Etude de l'optimisation du réseau de distribution d'eau potable dans la partie haute de la Ravine des Cabris, La Réunion - France

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLOME D'INGENIEUR 2iE AVEC GRADE DE **MASTER**
SPECIALITE : GENIE DE L'EAU, DE L'ASSAINISSEMENT ET DES AMENAGEMENTS HYDRO-AGRICOLES

Présenté et soutenu publiquement le 19 Janvier 2026 par

Elvis Grèg Tegawendé TIEMTORE (20200306)

Directeur de mémoire : Pr. Harinaivo Anderson ANDRIANISA, Professeur Titulaire (CAMES), Enseignant-Chercheur, 2iE

Encadrant 2iE : Olivier COULIBALY, Enseignant, 2iE

Maître de stage : Philippe CHARBONNEL, Directeur de I.D.R

Structure (s) d'accueil du stage : I.D.R

Jury d'évaluation du mémoire :

Président : **Dr Boukary SAWADOGO**, Maître de Conférences (CAMES), 2iE

Membres et correcteurs : **Dr Lawani Adjadi MOUNIROU**, Maître de Conférences (CAMES), 2iE

Dr Axel BELEMTOUGRI

Promotion [2025/2026]

DEDICACES

Je dédie ce mémoire, résultat d'un long chemin d'efforts et de persévérance à mes parents Sylvestre TIEMTORE et KONVOLBO Josiane, pour les sacrifices silencieux et les encouragements constants tout au long de mon parcours. Merci d'être ma source de motivation et d'inspiration.

REMERCIEMENTS

Ce travail a été possible avec l'accompagnement et la participation de certaines personnes et institutions, à qui j'adresse l'expression de ma profonde gratitude.

Je tiens à remercier tout d'abord l'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE) ainsi que le corps professoral pour la qualité de l'enseignement dispensé et pour m'avoir permis de suivre ce parcours d'excellence.

J'exprime également ma reconnaissance à :

- L'Ecole Nationale du Génie de l'Eau et de l'Environnement de Strasbourg (ENGEES), pour l'acceptation au programme de mobilité académique et pour l'encadrement reçu. ;
- Pr. Harinaivo Anderson ANDRIANISA, Professeur Titulaire (CAMES), Enseignant-chercheur à 2iE ;
- M. Olivier COULIBALY, Enseignant à 2iE, pour sa disponibilité et ses conseils avisés ;
- Le bureau d'études technique IDR, pour m'avoir accueilli et pour l'opportunité offerte de réaliser le stage ;
- M. Philippe CHARBONNEL, Directeur de IDR, pour la confiance et l'encadrement de qualité qui ont grandement contribué à la réussite de ce travail ;
- M. Jean-Pierre MAZOUDI, Responsable étude de projets techniques et de travaux chez RUNEO, pour m'avoir fourni les données indispensables à la réalisation de l'étude.

Enfin, nous remercions également toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à l'aboutissement de ce travail.

RESUME

Dans un contexte de modernisation et d'amélioration continue des services publics d'eau, la Communauté Intercommunale des Villes Solidaires (CIVIS) a engagé une étude d'optimisation du réseau de distribution d'eau potable dans les hauts de la Ravine des Cabris sur la commune de Saint-Pierre à la Réunion. Le réseau d'eau de ce quartier est confronté à des problèmes de rendement et de pression affectant la qualité du service aux usagers, la performance et la durabilité du réseau. Ce mémoire intitulé : « Etude de l'optimisation du réseau de distribution d'eau potable dans la partie haute de la Ravine des Cabris » s'inscrit dans l'objectif de mener les études nécessaires visant à améliorer les performances du réseau de distribution d'eau potable.

Des modélisations hydrauliques sur le logiciel Porteau ont été effectuées pour diagnostiquer le fonctionnement actuel et tester des solutions d'amélioration. Le diagnostic a révélé des vitesses élevées sur certains tronçons, des pressions élevées et insuffisantes sur certains nœuds du réseau. Deux scénarii d'amélioration ont été testés en situation actuelle et en projection future. Les deux prévoient la création de réservoirs supplémentaires, une nouvelle sectorisation du réseau, la pose de conduites et équipements hydrauliques avec des différences entre les scénarii concernant le mode d'alimentation du réservoir, le linéaire de conduites à poser et le nombre d'équipements à installer.

Les simulations en projection future ont permis de confirmer des constats faits sur les résultats des simulations en situation actuelle et d'identifier les insuffisances futures afin de compléter les propositions d'amélioration du réseau. L'évaluation financière pour la mise en place de chaque proposition indique un coût estimé à 15 668 485 € pour l'option incluant un système de pompage contre 10 648 190 € pour celle sans pompage.

Mots clés :

1 - AEP

2 - Distribution

3 - Modélisation

4 - Porteau

5 - Ravine des Cabris

ABSTRACT

In a context of modernization and continuous improvement of public water services, the Intercommunal Community of Solidarity Cities has undertaken a study to optimize the drinking water distribution network in the Ravine des Cabris district of Saint-Pierre, Reunion Island. The water network in this district is facing efficiency and pressure problems affecting the quality of service provided to users, as well as the performance and sustainability of the network. This report, entitled "Study of the optimization of the drinking water distribution network in the upper part of the Ravine des Cabris", is part of the objective to carry out the necessary studies to improve the performance of the drinking water distribution network.

Hydraulic modelling using Porteau software was carried out to diagnose current operation and test improvement solutions. The diagnosis revealed high speeds on some sections, and high and insufficient pressures on some network nodes. Two improvements scenarios were tested for the current situation and for future projections. Both involved the creation of additional reservoirs, a new network sectorization, and the installation of hydraulic pipes and equipment, with differences between the scenarios in terms of reservoir supply mode, the length of pipes to be laid and the number of pieces of equipment to be installed.

The future projection simulations confirmed the findings of the current situation simulations, and identified future shortcomings in order to complete the network improvement proposals. The financial evaluation for the implementation of each proposal indicates an estimated cost of €15,668,485 for the option including a pumping system, versus €10,648,190 for the option without pumping.

Keywords:

1 - Drinking Water Supply

2 - Distribution

3 - Modelling

4 - Porteau

5 - Ravine des Cabris

LISTE DES ABREVIATIONS

AC : Amiante Ciment

AEP : Alimentation en Eau Potable

CIVIS : Communauté Intercommunale des Villes Solidaires

DN : Diamètre nominal

FD : Fonte ductile

HMT : Hauteur Manométrique Totale

IGN : Institut National Géographique

INSEE : Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques

NGR : Nivellement Géographique de la Réunion

PEHD : Polyéthylène Haute Densité

PLU : Plan Local d'Urbanisme

PPRI : Plan de Prévention des Risques d'Inondation

PPRMT : Plan de Prévention des Risques de Mouvement de Terrain

PPRN : Plan de Prévention des Risques Naturels

PVC : Polychlorure de Vinyle

UTEP : Unité de Traitement d'Eau Potable

SOMMAIRE

DEDICACES ..... *i*

REMERCIEMENTS ..... *ii*

RESUME ..... *iii*

ABSTRACT ..... *iv*

LISTE DES ABREVIATIONS ..... *v*

SOMMAIRE ..... *vi*

LISTE DES TABLEAUX ..... *viii*

INTRODUCTION *1*

I. PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL ET DE LA ZONE D'ETUDE 2

I.1. Présentation de la structure d'accueil **2**

I.2. Présentation de la zone d'étude **3**

II. PRESENTATION DU PROJET *10*

II.1. Contexte et justification **10**

II.2. Objectifs de l'étude **11**

II.3. Résultats attendus **11**

II.4. Etat des lieux **11**

III. MATERIELS ET METHODOLOGIE DE L'ETUDE *18*

III.1. Matériels **18**

III.2. Méthodologie de l'étude **18**

IV. RESULTATS DE L'ETUDE *33*

IV.1. Détermination des abonnés **33**

IV.2. Détermination de la consommation moyenne, du débit de distribution de la partie basse et du débit spécifique des abonnés non domestiques **33**

IV.3. Simulation de diagnostic **35**

IV.4. Simulation des scenarii d'amélioration en situation actuelle 38

IV.5. Simulation des scenarii d'amélioration en situation future 45

IV.6. Capacité du réservoir et dimensionnement de la conduite d'adduction 48

IV.7. Système de pompage 50

IV.8. Évaluation des risques de coup de bélier 53

V. DISCUSSIONS ET RECOMMANDATIONS 54

VI. ESTIMATION FINANCIERE 55

VII. ETUDE ENVIRONNEMENTALE ET SOCIALE 56

VII.1. Contexte réglementaire 56

VII.2. Identification des impacts 58

VII.3. Mesures d'atténuation des impacts 59

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS 61

CONCLUSION 61

RECOMMANDATIONS 62

BIBLIOGRAPHIE 63

ANNEXES I

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Liste des logiciels utilisés pour l'étude 18
Tableau 2 : Paramètres d'entrée des modèles de consommation pour les simulations d'amélioration 24
Tableau 3 : Consommation journalière moyenne par habitant 33
Tableau 4 : Estimation du débit de distribution de la partie basse de la Ravine des Cabris 34
Tableau 5 : Débit spécifique des établissements scolaires 35
Tableau 6 : Rugosité des conduites 36
Tableau 7 : Résultats de la simulation de diagnostic 36
Tableau 8 : Evolution des abonnés domestiques de la commune de Saint-Pierre entre 2017 et 2021 45
Tableau 9 : Estimation du débit de distribution de la partie basse de la Ravine des Cabris en situation future 45
Tableau 10 : Capacité du réservoir projeté 48
Tableau 11 : Estimation du débit d'adduction pour les deux scénarii en 2045 49
Tableau 12 : Dimensionnement de la conduite d'adduction du réservoir projeté pour le scénario 1 49
Tableau 13 : Dimensionnement de la conduite d'adduction du réservoir projeté pour le scénario 2 50
Tableau 14 : Estimation de la perte de charge de la conduite d'adduction du réservoir projeté 51
Tableau 15 : Coordonnées des courbes caractéristiques 51
Tableau 16 : Caractéristiques de la pompe choisie 53
Tableau 17 : Evaluation du risque de coup de bélier 53
Tableau 18 : Estimation globale des coûts des deux scénarii 55

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Carte de situation de la Réunion 3
Figure 2 : Carte de situation de la Ravine des Cabris 5
Figure 3 : Températures moyennes mensuelles de la Ravine des Cabris (Source : Le planificateur ACONTRESENS) 6
Figure 4 : Précipitations moyennes mensuelles de la Ravine des Cabris (Source : Le planificateur ACONTRESENS) 7
Figure 5 : Carte altimétrique de la Ravine des Cabris 8
Figure 6 : Représentation du secteur de distribution d'eau de la Ravine des Cabris et des secteurs voisins (source : SDAEP Saint-Pierre) 12
Figure 7 : Synoptique de la partie ouest du réseau de la commune de Saint-Pierre 15
Figure 8 : Le réseau de distribution d'eau potable de la partie haute de la Ravine des Cabris 16
Figure 9 : Réseau de distribution de la partie basse de la Ravine des Cabris 17
Figure 10 : Résultat graphique de la simulation de diagnostic 37
Figure 11 : Illustration globale du scénario 1 (fond de carte Géoportail) 41
Figure 12 : Résultat graphique de la simulation du scénario 1 en situation actuelle 42
Figure 13 : Illustration du scénario 2 (fond de carte Géoportail) 43
Figure 14 : Résultat graphique de la simulation du scénario 2 en situation actuelle 44
Figure 15 : Résultat graphique de la simulation du scénario 1 en situation future 46
Figure 16 : Résultat graphique de la simulation du scénario 2 en situation future 47
Figure 17 : Point de fonctionnement du système de pompage 52
Figure 18 : Courbe caractéristique des deux pompes Grundfos associées en parallèle 52
Figure 19 : Localisation projetée des réservoirs selon le PPRN 56
Figure 20 : Extrait du PLU sur les emplacements projetés des réservoirs 57

INTRODUCTION

Garantir un accès continu, fiable et de qualité à l'eau potable constitue aujourd'hui un enjeu majeur pour les collectivités françaises. La Réunion, département français situé au cœur de l'océan indien, fait face à une croissance démographique soutenue, à une urbanisation rapide et à des exigences croissantes, et dispose de réseaux d'eaux confrontés à de multiples contraintes techniques, économiques et environnementales.

Dans ce contexte, la performance des réseaux d'eau potable devient un levier primordial pour assurer un service public durable et de qualité en permanence. Alors que l'eau semble acquise pour les usagers, les réseaux d'eaux sont confrontés à des dysfonctionnements liés à des contraintes de terrain et à des choix d'aménagement rétrogrades et nécessitent une amélioration continue. Le réseau d'eau potable de la commune de Saint-Pierre, située au sud de la Réunion illustre ces enjeux. Il présente un indice linéaire de pertes de 39,54 m^3/km/mois, un rendement global de 56 % et plusieurs secteurs de distribution aux performances insatisfaisantes [1].

La Ravine des Cabris, quartier de Saint-Pierre avec le réseau de distribution d'eau potable le plus étendu, se caractérise par une démographie croissante et une topographie complexe, avec des altitudes comprises entre 150 et 440 m NGR et rencontre des difficultés de pression nécessitant une intervention afin de garantir la continuité et la qualité du service, la durabilité du patrimoine et la préservation de la ressource en eau. C'est dans cette optique que la Communauté Intercommunale des Villes Solidaires (CIVIS) a exigé une étude visant à diagnostiquer le fonctionnement de son réseau et identifier des solutions d'optimisation pour résoudre les problèmes et améliorer les performances du réseau. Notre mémoire intitulé « Etude de l'optimisation du réseau de distribution d'eau potable dans la partie haute de la Ravine des Cabris » s'inscrit dans l'objectif de mener les études nécessaires pour l'amélioration des performances du réseau de distribution d'eau potable de la partie haute de la Ravine des Cabris.

Notre mémoire est principalement composé de plusieurs parties. Dans un premier temps, nous présenterons de façon succincte les généralités sur la zone d'étude, l'étude et le réseau d'eau potable. Dans un second temps, nous détaillerons les matériels utilisés et les méthodologies suivies pour la réalisation de l'étude. Dans un troisième temps, nous présenterons les résultats issus de l'étude incluant les différentes simulations, analyses et recommandations. Enfin, nous présenterons l'estimation financière et l'étude environnementale.

I. PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL ET DE LA ZONE D'ETUDE

I.1. Présentation de la structure d'accueil

I.1.1. Présentation de IDR

Crée le 01/09/1997, I.D.R est un bureau d'ingénierie et de maîtrise d'œuvre en hydraulique urbaine et infrastructures de Voiries et Réseaux Divers (V.R.D). Situé sur l'Ile de la Réunion dans la ville du Tampon au 29 Rue George Pompidou, il compte à ce jour 5 personnes et est composé d'une équipe technique et d'une responsable administrative. L'équipe technique est composée de 3 ingénieurs en Génie Civil et Hydraulique sous la direction du directeur du bureau d'études. La gestion administrative et le secrétariat sont assurés par la responsable administrative, assistée par le directeur du bureau d'études.

