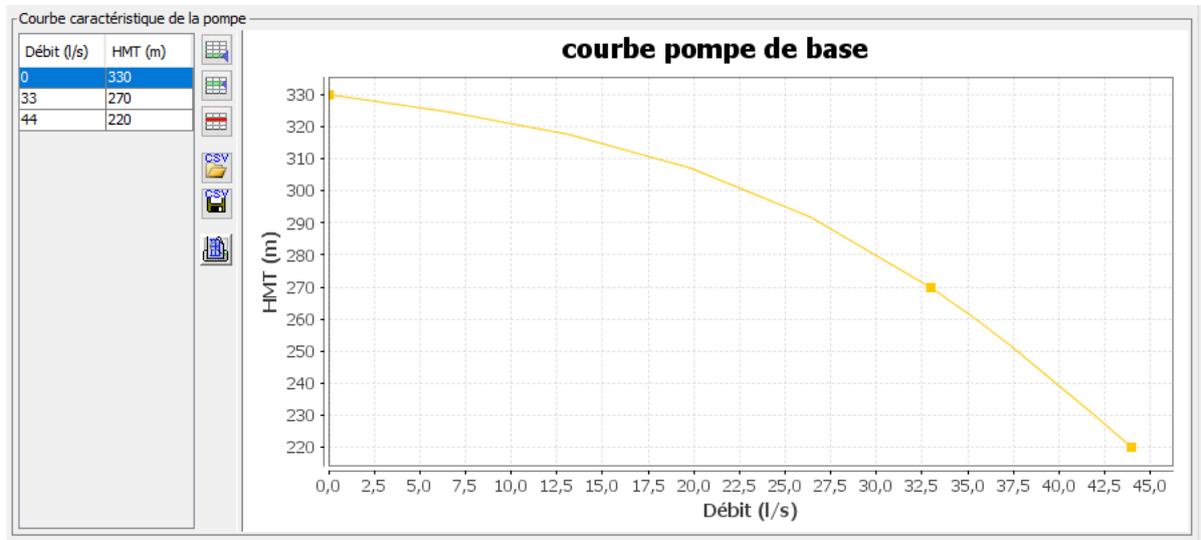
Pompe : Puits Petite Ravine1 :



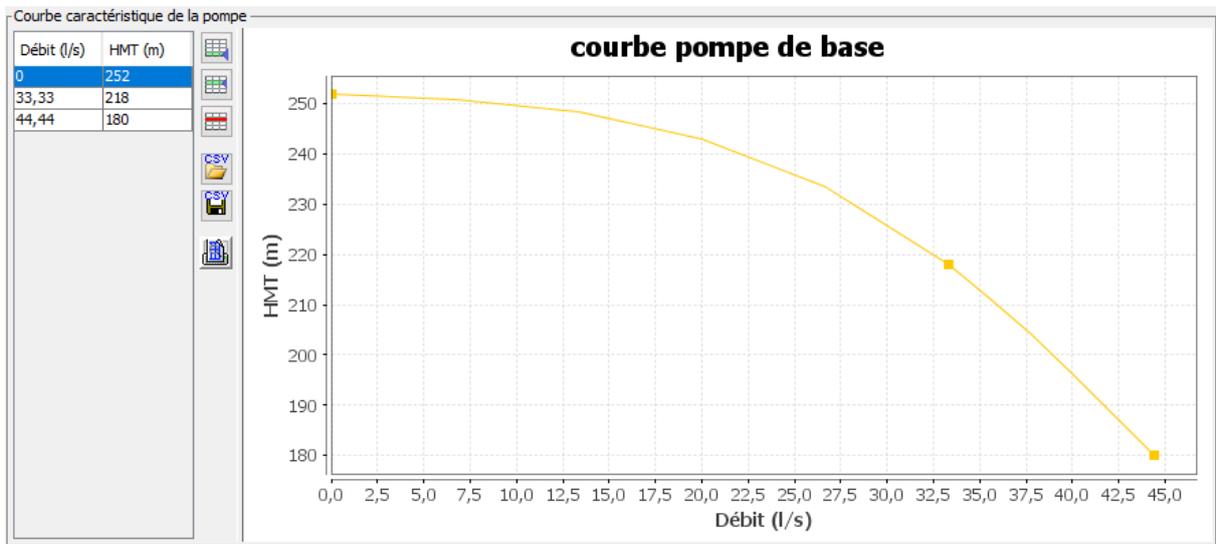
Pompe Reprise Piveteau _PRV2 :