IDR travaille avec les collectivités et inter communautés de commune de l'Ile de la Réunion via les marchés publics et travaille également pour les secteurs privés.

Les domaines de compétences en hydraulique s'orientent vers les réseaux d'eau potable et d'irrigation (traitement, adduction et distribution), les réseaux d'eaux usées (traitement et réseaux), les infrastructures et ouvrages divers (VRD, centre d'enfouissement technique, déchetterie, station de compostage).

I.1.2. Missions et prestations

Dans les différents domaines de compétence, I.D.R réalise les missions d'ingénierie et d'assistance suivantes :

- Etudes et choix des sites ;
- Dimensionnement et Conception d'Ouvrages ;
- Maîtrise d'œuvre ;
- Diagnostic et optimisation d'ouvrages ;
- DAO : Dessins Assistés par Ordinateur ;
- Mise en route d'installations ;
- Assistance à la gestion & l'exploitation de la STEP ;
- Assistance aux Collectivités locales.

A cela s'ajoute les prestations réalisées que sont :

- AUDIT ;

- Etudes de faisabilités ;
- 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.

I.2. Présentation de la zone d'étude

I.2.1. Situation géographique

L'Ile de la Réunion est un territoire d'outre-mer français. D'une superficie de 2512 km², elle est située dans l'hémisphère sud, à l'est de l'Afrique, dans l'océan indien. Elle se trouve à environ 700 km à l'est de Madagascar. La figure 1 illustre la localisation géographique de la Réunion.

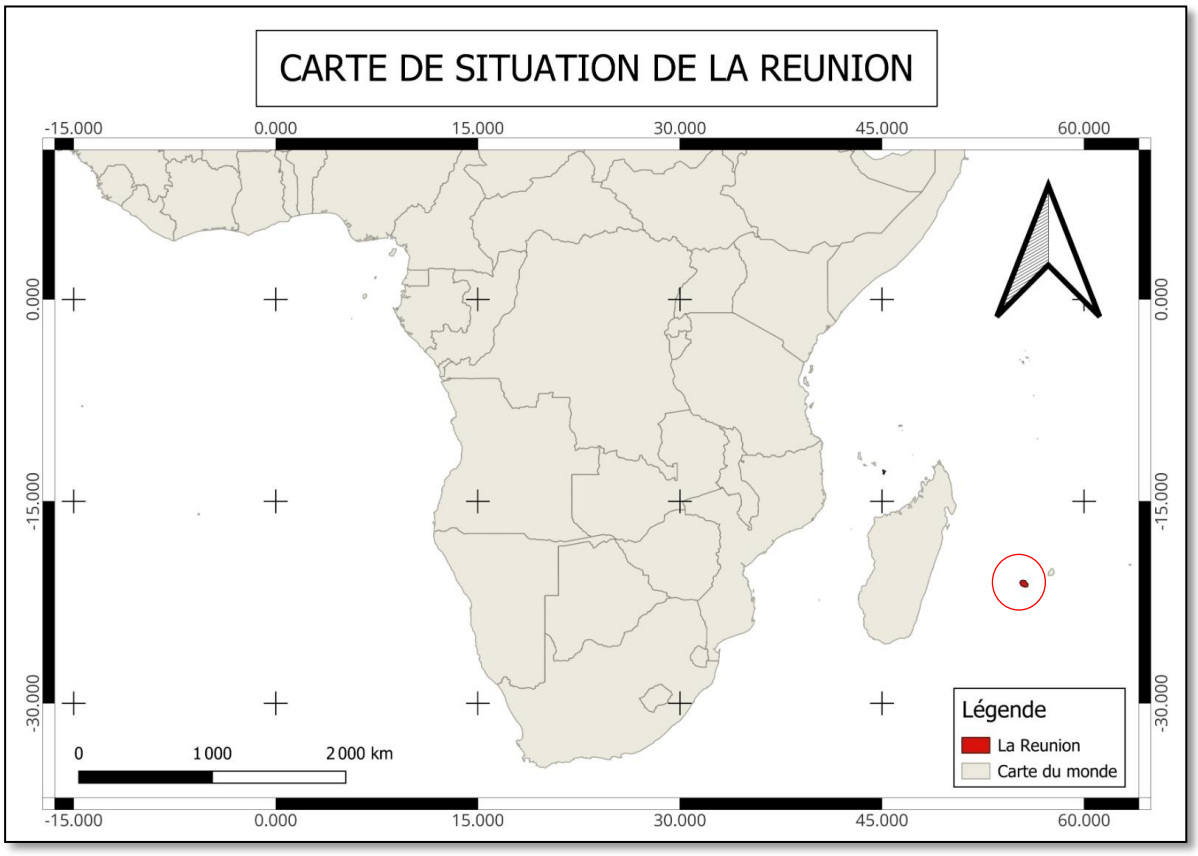


Figure 1 : Carte de situation de la Réunion

Notre zone d'étude qui est la Ravine des Cabris est un quartier résidentiel situé au nord-nord-ouest de la commune de Saint-Pierre, sur l'Ile de la Réunion.

Il est traversé par une ravine du même nom et a une superficie totale de 15,10 km² (INSEE 2021). Il se compose de 5 sous zones à savoir les hauts de la Ravine des Cabris, la Ravine des Cabris Centre, la Ravine des Cabris Est, la Ravine des Cabris Sud et les Assisses-Trois Mares selon les contours définis par l'INSEE.

Il est entouré au Sud-Ouest par Bois d'Olives et la Ligne Paradis, au Sud Est par la Ligne des Bambous, au Nord par la commune du Tampon et au Nord-Ouest par la commune de l'Entre-Deux. La figure 2 illustre la localisation géographique de la Ravine des Cabris.

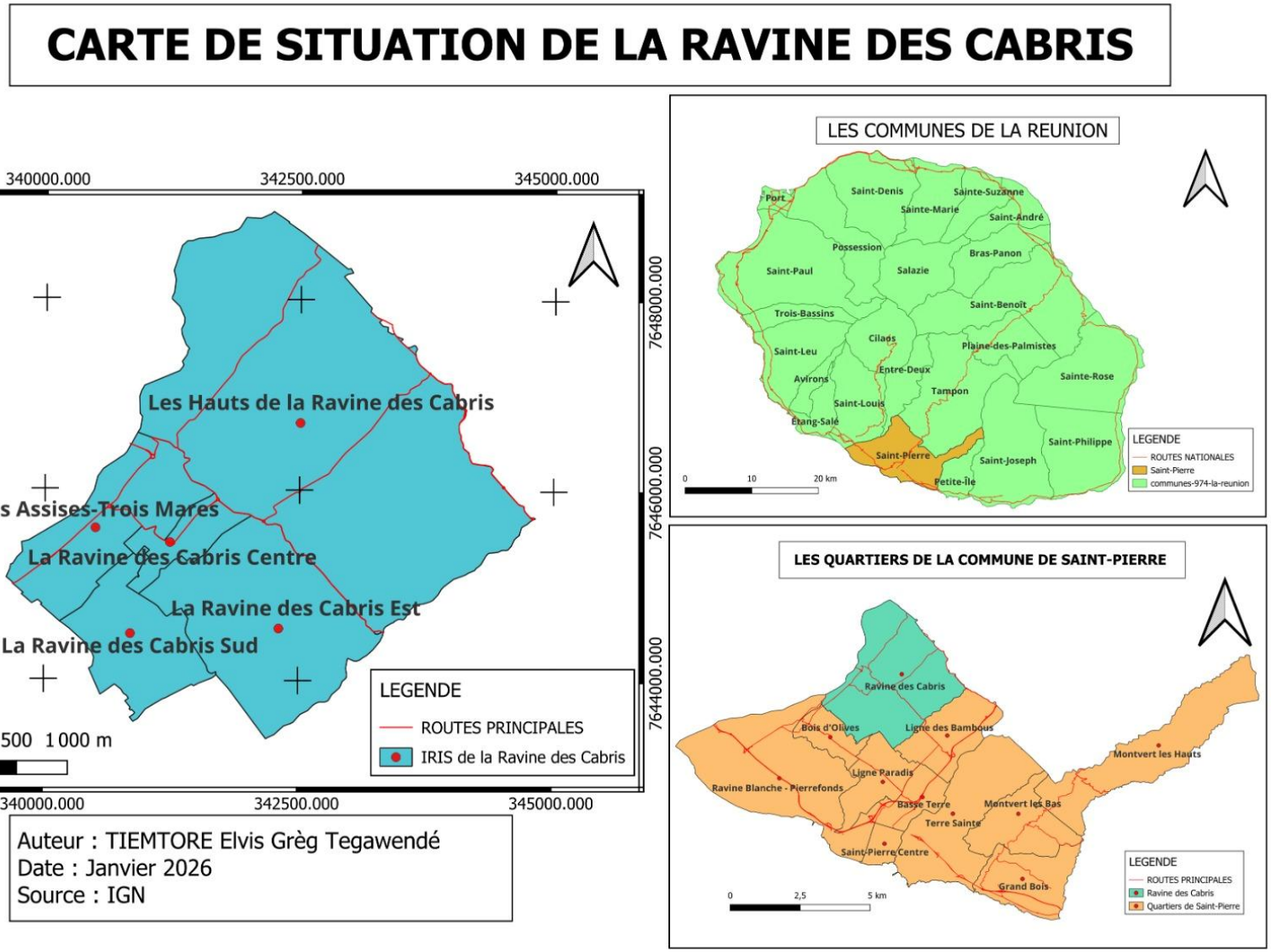


Figure 2 : Carte de situation de la Ravine des Cabris

I.2.2. Climat et pluviométrie

La Ravine des Cabris bénéficie d'un climat désertique et chaud. L'été austral caractérisé par une saison chaude et humide s'étend sur six mois de novembre à avril. L'hiver austral est caractérisé par une saison sèche et tempérée de six mois entre mai et octobre.

La température moyenne annuelle à la Ravine des Cabris est de 25,4 °C. Janvier est le mois le plus chaud de l'année avec une température moyenne de 28,2 °C. Juillet est le mois le plus froid de l'année avec une température moyenne de 22,1 °C. La figure 3 représente l'évolution des températures moyennes mensuelles de la Ravine des Cabris au cours d'une année.

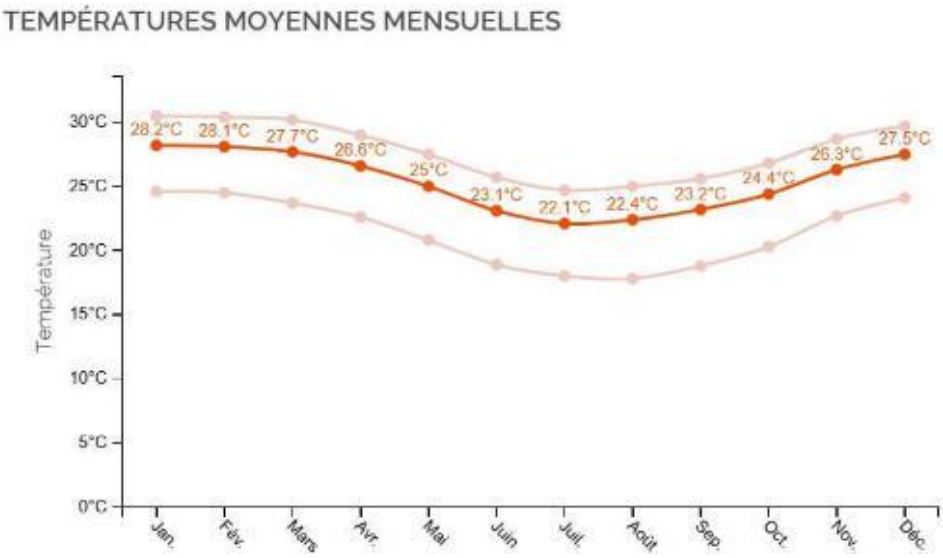


Figure 3 : Températures moyennes mensuelles de la Ravine des Cabris (Source : Le planificateur ACONTRESENS)

La pluviométrie moyenne annuelle à la Ravine des Cabris est de 608,5 mm. Septembre est le mois le plus sec avec une moyenne pluviométrique de 16,1 mm. Les précipitations les plus importantes sont constatées au mois d'Avril avec une valeur moyenne de 115,9 mm. La figure 4 montre les précipitations moyennes mensuelles en mm de la Ravine des Cabris au cours d'une année.

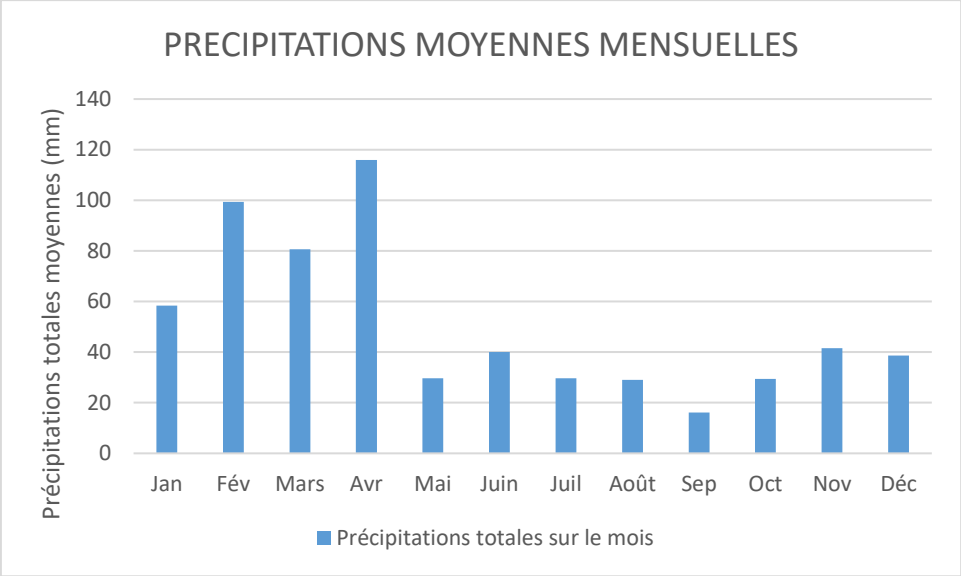


Figure 4 : Précipitations moyennes mensuelles de la Ravine des Cabris (Source : Le planificateur ACONTRESENS)

L'humidité relative est élevée et va de 50 % en hiver jusqu'à 95 % en été ce qui a pour conséquence de rendre l'atmosphère lourde lors de la saison chaude. Il existe cependant des catastrophes naturelles sur l'île de la Réunion comme les cyclones se déroulant principalement entre décembre et mars.

I.2.3. Hydrographie

Le quartier de la Ravine des Cabris est traversé par une ravine portant le même nom et trois autres ravines à savoir le Bras de Douane, Bras d'Antoine et la ravine de Trois Mares. Le quartier est entouré par la ravine Blanche et la rivière du Bras de la Plaine. La ravine Blanche marque la limite entre le quartier de la Ravine des Cabris et celui de la Ligne des Bambous tandis que la rivière du Bras de la Plaine marque la limite Nord-Ouest de la Ravine des Cabris. La ravine des Cabris est la plus grande ravine traversant la zone d'étude dont elle a donné son nom. Elle draine un bassin versant de 38 Km^2, s'étend sur 21 kilomètres et reçoit les apports principaux du Bras d'Antoine et de la ravine Trois Mares [2]. Elle s'écoule depuis la commune du Tampon, traverse la commune de Saint Pierre en passant par le quartier de la Ravine des Cabris et Bois d'Olive avant de se jeter dans l'océan Indien.

I.2.4. Géologie

La Réunion est une île située dans l'océan Indien créée par l'activité d'un point chaud. Cette activité a donné naissance à deux massifs volcaniques majeurs qui composent l'île à savoir le Piton des neiges et le Piton de la Fournaise.

La Ravine des Cabris repose sur la phase IV de la formation du massif volcanique du Piton de la Fournaise. La phase IV correspond à une période de volcanisme récente du volcan et est caractérisée par des coulées de basaltes, basaltes à olivine, océanites et des basaltes à nodules de péridot (BRGM). Le quartier de la Ravine des Cabris est cependant exposé à un risque modéré de tremblement de terre du fait de l'activité toujours présente mais rare du volcan du Piton de la Fournaise sur l'île.

I.2.5. Relief, sol et végétation

Le quartier de la Ravine des Cabris s'étend sur des altitudes variantes entre 150 et 440 m NGR avec des pentes moyennes comprises entre 1% et 10%. La figure 5 illustre la variation altimétrique sur le quartier de la Ravine des Cabris.

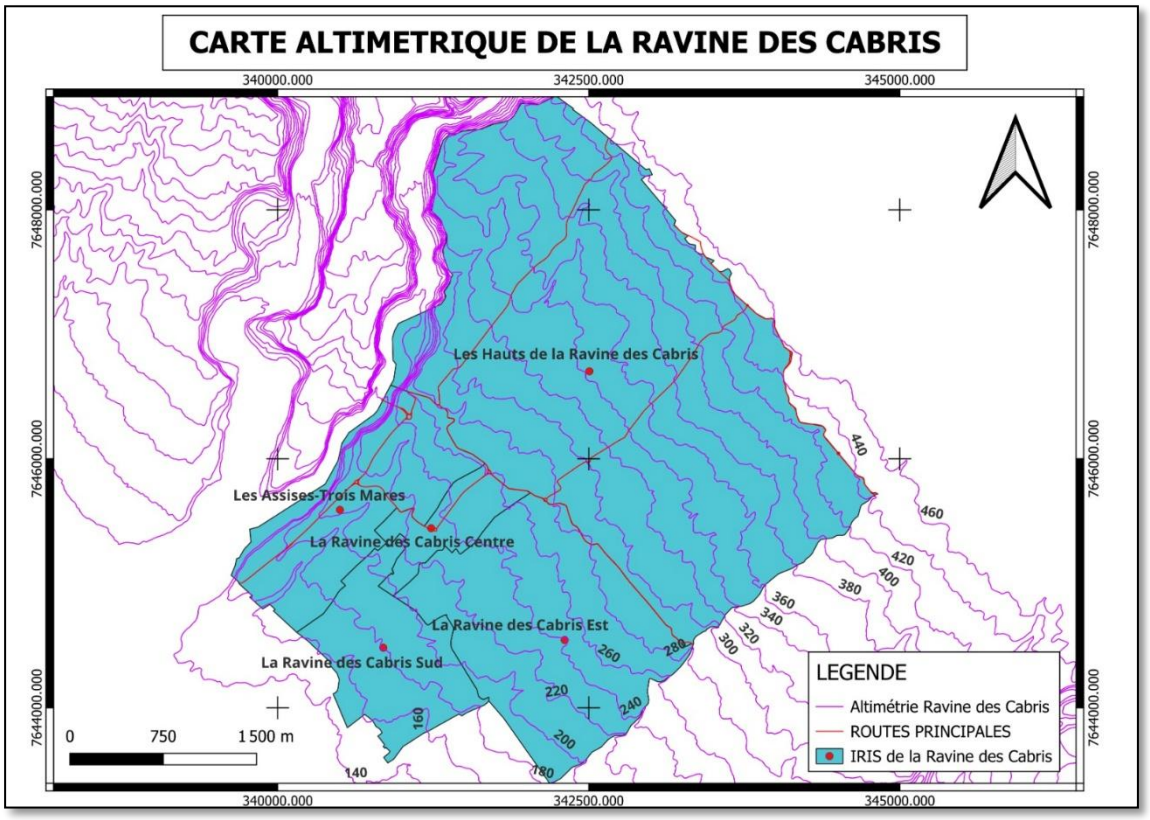


Figure 5 : Carte altimétrique de la Ravine des Cabris

Les sols retrouvés sont bruns et bruns andiques. Les sols bruns ont une texture limono-sableuse à argileuse et sont sensibles à l'érosion tandis que les sols bruns andiques ont une texture très friable avec une structure poreuse. On retrouve à la Ravine des Cabris des domaines agricoles mixes de cultures spécialisées de fruits et légumes et des plantations de canne à sucre. L'espèce spécifique d'arbre trouvée à la Ravine des Cabris est le palmiste rouge. On relève d'autres arbres présents dans la zone comme le bois de nèfle, le bois noir, le cassia de siam, le filao et le raisin marron.

II. PRESENTATION DU PROJET

II.1. Contexte et justification

L'accès permanent, sécurisé et de qualité à la ressource en eau potable est de nos jours un enjeu majeur pour les collectivités territoriales françaises. La commune de Saint-Pierre avec 86 140 habitants, fait partie de la Communauté Intercommunale des Villes Solidaires (CIVIS) qui s'occupe notamment de la gestion et de la performance des services d'eau potable.

Le réseau d'eau potable de la commune présente un linéaire total de 486,12 km avec un rendement global de 56 % et un indice linéaire de pertes de 39,54 m3/km/mois [1]. Ces indicateurs traduisent un réseau présentant des pertes significatives impactant directement la préservation de la ressource, l'économie de la CIVIS et l'efficacité du service. Par ailleurs, la commune est située dans une zone à faible pluviométrie, ce qui renforce la nécessité d'optimiser les performances du réseau afin de préserver la ressource en eau, garantir la continuité du service public et assurer la satisfaction des abonnés. A ces contraintes s'ajoute une forte variabilité altimétrique de la commune, s'étendant de 0 m à plus de 1 400 m d'altitude ce qui joue grandement sur le fonctionnement et les performances du réseau d'eau potable de Saint-Pierre.

Dans ce contexte, la CIVIS a engagé un programme de développement et de modernisation de son réseau d'eau potable, au sein duquel plusieurs opérations prioritaires nécessitant des études techniques approfondies ont été identifiées. Parmi les opérations figure celle sur le quartier de la Ravine des Cabris rattaché à la commune de Saint-Pierre avec une altimétrie comprise entre 150 et 440 m NGR, dont le réseau AEP est saturé et rencontre des difficultés de pression affectant le rendement et la qualité du service des abonnés. Pour répondre à ces problématiques et satisfaire aux besoins AEP futurs, la CIVIS lance une phase d'étude préliminaire du réseau AEP de la partie haute de la Ravine des Cabris dont les objets sont :

- Etude pour la création d'une zone de distribution pour la partie haute de la Ravine des Cabris ;
- Etablissement d'un programme de travaux pour mettre en œuvre la solution retenue.

Cette étude consistera à effectuer le diagnostic du fonctionnement du réseau AEP de Ravine des Cabris. Elle vise aussi à optimiser la desserte en eau potable en améliorant le fonctionnement du réseau AEP dans ce secteur caractérisé par une topographie et un maillage

des réseaux complexe et s'inscrit dans une démarche d'amélioration continue des services publics d'eau.

L'analyse des résultats de cette étude préliminaire avec le diagnostic, donnera lieu ensuite à la définition d'un programme de renforcement du réseau AEP, dont l'objectif sera de répondre aux nécessités suivantes :

- La satisfaction des besoins actuels et futurs en eau potable, en débit et en pression ;
- La garantie d'un fonctionnement optimal en pointe de consommation et l'amélioration des performances du réseau ;
- La modernisation des infrastructures existantes et la création de nouvelles si nécessaire.

La CIVIS a ainsi mandaté le bureau d'études techniques spécialisé en hydraulique (I.D.R) pour mener cette étude, dans le but d'identifier des solutions permettant d'optimiser le réseau de distribution d'eau potable de la Ravine des Cabris.

II.2. Objectifs de l'étude

L'objectif principal est de réaliser une étude d'amélioration des performances du réseau de distribution de la zone de la Ravine des Cabris. De cet objectif général, découlent les objectifs spécifiques ci-après :

- Réaliser le diagnostic du réseau AEP existant ;
- Proposer au moins un scénario permettant l'optimisation du réseau de distribution ;
- Réaliser une étude financière et environnementale.

II.3. Résultats attendus

Les résultats attendus sont les suivants :

- Le diagnostic du réseau de distribution de la partie haute de la Ravine des Cabris est réalisé ;
- Au moins un modèle de simulation du réseau est proposé ;
- Les coûts et les aspects environnementaux de la mise en place du projet sont évalués.

II.4. Etat des lieux

Le réseau d'eau de la Ravine des Cabris est un sous-secteur du réseau de distribution de la commune de Saint Pierre géré par le groupe RUNEO. Reconnu comme le secteur Z.A et surnommé Dassy selon la sectorisation globale du réseau de Saint Pierre, il est l'un des 24

secteurs de la commune avec la plus grande capacité de stockage [3]. Il est entouré à gauche par Z.B Mahavel, à droite par Z.G Cadet, au-dessus par Z.F Ligne des 400 et en dessous par Z.C Frédeline selon la figure 6.

L'annexe 1 mentionne les différentes zones de distribution d'eau potable de la commune de Saint-Pierre avec les noms des réservoirs et les capacités de stockage.

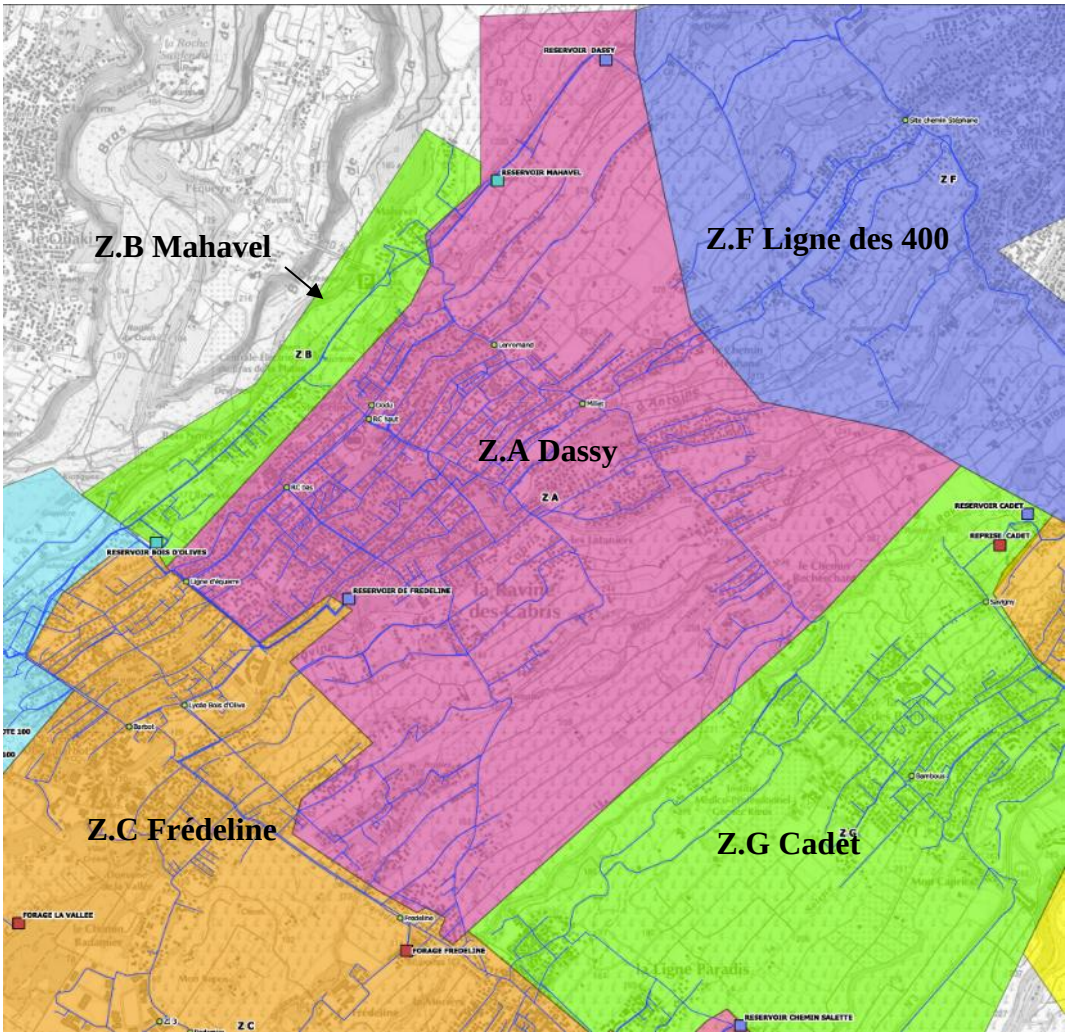


Figure 6 : Représentation du secteur de distribution d'eau de la Ravine des Cabris et des secteurs voisins (source : SDAEP Saint-Pierre)

Le réseau de distribution Z.A Dassy se caractérise par :

- 16 121 habitants en 2021 (Source : IRIS INSEE) ;
- Un rendement de 66 % en 2019 [1] ;

- Un réseau de 78,87 km avec un indice linéaire de perte de 23,74 m^3/km/mois en 2019 [1] ;
- 1 ouvrage de stockage (Dassy CGE) d'une capacité de stockage de 5000 + 1500 m3 [4];
- 4 compteurs de sectorisation utilisés actuellement (Lenormand, Millet, Dodu, RC bas) dont les trois premiers sur la partie haute de la Ravine des Cabris.