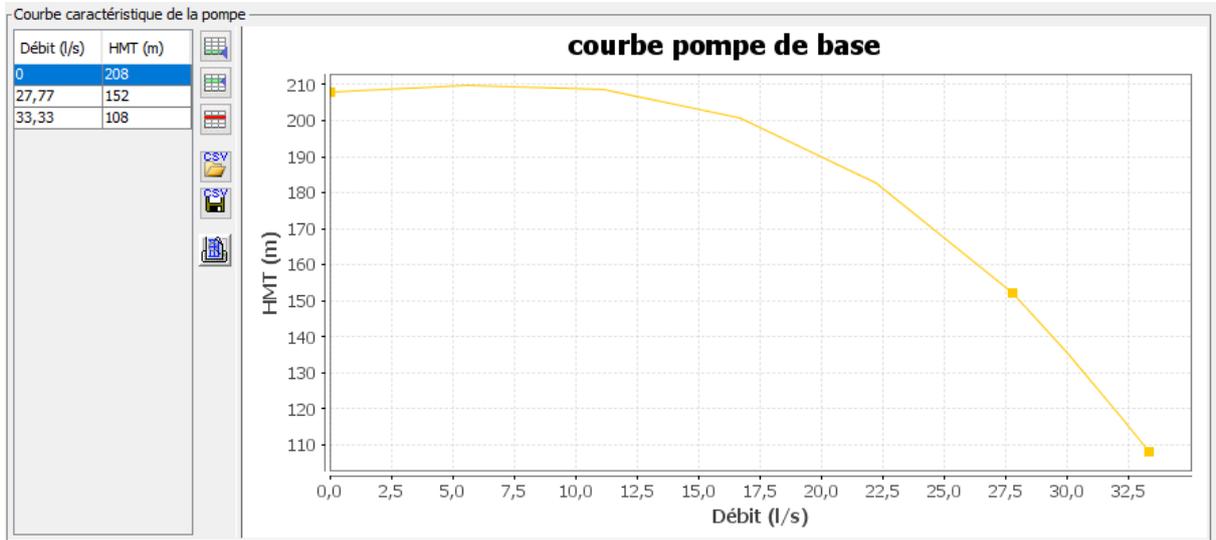
Pompe Reprise PRV1 _Inter Piveteau :



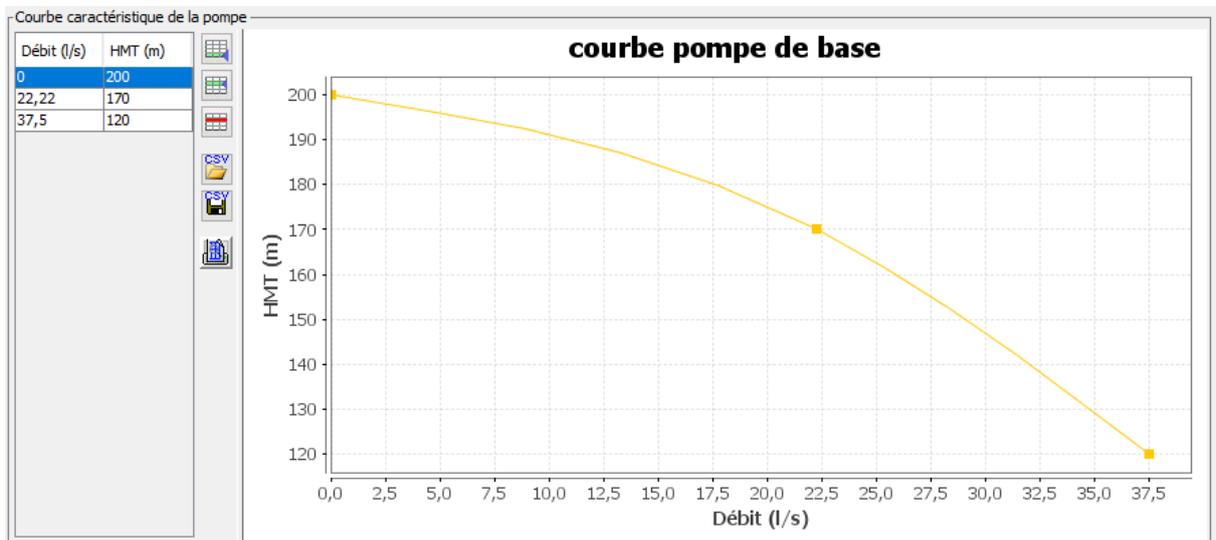
Pompe Reprise PRV2 _Notre Dame des Champs :