II.4.1. Ressources en eau

Le réservoir Dassy CGE est alimenté par une ressource de type superficielle (SAPHIR, Bras de la Plaine) et en secours par des eaux souterraines des forages de Pierrefonds :

- **Ressource superficielle : eau brute SAPHIR**

Les eaux du Bras de la Plaine sont captées par un barrage à la cote 405 m NGR, puis acheminées vers le dégraveur de Dassy / SAPHIR, par l'intermédiaire d'une galerie souterraine. L'eau brute est ensuite injectée dans le réseau d'irrigation SAPHIR via une conduite ∅500 et vendue à la commune de Saint-Pierre via un branchement ∅300 équipé d'un compteur. Cette eau brute à la base destinée à l'irrigation présente une turbidité élevée. Une filière de traitement (UPEP Dassy) a été mise en service pour éliminer notamment la turbidité de cette eau brute. En aval de la filière de traitement se trouve le réservoir Dassy UPEP constitué de deux cuves de stockage de 2500 m^3 chacune alimentant le réservoir Dassy CGE et plusieurs réservoirs de la commune via une conduite de distribution DN 700. La désinfection est assurée par chloration dans la cuve du réservoir Dassy CGE.

- **Ressources souterraines : forages de Pierrefonds :**
    - Forage Pierrefonds I (Amouny) ;
    - Forage la Vallée ;
    - Forage Dupuis II (Paginadon).

Une chaîne de pompage démarre du réservoir Cote 100 puis transite par le réservoir Bois d'Olive qui refoule dans le réservoir Dassy CGE par l'intermédiaire de quatre pompes de 200 m^3/h chacune. Les forages et la chaîne de pompage servent de ressource de secours pour le réservoir Dassy CGE. Ces forages bénéficient d'une désinfection au chlore gazeux.

II.4.2. Zone de desserte

Le secteur de distribution du réservoir Dassy CGE (altitude 367 m NGR), s'étend en partie haute de la commune, entre la Ravine des 3 Mares (Ouest) et la Ravine Blanche (Est). Le réservoir Dassy CGE dessert :

- Le réservoir Mahavel gravitairement, et le réservoir Ligne des 400 par pompage ;
- La zone A "Dassy", elle-même divisée en deux sous-zones :
  - Ravine des Cabris / partie basse, par la conduite secondaire ∅250 du chemin Juliette Dodu et une deuxième conduite ∅250 sur le chemin Millet ;
  - Ravine des Cabris / partie haute, par la conduite secondaire ∅250 du chemin Lenormand et Recherchant.

La partie haute de la Ravine des Cabris est l'objet de notre étude. Les antennes d'alimentation descendantes connectées à sa conduite d'alimentation jusqu'au croisement du chemin Anaclet Benard ont en tête des régulateurs de pression. La sous zone de la Ravine des Cabris partie haute est délimitée :

- Au nord, par les vannes inter-réseau marquant la limite avec la zone de distribution du réservoir "Ligne des 400" ;
- Au sud, par les 10 vannes inter-réseau marquant la limite avec la zone "Ravine des Cabris partie basse" ;
- A l'est, par la vanne inter-réseau de la Ravine Blanche, matérialisant la frontière avec la zone "Ligne des Bambous" ;
- A l'ouest, par la Ravine des 3 Mares.

La figure 7 est un synoptique illustrant la partie ouest du réseau de la commune de Saint Pierre avec les détails sur la Ravine des Cabris. Le schéma altimétrique des réservoirs de la commune de Saint-Pierre est présenté par l'annexe 2.

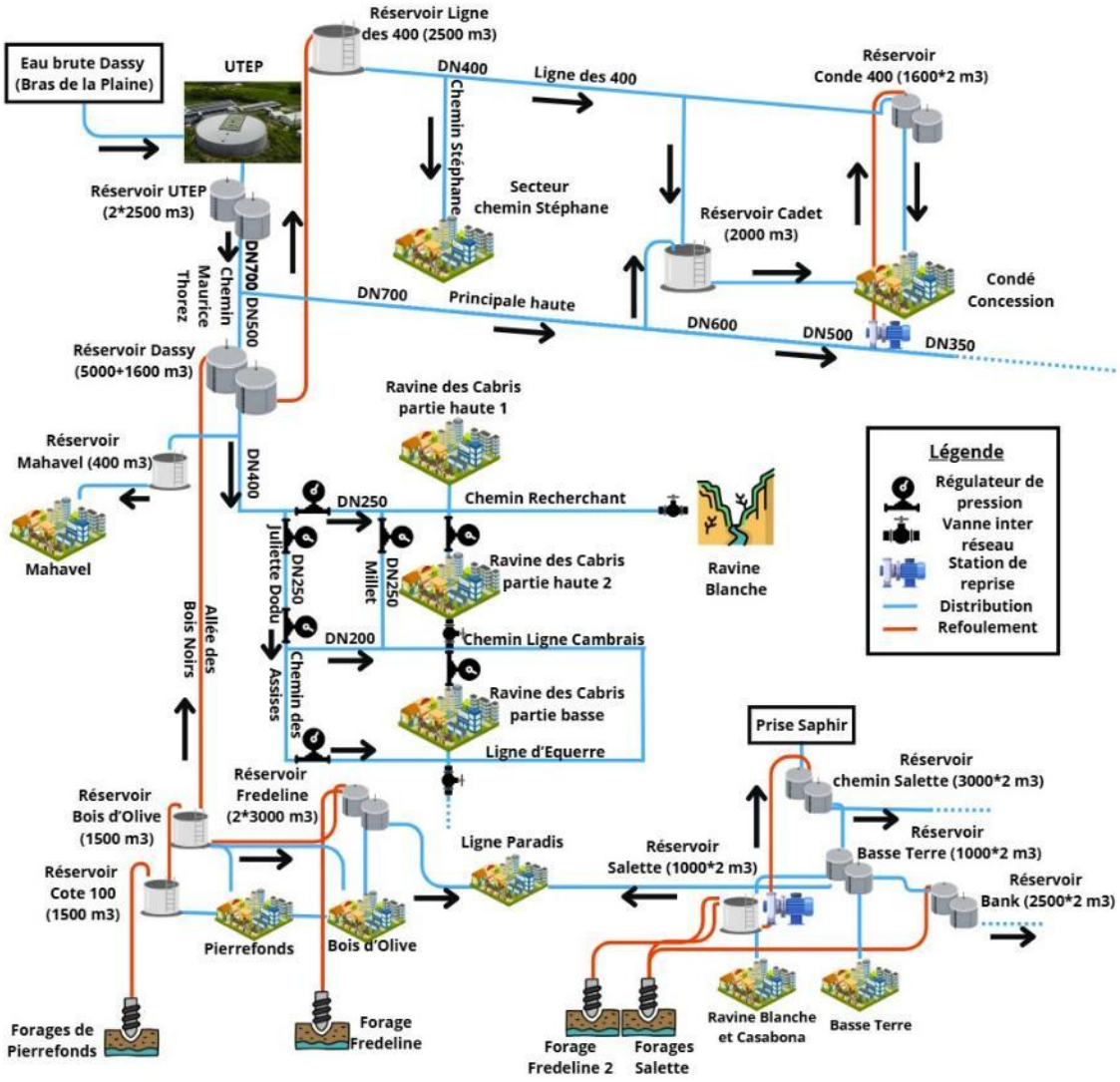


Figure 7 : Synoptique de la partie ouest du réseau de la commune de Saint-Pierre

II.4.3. Altitudes caractéristiques

Les points de pression caractéristiques de la zone desservie sont :

- Altitude du réservoir Dassy : Cote radier : 364 m NGR

  Cote trop plein : 369,5 m NGR (Hypothèse)

  Cote moyenne : 366,75 m NGR
- Altitude minimale / secteur étudié : 220 m NGR (chemin Salmé)
- Altitude minimale / secteur étudié en extrémité du réseau : 247 m NGR (Chemin Sita)
- Altitude maximale / secteur étudié côté Ouest : 348 m NGR (chemin Niobé)
- Altitude maximale / secteur étudié en extrémité du réseau : 350 m NGR (Chemin Bardeur)

La figure 8 présente le réseau de la partie haute de la Ravine des Cabris avec les informations caractéristiques.

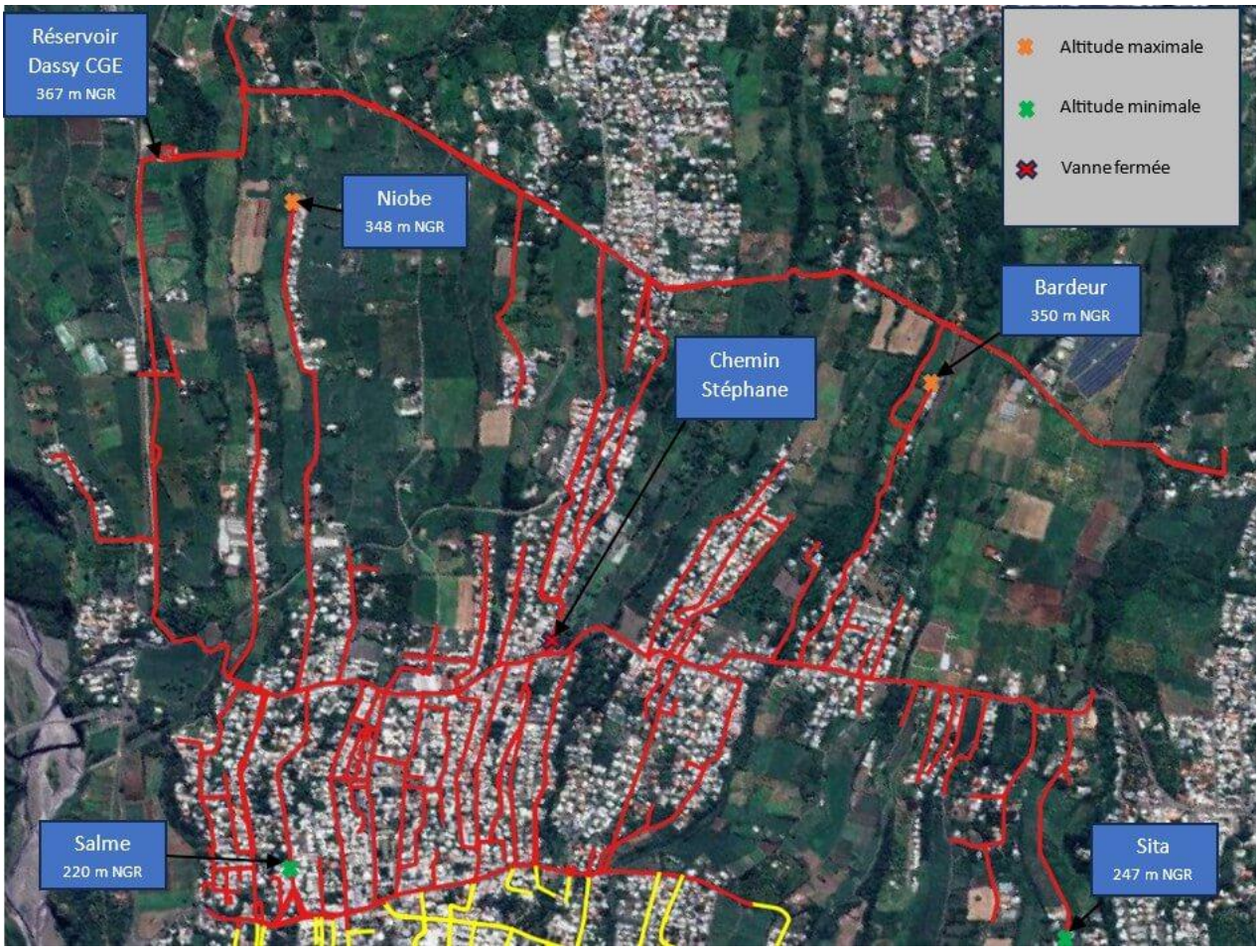


Figure 8 : Le réseau de distribution d'eau potable de la partie haute de la Ravine des Cabris

Dans le fonctionnement actuel de notre réseau, toutes les antennes sur le chemin Stéphane sont isolées de l'alimentation du réservoir Dassy et sont approvisionnées par le réservoir Ligne des 400. Une conduite située en haut du chemin Bardeur vient en renfort pour alimenter les abonnés au sommet de cette zone rencontrant des problèmes d'alimentation.

La figure 9 représente la partie basse de la Ravine des Cabris en motif jaune. Elle n'est pas concernée dans l'étude mais son influence est prise en compte.



Figure 9 : Réseau de distribution de la partie basse de la Ravine des Cabris

III. MATERIELS ET METHODOLOGIE DE L'ETUDE

III.1. Matériels

Afin de mener l'étude, nous avons utilisé les logiciels cités dans le tableau 1 :

Tableau 1 : Liste des logiciels utilisés pour l'étude

Logiciels	Usage
Porteau	Logiciel de modélisation hydraulique pour la simulation hydraulique du réseau et les tests des hypothèses d'amélioration.
QGIS	La conception des cartes, lecture des fichiers SHP du réseau et la création de fichiers SHP, la consultation du patrimoine du réseau et du cadastre.
Excel	Les calculs intermédiaires.
Word	La rédaction du mémoire.
Géoportail	Aperçu de la zone d'étude, cotes altimétriques, profils altimétriques, mesures de distance et cartes illustratives.
Canva	Synoptique du réseau.

III.2. Méthodologie de l'étude

Nous présenterons de façon structurée la démarche suivie pour réaliser l'étude en plusieurs étapes :

III.2.1. Etude bibliographique

Nous avons recherché et exploité le Schéma Directeur d'Alimentation en eau Potable (SDAEP) et le Rapport Annuel du Délégataire (RAD) relatif au réseau AEP de la commune de Saint Pierre. Cette documentation nous a offert une vision globale sur le patrimoine du réseau, son fonctionnement et les défis techniques rencontrés. Elle a également fourni des données quantitatives essentielles sur la commune qui ont été adaptées à notre étude.

III.2.2. Collecte des données

Les données de base pour la réalisation de notre étude sont le tracé du réseau ainsi que les informations sur le patrimoine, notamment la nature et les caractéristiques géométriques des conduites, les emplacements et réglages des équipements hydrauliques.

Nous avons obtenu de la part de RUNEO le modèle informatique réalisé sur la commune de Saint Pierre, les données de mesure des compteurs de débit sur un mois, ainsi que les réglages des régulateurs de pression. Le modèle a été adapté à notre sous-zone d'étude correspondant à la partie haute de la Ravine des Cabris. Les informations sur les tronçons et les nœuds ont été mises à jour et les consommateurs ont été quantifiés et intégrés au modèle.