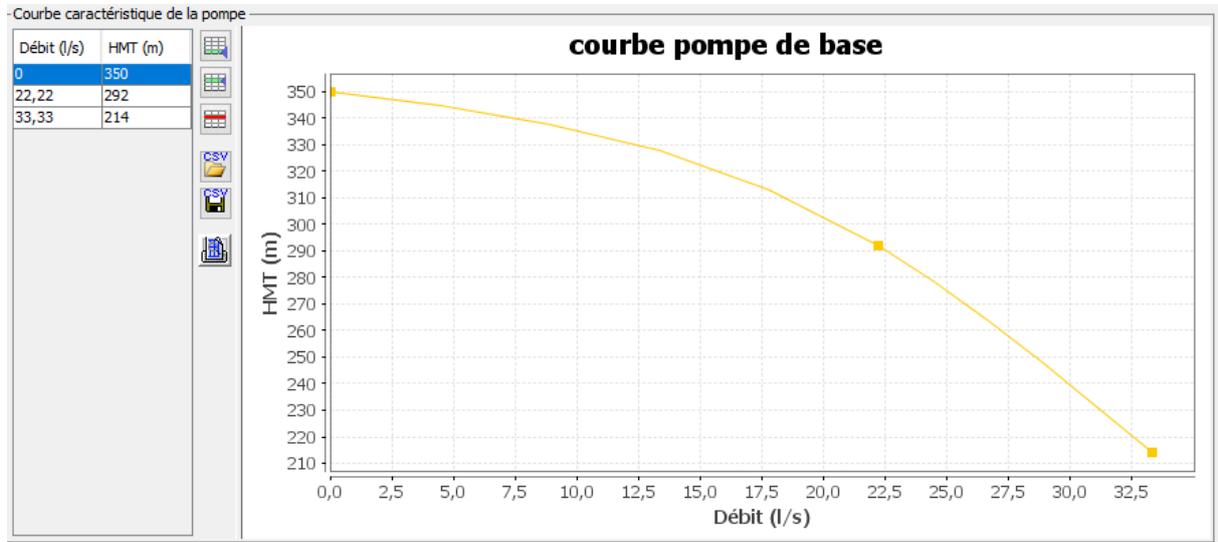
Pompe Reprise Maduran _Piton800 :



Pompe Reprise Petite Ravine1 _Inter Bras-Mouton :

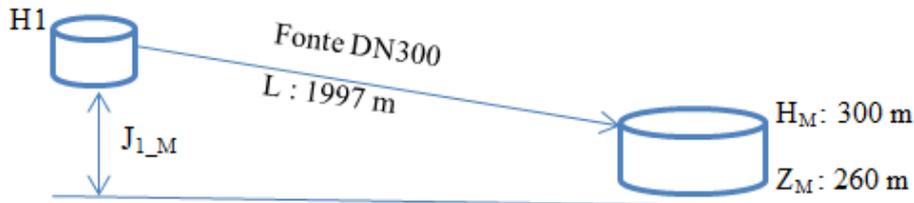


Pompe Reprise Inter Bras-Mouton _ Bras-Mouton :



Annexe 5 : Calcul de charge aux points de livraison SAPHIR 1 et 2

- Estimation de la charge H_1 au point de livraison SAPHIR 1 → Maduran :



Avec : rugosité $K=0,1 \text{ mm}$ et $L : 1,1 \quad M : 1,89 \quad N : 5,01$ et $C_{HW} : 136$

Le calcul sera fait à l'aide de la formule de Hazen Williams car la vitesse est $> 2 \text{ m/s}$

$$J(\text{m}) = (10,69 * Q^{1,85}) / D^{4,87}$$

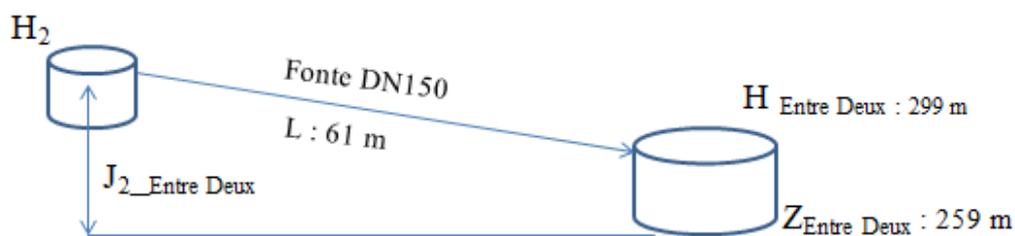
$Q : 183 \text{ l/s}$ (débit moyen de livraison au point Saphir 1)

Ainsi on obtient **$J \text{ totale}(\text{m}) = 37 \text{ m}$** de pertes de charge

$$J(\text{m}) = H_1 - H_M \rightarrow H_1 = J + H_M = 300 + 37$$

$H_1 = 337 \text{ m}$

- Estimation de la charge H_2 au point de livraison SAPHIR 2 → Entre Deux :



Avec : rugosité $K=0,1 \text{ mm}$ et $L : 1,1 \quad M : 1,89 \quad N : 5,01$ et $C_{HW} : 136$

Le calcul sera fait à l'aide de la formule de Calmon Lechart

$$J(\text{m}) = L * Q^M / D^N \quad \text{avec } Q : 26,67 \text{ l/s} \text{ (débit moyen de livraison au point Saphir 2)}$$

Ainsi on obtient **$J \text{ totale}(\text{m}) = 1 \text{ m}$** de perte de charge

$$J(\text{m}) = H_2 - H_M \rightarrow H_2 = J + H_M = 299 + 1$$

$H_2 = 300 \text{ m}$