III.2.3. Analyse des données

Les données issues du SDAEP et du RAD ont été exploitées et analysées afin d'extraire des informations essentielles comme la consommation moyenne journalière par habitant et l'évolution du nombre d'abonnés de la commune.

Les relevés de mesure des compteurs ont été triés et analysés dans le but de réaliser la simulation de diagnostic. Les journées présentant des données incomplètes et celles avec une consommation anormalement élevée ont été exclues de l'analyse.

III.2.4. Quantification des consommateurs de la Ravine des Cabris

Le modèle de base étant dépourvu de consommateurs, un recensement des logements et des établissements présents à la Ravine des Cabris a été effectué.

A l'aide du logiciel Qgis et en croisant les couches satellitaires et cadastrales associé à des sorties terrain, nous avons identifié et localisé les abonnés du réseau. Un fichier shapefile des consommateurs a été ensuite généré sur Qgis puis les consommateurs ont été intégrés au modèle informatique.

III.2.5. Simplification du réseau de la partie basse de la Ravine des Cabris

Le réseau étant grand et la partie haute étant le sujet de l'étude, nous avons simplifié le réseau de la partie basse tout en considérant sa consommation. Cette partie est donc simplifiée par deux nœuds aux extrémités des conduites de distribution assurant son approvisionnement à savoir les conduites de distribution Juliette Dodu et Millet.

III.2.6. Estimation du débit de distribution de la partie basse de la Ravine des Cabris

La formule de TRIBUT est une formule empirique servant à estimer la consommation de pointe d'un groupement d'abonnés domestiques. Elle a servi à l'estimation du débit de distribution de la partie basse de la Ravine des Cabris en différentes périodes de consommation en situation

actuelle et future.

La formule de TRIBUT est :

$$\boldsymbol{Qpn = Kinf \times d \times N + d \times \lambda \times N^{0,5} \times \left(Kinf \times \left(\frac{D}{d} - 2 \times Kinf\right)\right)^{0,5} + d \times T} \quad \textbf{(1)}$$

Avec :

- Qpn = Débit de pointe de la consommation domestique (l/s) ;
- N = Nombre de foyers ;
- D = Débit de pointe d'un foyer (l/s) ;
- d = Débit fictif continu d'un foyer en jour de pointe (l/s) ;
- T = Terme d'ajustement (obtenu en résolvant l'équation avec Qpn = 0,5 et N = 1) ;
- Kinf = Coefficient de pointe horaire ;
- $\boldsymbol{\lambda}$ = Coefficient adimensionnel lié à la fiabilité du réseau.

- Le débit fictif continu

Le débit fictif continu d'un foyer en jour de pointe est la consommation journalière de pointe d'un abonné lissée sur toute la journée. Il dépend du coefficient de pointe journalier, du nombre d'habitants par logement et de la consommation journalière moyenne par habitant.

$$\boldsymbol{Cjp_{abonné} = N_{habitants} \times Cj_{habitant} \times Cpj} \quad \textbf{(2)}$$

$$\boldsymbol{d = \frac{Cjp_{abonné}}{86400}} \quad \textbf{(3)}$$

Avec :

- $Cjp_{abonné}$ = Consommation journalière de pointe par abonné (l/j) ;
- $N_{habitants}$ = Nombre d'habitants par logement ;
- $Cj_{habitant}$ = Consommation journalière moyenne par habitant (l/j) ;
- Cpj = Coefficient de pointe journalier ;
- d = Débit fictif continu d'un foyer en jour de pointe (l/s).

- La consommation journalière moyenne par habitant

La consommation journalière moyenne par habitant est obtenue par un rapport entre le volume vendu aux abonnés domestiques et le nombre d'habitants de la commune.

$$Cj_{habitant} = \frac{Volume\ vendu\ aux\ abonnés\ domestiques}{Nombre\ d'habitants} \quad (4)$$

- La consommation journalière moyenne par abonné

La consommation journalière moyenne d'un abonné de la Ravine des Cabris est obtenue par un produit entre la consommation journalière moyenne par habitant et le nombre d'habitants par logement de la Ravine des Cabris. Le nombre moyen d'habitants par logement à la Ravine des Cabris a été déterminé grâce à un rapport entre le nombre d'habitants et le nombre de logements obtenus dans les archives de l'INSEE.

$$Cj_{abonné} = Cj_{habitant} \times N_{habitants} \quad (5)$$

Avec :

- $Cj_{abonné}$ = Consommation journalière moyenne par abonné (l/j) ;
- $Cj_{habitant}$ = Consommation journalière moyenne par habitant (l/j) ;
- $N_{habitants}$ = Nombre d'habitants par logement.

Le débit de distribution est obtenu par le rapport entre le débit fourni par la formule de TRIBUT et le rendement du réseau.

$$Qp = \frac{Qpn}{R} \quad (6)$$

Avec :

- Qp = Débit de distribution de pointe horaire (l/s) ;
- Qpn = Débit de pointe de la consommation domestique (l/s) ;
- R = Rendement.

Le débit calculé sera comparé au débit injecté pour parvenir au calage afin d'évaluer la pertinence de la formule de Tribut.

Le débit injecté pour le calage sera choisi par rapport aux valeurs consignes de calage qui seront déterminées pour les compteurs de sectorisation Dodu et Millet mesurant les débits injectés à la partie basse de la Ravine des Cabris. L'objectif étant que les erreurs entre les débits déterminés pour les consignes de calage et les débits mesurés aux emplacements des compteurs

lors de la simulation avec le débit injecté pour le calage soient inférieures à 10 %.
L'erreur est calculée comme suit :

$$\textbf{\textit{Erreur absolue}}\ (\%) = \frac{\textbf{\textit{Débit mesuré sur porteau} - \textbf{\textit{Débit consigne de calage}}}}{\textbf{\textit{Débit consigne de calage}}} \quad \textbf{(7)}$$

Dans les scenarii d'amélioration, les débits calculés seront repartis proportionnellement entre les nœuds représentatifs de la partie basse. Pour les tests des scenarii d'amélioration en situation future, une nouvelle estimation du débit sera réalisée sur la base d'hypothèses et des résultats issus de l'analyse des données de la commune de Saint-Pierre.

III.2.7. Simulations hydrauliques du réseau de la Ravine des Cabris

a. Présentation du logiciel Porteau

Porteau est un logiciel de modélisation hydraulique du comportement d'un réseau de distribution ou de transport d'eau sous pression. Il constitue une aide à la décision pour le dimensionnement et la gestion d'un réseau de distribution ou d'adduction d'eau potable. Il dispose de cinq modules de calcul à savoir Zomayet, Opointe, Qualité et Thermic. Seuls les modules Zomayet et Opointe permettent de simuler le fonctionnement hydraulique d'un réseau maillé de distribution ou de transport d'eau sous pression et de voir son comportement. Les différences entre les deux résident principalement sur le temps de simulation et les paramètres des modules : Zomayet permet les simulations longues durées tandis que Opointe est dédié aux simulations instantanées. Le Logiciel Porteau a été choisi pour notre étude pour les raisons suivantes :

- Le modèle existant du réseau est sous version Porteau. Changer de logiciel est une perte de temps et expose à des risques de perte ou d'altération des données.
- Porteau est très utilisé pour ces types d'études par les bureaux d'études en France. C'est le cas pour le bureau d'étude IDR.

Les simulations hydrauliques ont pour objectif de détecter les anomalies actuellement présentes dans la partie haute de la Ravine des Cabris par un diagnostic et tester des scenarii d'amélioration en vue de proposer des solutions d'optimisation. Le diagnostic sera réalisé à partir d'une simulation calée avec les données de mesure préalablement traitées et analysées issues des compteurs de sectorisation (Lenormand, Dodu, Millet) et du débitmètre situé à la

sortie du réservoir Dassy. Toutes les simulations porteront sur le réseau de distribution de la partie haute de la Ravine des Cabris alimenté par le réservoir Dassy CGE et son transfert gravitaire vers le réservoir Mahavel.

Le module Opointe servira aux simulations du fonctionnement hydraulique du réseau car il s'agit d'un modèle probabiliste fiable permettant de réaliser des simulations instantanées en régime de pointe, et est particulièrement adapté à notre étude centré sur le réseau de distribution. Dans notre cas, nous avons bénéficié d'un modèle existant du réseau de Saint-Pierre. Cependant, celui-ci est incomplet et non fonctionnel. Il a donc servi de base que nous avons modifié et mis à jour afin de mener notre étude.
Au total cinq simulations seront effectuées pour cette étude dont une pour le diagnostic de l'état actuel, deux pour tester les scenarii d'optimisation actuel et deux pour vérifier l'état des scenarii dans le futur. Les résultats des deux dernières simulations guideront nos propositions définitives des améliorations ou travaux à effectuer pour garantir une optimisation durable du réseau de distribution d'eau potable.

b. Modèles de consommation

Porteau est constitué de modèles de consommations utilisés pour représenter la consommation des abonnés du réseau et les fuites. Ces modèles sont définis et les paramètres sont mis à jour avant chaque simulation. Trois types de modèle de consommation ont été utilisés pour simuler la consommation d'eau du réseau ainsi que les pertes.

Les modèles de consommation domestique sont utilisés pour les abonnés domestiques et les fuites associées pour la partie haute de la Ravine des Cabris. Les abonnés domestiques et les fuites sont répartis sur les tronçons.

Le modèle de consommation industriel regroupe les consommateurs non domestiques (écoles, supermarchés, bâtiments collectifs) de la Ravine des Cabris. Ils sont affectés sur les nœuds.

Le modèle de consommation échange est utilisé pour les abonnés domestiques de la partie basse de la Ravine des Cabris. Il consiste à repartir le débit de distribution de la partie basse estimé par la méthode de TRIBUT entre les nœuds représentatifs de la partie basse (cf. III.2.5).

c. Paramètres d'entrée

Le réseau étant déjà existant, les paramètres d'entrée sur les tronçons et nœuds sont déjà présents à savoir le linéaire des conduites, les natures et les diamètres des conduites, les cotes altimétriques des nœuds. Les rugosités des conduites seront déterminées à l'issue du calage pour la simulation de diagnostic et les abonnés dénombrés sur Qgis seront directement affectés sur Porteau.

Les paramètres d'entrée des modèles de consommation se résument par le débit spécifique, la probabilité d'ouverture, la probabilité de satisfaction et le coefficient multiplicateur et sont ajustés pour chaque phase de simulation. En ce qui concerne la simulation de diagnostic, les paramètres tels que la probabilité d'ouverture et le débit spécifique des abonnés domestiques et fuites ainsi que le débit des modèles de consommation échange seront ajustés de sorte à parvenir à un bon calage. Les débits des abonnés industriels une fois déterminés resteront inchangés sur toutes les simulations.

Les paramètres d'entrée des modèles de consommation pour les simulations d'amélioration sont définis par le tableau 2.

Tableau 2 : Paramètres d'entrée des modèles de consommation pour les simulations d'amélioration

Modèle de consommation	Nom (unité)	Description	Valeur
Domestique	Débit spécifique (l/s)	C'est le débit de consommation pour un abonné domestique. La valeur par défaut sur le logiciel est retenue et correspond à l'ouverture moyenne de deux robinets pour un abonné domestique en France.	0,5 l/s
	Probabilité d'ouverture	Elle permet d'exprimer le nombre d'abonnés tirant simultanément de l'eau dans le réseau.	3 %
	Coefficient multiplicateur	Il permet de simuler le comportement du réseau en régime de pointe.	2,3
Fuite	Débit spécifique (l/s)	C'est le débit pour un point de fuite sur le réseau. Le débit utilisé pour le calage sera retenu pour les scenarii d'amélioration.	-
	Probabilité d'ouverture	Elle exprime la quantité de fuites sur le réseau. Elle sera de 3 % pour le présent et de 1 % pour le futur.	-

	Coefficient multiplicateur	Le coefficient ne sera pas appliqué pour les fuites.	1
Industriel	Débit	Chaque consommateur industriel aura un débit propre à lui (cf. IV.2.3). Pour les établissements scolaires, il est un ratio entre la consommation journalière moyenne des élèves de chaque établissement et le temps de fréquentation journalier des établissements.	-
	Coefficient multiplicateur	Il permet de considérer la consommation de pointe des abonnés non domestiques. Il sera de 2 pour les gros consommateurs comme les supermarchés et stades et de 1,5 pour les autres.	-
Échange	Débit	C'est le débit de distribution de pointe horaire pour les périodes de forte consommation (cf. tableaux d'estimations de débit par la méthode de Tribut) de la partie basse à partager entre les deux nœuds simplificatrices.	-
	Coefficient multiplicateur	Le coefficient ne sera pas appliqué sur le modèle échange.	1
Tout le réseau	Probabilité de satisfaction	Elle est comprise entre 50 et 99 % et traduit la capacité du réseau à satisfaire la demande des abonnés.	99 %

d. Paramètres de sortie

Les paramètres de sortie attendus sont :

- Aux nœuds : La pression (m) ;
- Aux conduites : Le débit (l/s), la vitesse (m/s) et les pertes de charges linéaires (m) et singulières (m).

III.2.8. Conditions de fonctionnement optimal

La pression minimale du réseau AEP pour les besoins du consommateur est de 2 bars tandis que la pression maximale à ne pas dépasser est de 6 bars. La vitesse maximale préconisée afin d'éviter l'usure prématurée des canalisations et des équipements hydrauliques est de 1,5 m/s. Les pressions cibles sont entre 2 et 6 bars tandis que la vitesse limite à ne pas dépasser est de

1,5 m/s. Des solutions seront proposées afin de respecter ces consignes.

III.2.9. Hypothèses

- Le rendement du réseau

Le rendement récent connu du réseau mentionné par le SDAEP est de 66%. Cependant le SDAEP mentionne des incertitudes liées à la détermination du rendement et des biais dans la prise en compte des abonnés par secteur. Nous supposons un rendement de 60% à la place pour l'estimation du débit de distribution à considérer pour la partie basse de la Rabine des Cabris. Pour le rendement futur, nous retiendrons une valeur optimiste de 75% au bout de 20 ans.

- La formule de Tribut

Le débit de pointe d'un foyer D conseillé pour la méthode TRIBUT est de 0,5 l/s [5].
Kinf est fonction du nombre et de l'hétérogénéité des foyers et est compris entre 1,5 et 2 [5].
Nous retiendrons une valeur de Kinf égale à 1,8.
λ est égal à 1,163 pour une probabilité de satisfaction de 95 % et 1,5 pour une probabilité de satisfaction de 98,3 %. La valeur retenue pour λ est de 1,5 [5].
Les données étant insuffisantes, nous avons adopté un coefficient de pointe journalier de 1,3 comme valeur maximale en cas de forte consommation. Les débits estimés avec ce coefficient pour les périodes de consommation actuelle et future serviront aux scenarii d'amélioration.

- Le nombre d'abonnés futur dans le réseau

Le nombre d'abonnés futur dans le réseau sera estimé par la loi de croissance géométrique [6].
La loi de croissance géométrique est :

$$\boldsymbol{Xn = Xo\,(1+\alpha)^n} \quad \textbf{(8)}$$

Avec :

- Xn = Nombre d'abonnés actuel ;
- Xo = Nombre d'abonnés futur ;
- α = Taux d'évolution moyen annuel ;
- n = Nombre d'années.

L'évaluation du taux d'évolution annuel des abonnés se fera sur la base des données d'évolution

des abonnés domestiques du réseau de la commune de Saint-Pierre sur 5 ans.

Le taux d'évolution entre deux années est calculé comme suit :

$$\alpha = \frac{X_{n+1}}{X_n} \quad \textbf{(9)}$$

Avec :

- Xn = Nombre d'abonnés à l'année n ;
- Xn+1 = Nombre d'abonnés à l'année n+1.

- Le coefficient de pointe horaire

Suivant la norme EN805, le coefficient de pointe horaire est égal à 2 pour une population supérieure à 10 000 habitants et supérieur à 5 pour une population inférieure à 2 000 habitants.[5]

Notre population étant de 16 000 habitants, nous retiendrons un coefficient de pointe horaire égal à 2.

- Le coefficient de pointe saisonnier

Ce coefficient est estimé dans le SDAEP à 1,17 pour toute la commune de Saint-Pierre en 2015 [4]. Nous supposerons un coefficient de pointe saisonnier de 1,15 pour la Ravine des Cabris.

III.2.10. Stockage

Les réservoirs à la Réunion sont conçus pour assurer une autonomie d'une journée moyenne en distribution avec la capacité utile. La sectorisation annoncée prévoit la reprise de la moitié de la zone de distribution du réservoir Dassy CGE. Le volume de stockage comprend la capacité utile, la réserve incendie et le volume inexploitable.

La capacité utile du réservoir projeté est :

$$Cu = \frac{Cjd+Cja}{R} \quad \textbf{(10)}$$

Avec :

- Cjd =Consommation journalière domestique ;

- Cja = Consommation journalière annexe ;
- R= Rendement.

La consommation journalière annexe est égale à 10 % de la consommation journalière domestique.

La réserve incendie doit délivrer un débit de 60 m^3/h pendant 2 heures soit un volume de 120 m^3. Le volume inexploitable est égal à 5 % de la capacité utile du réservoir. Il correspond au volume inexploitable situé entre la crépine de distribution et le fond du réservoir incluant les dépôts solides.

La capacité sera évaluée pour les années 2025 et 2045 en supposant un rendement de 75 % au bout de 20 ans. La capacité obtenue pour l'an 2045 sera retenue.

III.2.11. Conduites d'adduction

Deux conduites d'adduction seront proposées dont une gravitaire et l'autre par refoulement suivant les scénarii mis en place. Le temps de fonctionnement fixé des pompes est de 15 heures par jour. Nous supposerons une adduction gravitaire fictive de 24 heures pour le scénario 2.

La conduite d'adduction par refoulement est proposée en utilisant les formules empiriques ci-dessous :

- Bresse : $\boldsymbol{D_{th} = 1,5 \times Q^{0,5}}$ **(11)**
- Bresse modifié : $\boldsymbol{D_{th} = 0,8 \times Q^{1/3}}$ **(12)**
- Munier : $\boldsymbol{D_{th} = (1 + 0,02 \times n) \times Q^{0,5}}$ **(13)**
- Achour et Bedjaoui : $\boldsymbol{D_{th} = 1,27 \times Q^{0,5}}$ **(14)**
- Bonin : $\boldsymbol{D_{th} = Q^{0,5}}$ **(15)**

Avec :

- Dth = Diamètre théorique (mm) ;
- Q = Débit d'adduction (m^3/s) ;
- n = Temps de pompage.

La condition de vitesse de Flamant sera vérifiée pour chaque auteur. La condition est :

$$\boldsymbol{V \leq D_{intérieur}(m) + 0,6} \quad \textbf{(16)}$$

La formule du débit d'adduction est :

$$Q_{add} = \frac{Cjm \times Cpj}{R \times T} \quad (17)$$

Avec :

- Cjm = Consommation journalière moyenne (m3/j) ;
- Cpj = Coefficient de pointe journalier ;
- R = Rendement ;
- T = Temps d'adduction.

La consommation journalière moyenne est le total de la consommation journalière domestique et annexe. La perte de charge linéaire de la conduite d'adduction par refoulement est déterminée avec la formule de Darcy et Weisbach [7] :

$$J = \frac{8 \times \lambda \times Q^2 \times L}{\pi^2 \times g \times D^5} \quad (18)$$

Avec :

- λ = Coefficient de perte de charge ;
- Q = Débit (m^3/h) ;
- L = Longueur (m) ;
- g = Pesanteur ;
- D = Diamètre (m).

Les pertes de charge singulières sont estimées à 10 % des pertes de charge linéaires.

Le coefficient de perte de charge est obtenu par la généralisation de Colebrook-White :

$$\frac{1}{\lambda} = -2\, log10 \left(\frac{K}{3{,}71 \times D} + \frac{2{,}51}{Re \times \sqrt{\lambda}} \right) \quad (19)$$

Avec :

- Re = Nombre de Reynolds ;
- K = Indice de rugosité du tube (mm) ;
- D = Diamètre intérieur (mm).

Le nombre de Reynolds est égal à :

$$\boldsymbol{Re = \frac{U \times D}{\mu}} \quad \textbf{(20)}$$

Avec :

- U = Vitesse (m/s) ;
- D = Diamètre intérieur (m) ;
- μ = Viscosité cinématique (m^2/s).

Le diamètre de la conduite d'adduction gravitaire est déterminé à partir du théorème de Bernoulli :

$$\boldsymbol{Za - Zb = \Delta H} \quad \textbf{(21)}$$

Avec :

- Za = Cote du plan d'eau du réservoir en amont (m) ;
- Zb = Cote du plan d'eau du réservoir à alimenter (m) ;
- ΔH = Pertes de charges totales de la conduite d'adduction.

En tirant le diamètre de la formule de pertes de charge, on obtient :

$$\boldsymbol{D = \left(\frac{1{,}1 \times 8 \times \lambda \times Q^2 \times L}{\pi^2 \times g \times (Za - Zb)}\right)^{1/5}} \quad \textbf{(22)}$$

Nous retiendrons pour les calculs un indice de rugosité de 0,01 mm valable pour la fonte et une viscosité cinématique de 1,175 10^{-6} m^2/s. Nous utiliserons un solveur pour trouver la valeur de λ.

III.2.12. Pompage

Nous proposerons un système de pompage adéquat pour le scénario concerné avec des hypothèses sur la cote d'emplacement et la hauteur géométrique à vaincre. Cette proposition reste valable si le foncier permet d'obtenir l'emplacement idéal projeté pour le réservoir.

III.2.13. Évaluation du risque de coup de bélier

Les coups de bélier sont des variations de pression causées par la perturbation de l'écoulement d'un fluide circulant à l'intérieur d'une conduite [8]. Les coups de bélier sont généralement causés par la fermeture brusque d'une vanne ou l'arrêt brutal d'une pompe alimentant une conduite de refoulement. Il est primordial d'étudier les risques afin de prendre les dispositions nécessaires afin de protéger notre réseau des potentiels risques.

La démarche à suivre est :

L'évaluation de la célérité de l'onde :

$$C = \frac{9900}{\sqrt{48{,}3 + K \times \frac{D}{e}}} \quad (23)$$

Avec :

- C = La célérité de l'onde (m/s)
- K = 1 pour les conduites en fonte ;
- D = Diamètre intérieur de la conduite (m);
- e = Epaisseur de la conduite (m).

L'évaluation de la variation de pression :

$$\Delta p = \frac{C \times V_o}{g} \quad (24)$$

Avec :

- Δp = Variation de pression (m)
- Vo = Vitesse d'écoulement dans la conduite (m/s) ;
- g = Pesanteur.

La vérification du risque de coup de bélier se fait comme suit :

$$HMT + \Delta p \geq PMA \text{ ou } 1{,}2 \times PN \text{ ; } Surpression \quad (25)$$

$$HMT - \Delta p \leq 10{,}33 \text{ ; } Dépression \quad (26)$$

Avec :

- HMT = Hauteur manométrique totale (m) ;
- PN = Pression nominale de la conduite (mCE) ;
- PMA = Pression maximale admissible (mCE).

III.2.14. Étude de faisabilité financière

L'étude financière sera réalisée sur la base de l'ensemble des opérations jugées nécessaires à l'issue des simulations des scénarii en situation future. Une estimation sera établie pour chaque scénario en s'appuyant sur des ratios et prix forfaitaires préétablis par le bureau d'études techniques I.D.R.

IV. RESULTATS DE L'ETUDE

IV.1. Détermination des abonnés

Lors de notre recensement sur la Ravine des Cabris portant sur le nombre d'abonnés domestiques et non domestiques, nous avons trouvé 2974 logements dans la partie haute et 3348 logements dans la partie basse soit au total 6322 logements.

En dehors des abonnés domestiques, nous avons identifié des établissements scolaires dont 3 sur chaque zone, un complexe sportif sur la partie basse, un supermarché Leclerc et un commissariat sur la partie haute.

IV.2. Détermination de la consommation moyenne, du débit de distribution de la partie basse et du débit spécifique des abonnés non domestiques

IV.2.1. Évaluation de la consommation journalière moyenne

Suivant les informations du SDAEP sur toute la commune de Saint Pierre, nous trouvons une consommation moyenne par habitant de 252 litres par jour. Nous retiendrons cette valeur pour les habitants du quartier de la Ravine des Cabris. Le tableau 3 donne la consommation journalière moyenne trouvée pour un habitant de la commune de Saint-Pierre.

Tableau 3 : Consommation journalière moyenne par habitant

	2021
Population	84 077
Volume global consommé sur 365 jours (m3)	7 746 486
Nombre d'abonnés domestiques	41 333
Volume consommé (m3/abonné/an)	187,42
Volume consommé (l/abonné/jour)	513,47
Volume consommé (l/habitant/jour)	**252**

Avec un taux d'occupation des logements à la Ravine des Cabris de 2,28 habitants par logement et la consommation journalière par habitant de 252 litres, la consommation moyenne par abonné à la Ravine des Cabris est estimée à 0,574 litres par jour.

IV.2.2. Évaluation du débit de distribution de la partie basse de la Ravine des Cabris

Les débits ont été estimés par la formule de TRIBUT avec différents coefficients de pointe journalier. Le débit trouvé pour la forte consommation est retenu pour la partie basse dans les scenarii d'amélioration en situation actuelle. Les résultats figurent dans le tableau 4.

Tableau 4 : Estimation du débit de distribution de la partie basse de la Ravine des Cabris

	Faible consommation	Moyenne consommation	Forte consommation
Nombre de logements	3448	3448	3448
Nombre d'habitant / logt	2,28	2,28	2,28
Consommation par habitant (l/j)	252	252	252
Consommation journalière moyenne par logement (l/j)	574,56	574,56	574,56
Coefficient de pointe journalier	1	1,2	1,3
Consommation journalière de pointe par logement (l/j)	574,56	689,916	746,93
d (l/s)	0,00665	0,00798	0,00865
D (l/s)	0,5	0,5	0,5
Kinf	1,8	1,8	1,8
T	56,1713	45,1831	41
λ	1,5	1,5	1,5
Qpn (l/s)	48,295	57,134	61,53
Rendement	**0,6**	**0,6**	**0,6**
Distribution de pointe horaire Qp (l/s)	**80,49**	**95,224**	**102,55**

IV.2.3. Évaluation du débit spécifique des abonnés non domestiques

La consommation d'eau est estimée à 3-4 m^3/élève/an en France soit 25 l/élève/j sur 160 jours de cours par an sur la base des 4 m^3. Le tableau 5 nous donne les débits spécifiques estimés des établissements scolaires de la Ravine des Cabris.

Tableau 5 : Débit spécifique des établissements scolaires

	Ravine des Cabris Haute			Ravine des Cabris Basse		
	Ecole élémentaire Jean Paul Sartre	**Ecole élémentaire Pablo Picasso**	**Ecole maternelle Simone de Beauvoir**	**Ecole maternelle Celimène**	**Collège Ravine des Cabris**	**Ecole maternelle Isnel Amelin**
Nombre d'élèves	576	553	234	138	784	253
Consommation unitaire (l/j)	25	25	25	25	25	25
Consommation (l/j)	14400	13825	5850	3450	19600	6325
Temps (h)	8	8	5	5	8	5
Débit spécifique (l/s)	**0,5**	**0,48**	**0,33**	**0,19**	**0,68**	**0,35**

Pour les bâtiments administratifs, la consommation est estimée à 30-50 l/employé/j. Etant donné l'impossibilité d'obtenir le nombre d'employés, nous allons supposer un débit spécifique de 0,5 l/s. Ce débit est aussi valable pour le supermarché Leclerc de la Ravine des Cabris dont la consommation est inconnue.

Un complexe sportif de type stade été identifié à la partie basse de la Ravine des Cabris. Avec une consommation annuelle minimale d'eau de 3000 m3 et une fréquentation journalière moyenne de 4 heures, le débit moyen journalier est estimé à 8,2 m3 soit un débit spécifique de 0,57 l/s.

IV.3. Simulation de diagnostic

Les valeurs consignes retenues pour le calage en débit correspondent aux moyennes des débits journaliers de pointe relevés aux compteurs. La valeur moyenne des pressions relevées au compteur Millet a permis d'évaluer les rugosités des conduites.

Pour réaliser le diagnostic, les consignes à suivre sont :

- Sortie du réservoir Dassy : 158 l/s (570 m3/h)
- Débit au compteur Dodu : 50 l/s (180 m3/h)
- Débit au compteur Lenormand : 77 l/s (279 m3/h)
- Débit au compteur Millet : 49 l/s (176 m3/h)
- Pression au compteur Millet : 8,16 bars

Les annexes 3 à 7 regroupent les débits journaliers de pointe des compteurs utilisés pour définir les consignes à respecter pour le calage.

Les paramètres modifiés pour atteindre un calage acceptable sont :

- Probabilité d'ouverture des abonnés domestiques : 2,5 %
- Probabilité d'ouverture des fuites : 2 %
- Débit de fuite : 0,1 l/s
- Débit de distribution de la partie basse : 86 l/s

Les valeurs de rugosité utilisées pour les conduites sont présentées dans le tableau 6 :

Tableau 6 : Rugosité des conduites

Nature de la conduite	PVC	PEHD	FD	AC
K (mm)	0,01	0,01	0,4	0,025

Les régulateurs de pressions ont été ajoutés et réglés suivant les informations obtenues par l'exploitant. Les annexes 8 et 9 présentent les emplacements des régulateurs présents sur le réseau ainsi que les consignes de pression.

IV.3.1. Résultat de la simulation de diagnostic

Nous parvenons à un calage acceptable avec des erreurs inférieures à 10 % comme indiqué dans le tableau 7 :

Tableau 7 : Résultats de la simulation de diagnostic

	Débit (m3/h)			Pression (m)		
	Données de calage	Mesures Porteau	Erreur absolue	Données de calage	Mesures Porteau	Erreur absolue
Sortie réservoir Dassy	570	552,49	**3%**	-	-	-
Compteur Dodu	180	176,08	**2%**	-	-	-
Compteur Lenormand	279	297,97	**7%**	-	-	-
Compteur Millet	176	170,5	**3%**	81,6	82,1	**1%**

Le résultat graphique de cette simulation est présenté par la figure 10.

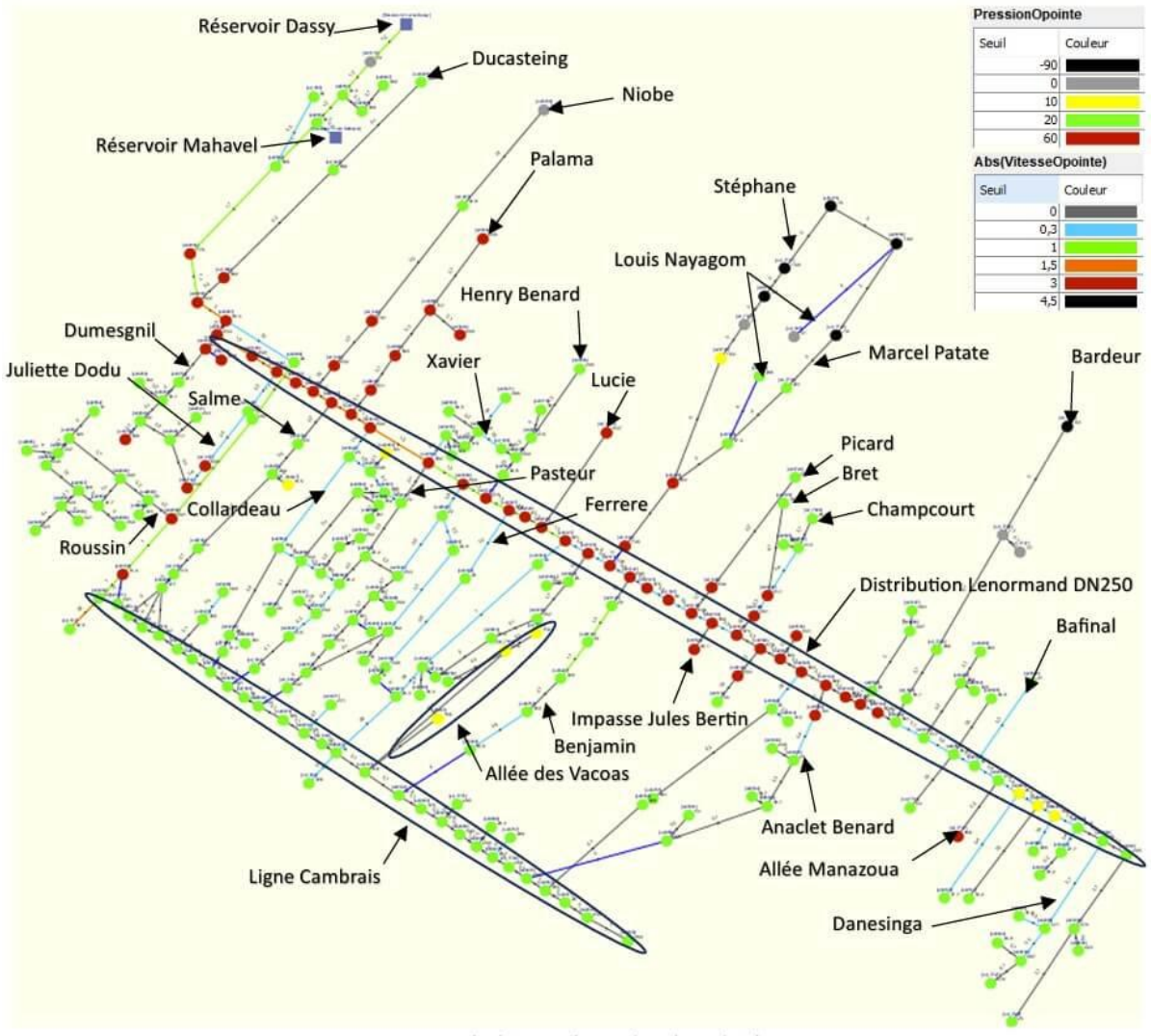


Figure 10 : Résultat graphique de la simulation de diagnostic

Les résultats aux nœuds et tronçons de la simulation sont présentés par les annexes 10 et 11.

Commentaires sur la formule de TRIBUT :

Le débit de distribution de la partie basse utilisé pour parvenir au calage est de 86 l/s tandis que le débit de distribution calculé par la méthode de Tribut est de 80 l/s pour une faible consommation. N'ayant pas utilisé de coefficient multiplicateur pour nos modèles domestiques de la partie haute, nous déduisons que nous sommes en période de faible consommation.

L'écart entre le débit estimé par la formule de TRIBUT et le débit utilisé dans la simulation est de 7 %. L'écart est acceptable au vu de la simplification réalisée pour la partie basse. On peut

se fier à la méthode de TRIBUT pour estimer le débit de distribution de la partie basse de la Ravine des Cabris.

Diagnostic :

Notre simulation a permis d'observer des pressions très élevées de l'ordre de 6 à 10 bars sur la quasi-totalité de la conduite de distribution de la partie haute.

Des pressions élevées de plus de 6 bars sont relevées sur l'intégralité des antennes Palama et Lucie et au départ des autres antennes ascendantes de la conduite de distribution. La quasi-totalité des antennes descendantes sont protégées des fortes pressions à l'exception de l'antenne sur l'allée Manazoua et des antennes sur l'impasse Jules Bertin, Juliette Dodu et Dumesgnil où il manque des régulateurs de pression.

Des faibles pressions existent en tête de l'antenne Niobe tandis que des pressions négatives apparaissent en tête des antennes Stéphane, Louis Nayagom, Marcel Patate et Bardeur malgré les pressions importantes sur la conduite de distribution. Des nœuds sur Salme et l'Allée des Vacoas ont des pressions légèrement inférieures à 20 m. Un simple réglage des régulateurs de pression en tête des antennes concernées suffit à résoudre ce problème.

Des vitesses importantes de 1,5 à 1,9 m/s sont uniquement relevées sur la portion de la conduite de distribution de la partie haute de son départ vers l'intersection avec le chemin Pasteur. L'ensemble des vitesses des autres tronçons sont acceptables.

Cette simulation nous a permis de voir l'état de fonctionnement actuel de la conduite de distribution de la partie haute ainsi que l'incapacité actuelle du réservoir Dassy à fournir suffisamment de pression aux sommets des antennes Niobe, Bardeur, Stéphane, Louis Nayagom et Marcel Patate. Un nouveau zonage associé à un nouveau réservoir est proposé pour la résolution des problèmes.

IV.4. Simulation des scenarii d'amélioration en situation actuelle

Nos améliorations visent à régler les problèmes de pressions insuffisantes et négatives des antennes précédemment mentionnées et réduire les pressions de la conduite de distribution de la partie haute à des valeurs inférieures à 6 bars. Cette réduction de pression aura pour avantage une réduction des risques de casses et une amélioration de la durée de vie des conduites et

équipements. Cependant, elle va augmenter les cas de pressions défavorables aux sommets des antennes ascendantes issues de la conduite de distribution. Nous envisageons deux scénarii d'amélioration du réseau avec création d'une sectorisation :

- Le scénario 1 consiste à résoudre les problèmes de pression de toutes les antennes ascendantes de la partie haute par le réservoir projeté sans prendre en compte une contrainte d'altitude pour ce dernier quitte à envisager une station de pompage depuis le réservoir UPEP Dassy avec une conduite d'adduction dédiée pour alimenter le réservoir projeté;

- Le scénario 2 consiste à assurer une alimentation gravitaire du réservoir projeté par la distribution du réservoir UPEP Dassy et récupérer le maximum d'abonnés des antennes ascendantes en difficulté de pression. Des emplacements de vannes inter réseaux seront proposés aux limites défavorables des antennes en difficulté de pression et les tronçons au-dessus de ces vannes resteront alors alimentées par le réseau du réservoir de la Ligne des 400.

Les deux scenarii auront en commun la création d'un nouveau réservoir, l'instauration d'une nouvelle sectorisation et l'ajout d'appareils hydrauliques de sectionnement et de régulation de pression. Des modifications sont apportées aux paramètres des modèles de consommation pour proposer des solutions pertinentes en régime de pointe. Les changements réalisés sur les modèles de consommation sont :

- Débit spécifique du modèle fuite de la partie haute : **0,1 l/s**
- Probabilité d'ouverture du modèle fuite : **3%**
- Probabilité d'ouverture des consommateurs domestiques : **3%**
- Coefficient multiplicateur des consommateurs domestiques : **2,3**
- Débit de distribution de la partie basse de la Ravine des Cabris : **102** l/s conformément au débit de distribution de la période de forte consommation du tableau 3.

IV.4.1. Scénario 1

Nous proposons l'ajout d'un réservoir au réseau qui aura une altitude minimale au radier de 400 m. A sa sortie une conduite de distribution en fonte DN400 réduite en DN300 est prévue le long du chemin Champcourt pour se raccorder à la conduite de distribution de la partie haute.

Une conduite en fonte DN150 connectée de part et d'autre de la conduite de distribution principale du réservoir projeté permettra l'alimentation des antennes Ducasteing, Niobe, Stéphane, Louis Nayagom, Marcel Patate et Bardeur. Le renforcement de l'antenne Marcel Patate est prévu avec la pose d'une conduite en fonte DN150 raccordée à celle existante de même diamètre.

Deux piquages supplémentaires en fonte DN150 sur la nouvelle conduite de distribution DN300 au niveau du chemin Champcourt permettront d'alimenter directement les antennes Picard, Bret et Champcourt. Une liaison entre les antennes Bret et Champcourt en fonte DN150 est prévue pour une meilleure alimentation.

Toutes les antennes mentionnées seront équipées de vannes fermées à leurs points de connexion avec la conduite de distribution de la partie haute et seront exclusivement alimentées par le réservoir projeté.

Une vanne de sectorisation sera installée stratégiquement sur la conduite de distribution de la partie haute de sorte à équilibrer les charges des deux réservoirs et définir leurs zones de distribution. Deux autres vannes sur des maillages différents sont proposées afin de résoudre des problèmes de pression liés à la configuration du réseau.

Des régulateurs seront ajoutés sur la conduite de distribution de la partie haute, la conduite principale issue du réservoir Dassy CGE, la conduite de la ligne Cambrais et certaines antennes identifiées pendant la première simulation qui sont sensibles aux surpressions. Le réglage de certains régulateurs de pression existants permettra de corriger les insuffisances de pression observées dans la première simulation.

La figure 11 illustre en partie la configuration effectuée. Nous avons la conduite d'alimentation du réservoir projeté en rouge, la conduite de distribution du réservoir projeté en vert, les raccordements en violet, la conduite de distribution de la partie haute en bleu, la distribution du réservoir UPEP Dassy en orange. Les croix illustrent les vannes fermées sur les conduites mentionnées et nous avons en cyan la conduite de part et d'autre de la distribution du réservoir projeté qui dessert par le haut les antennes précédemment citées.

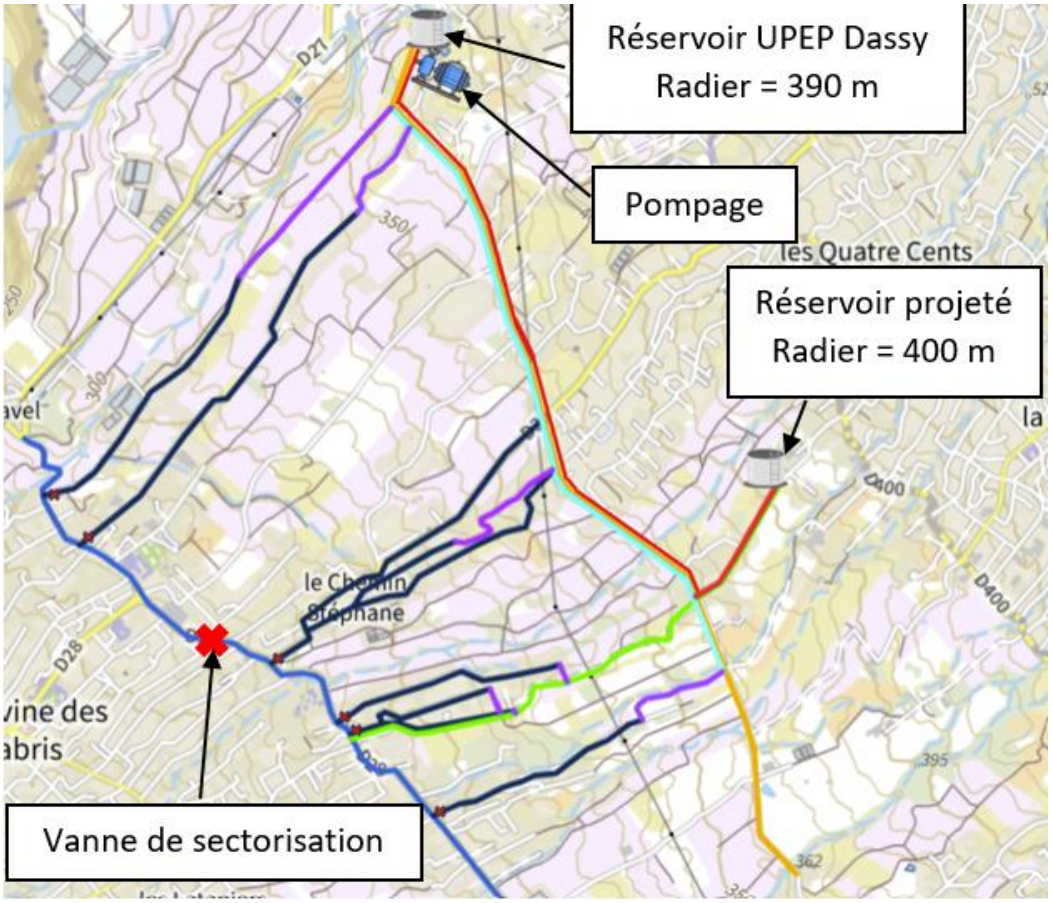


Figure 11 : Illustration globale du scénario 1 (fond de carte Géoportail)

La figure 12 présente le résultat graphique de la simulation du scénario 1 d'amélioration en situation actuelle.

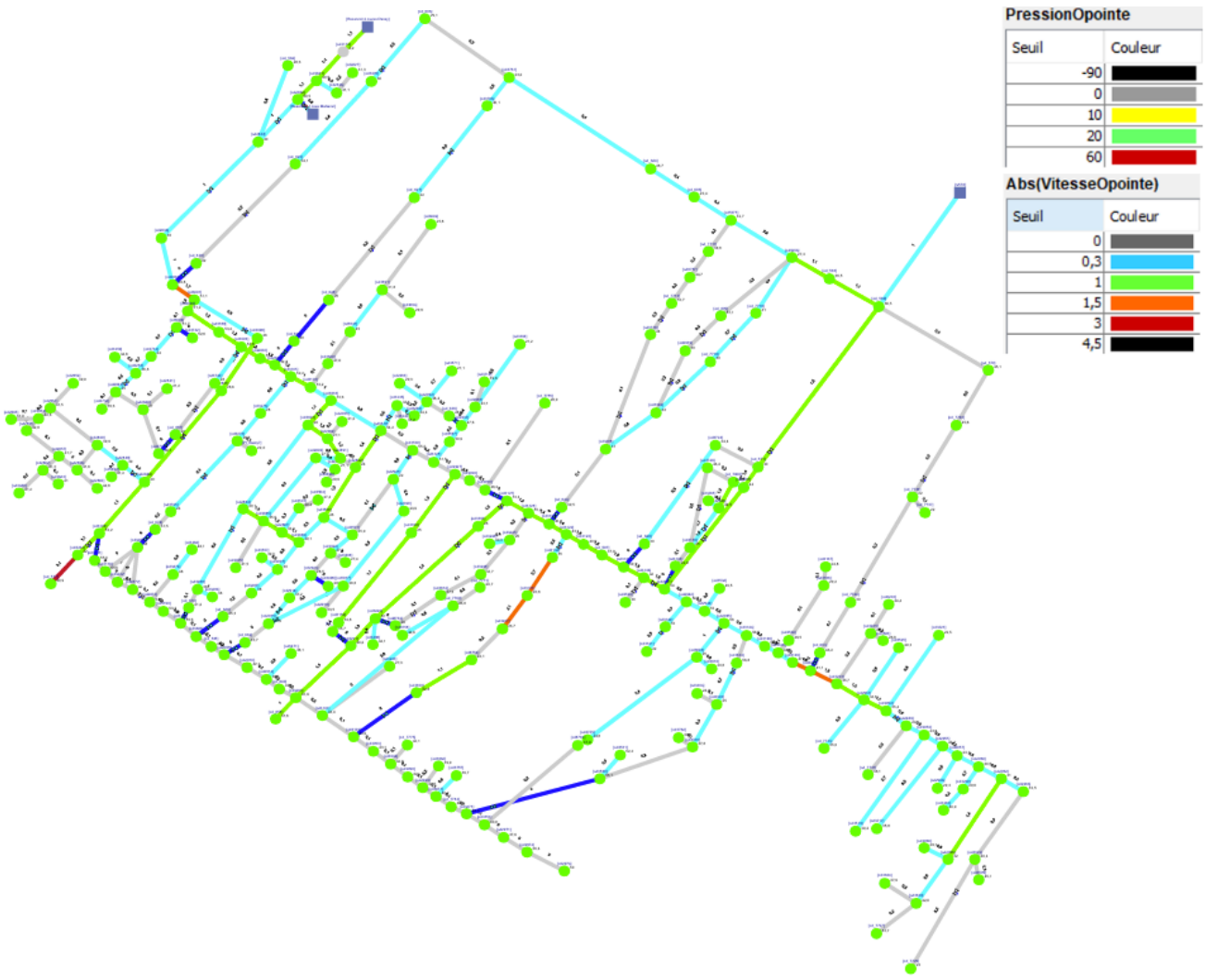


Figure 12 : Résultat graphique de la simulation du scénario 1 en situation actuelle

Commentaire :

L'antenne Benjamin présente des pertes de charges et des vitesses élevées du fait de son faible diamètre. La consigne de pression du régulateur a été rehaussée pour répondre aux exigences de pression. Cette solution n'étant pas viable dans le futur, il est recommandé un renforcement de cette antenne en fonte DN150.

Des vitesses importantes sont enregistrées sur les antennes Pasteur (1,4 m/s), Ferrere (1,3 m/s) et Danesinga (1,4 m/s) de diamètres inférieurs à 150 mm (110 mm pour Pasteur, 60 mm pour Ferrere et 50 mm pour Danesinga). Ces antennes pourront être proposées en renforcement si nécessaire après avoir testé les scenarii en situation future.

Certaines portions de la conduite de distribution de la partie haute présentent des vitesses

d'écoulement élevées atteignant 1,5 m/s. La conduite de distribution en fonte DN300 du réservoir projeté présente également des vitesses similaires. La simulation à l'état futur sera réalisée avec une conduite de distribution de diamètre supérieur pour le réservoir projeté.

IV.4.2. Scénario 2

Nous proposons l'ajout d'un réservoir au réseau qui sera à la cote radier de 370 m permettant son alimentation sans pompage par le réservoir UPEP. La conduite de distribution du réservoir garde les mêmes caractéristiques et la sectorisation est toujours maintenue. Le piquage sur la conduite de distribution du réservoir projeté pour l'alimentation des antennes Ducasteing, Niobe, Stéphane, Louis Nayagom, Marcel Patate et Bardeur par le haut ne figure plus. Ces antennes sont alimentées par la conduite de distribution de la partie haute et sont dépourvues de régulateurs de pression. Les autres équipements sont toujours maintenus avec les mêmes réglages utilisés pour le scénario 1.

La figure 13 illustre les opérations à mener pour le scénario 2.

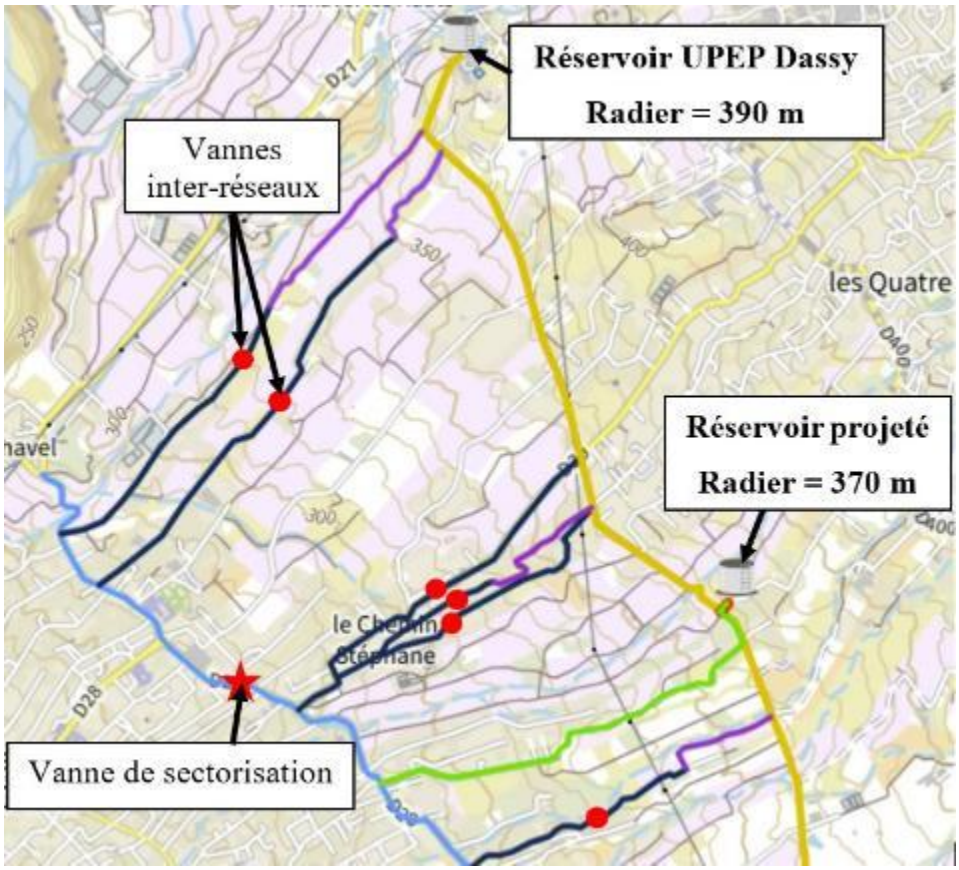


Figure 13 : Illustration du scénario 2 (fond de carte Géoportail)

La figure 14 présente le résultat graphique de la simulation du scénario 2 d'amélioration en situation actuelle.

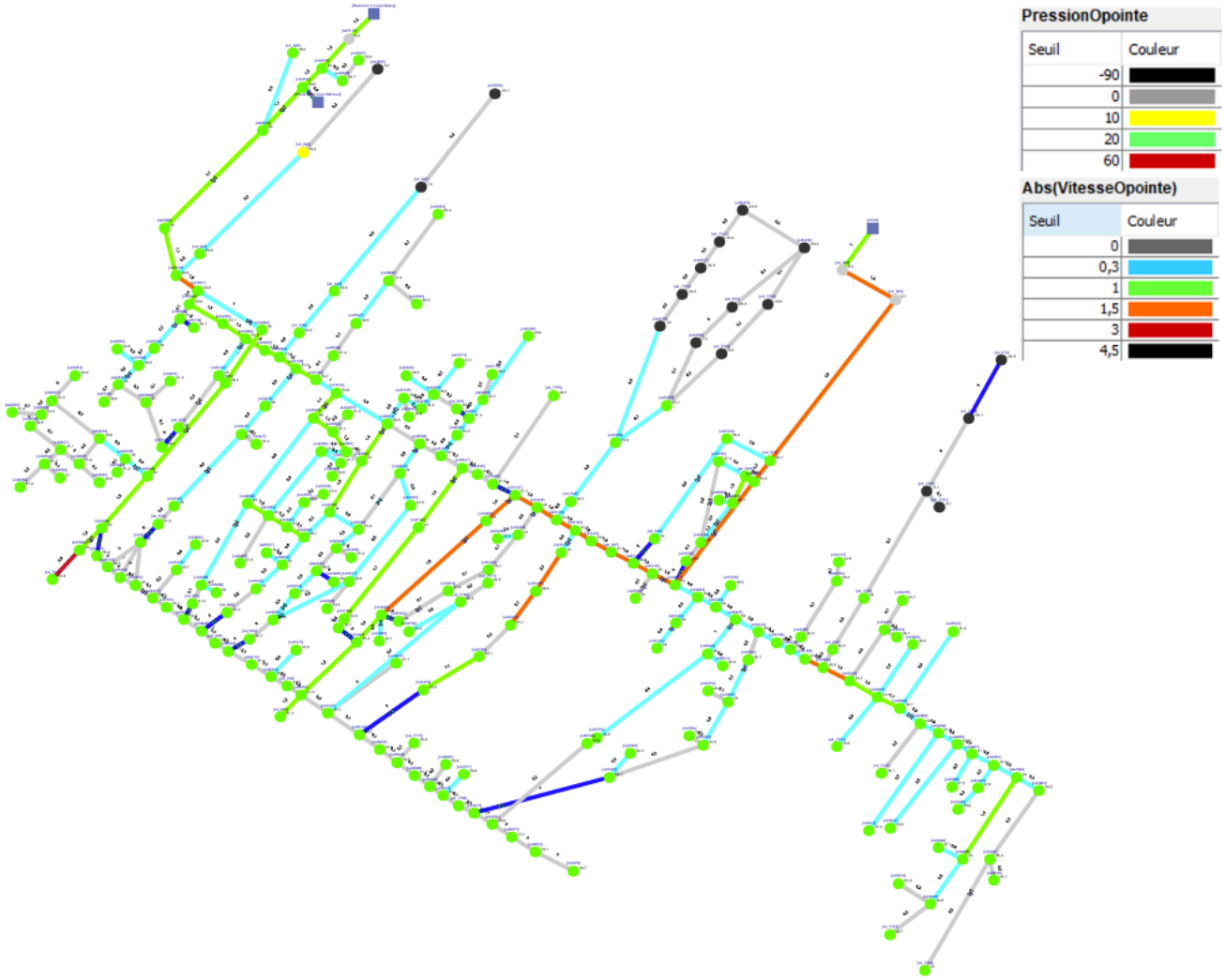


Figure 14 : Résultat graphique de la simulation du scénario 2 en situation actuelle

Commentaire :

La simulation révèle des insuffisances de pression aux sommets des antennes Ducasteing, Niobe, Stéphane, Louis Nayagom, Marcel et Bardeur au-dessus d'une cote moyenne de 300 m NGR. Des vannes inter réseaux pourraient être placées sur ces antennes à cette altitude afin d'alimenter les portions restantes des parties hautes par le réservoir Ligne des 400.

Les problèmes de vitesse mentionnés dans le premier scénario sont toujours présents. Le test du scenario en situation future permettra de faire de meilleures propositions pour la durabilité de notre réseau et de suggérer l'altitude de sécurité à laquelle placer les vannes inter réseaux.

IV.5. Simulation des scenarii d'amélioration en situation future

Pour les simulations suivantes, nous avons réduit la probabilité d'ouverture des fuites passant de 3 % à 1 %. Les autres paramètres restent inchangés sauf le débit de la partie basse.

IV.5.1. Evaluation du taux d'évolution des abonnés de la Ravine des Cabris

En exploitant les informations sur le nombre d'abonnés de la commune entre 2017 et 2021, on trouve un taux d'évolution moyen des abonnés domestiques de 1,5 % sur 5 ans suivant le tableau 8 :

Tableau 8 : Evolution des abonnés domestiques de la commune de Saint-Pierre entre 2017 et 2021

	2017	2018	2019	2020	2021	Moyenne
Nombre d'abonnés domestiques	38 844	39 326	40 001	40 364	41 333	-
Taux d'évolution (%)	-	0,012	0,017	0,009	0,024	0,015

En retenant ce taux de 1,5 % pour les abonnés de la Ravine des Cabris, le nombre d'abonnés de la partie basse passe de 3348 à 4510. Les consommateurs de la partie haute dans le futur sont déterminés avec la même loi.

IV.5.2. Évaluation du débit de distribution de la partie basse de la Ravine des Cabris en situation future

Une nouvelle estimation du débit de distribution de la partie basse est faite dans le tableau 9 :

Tableau 9 : Estimation du débit de distribution de la partie basse de la Ravine des Cabris en situation future

	Situation future
Nombre de logements	4510
Nombre d'habitant / logt	2,28
Consommation par habitant (l/j)	252
Consommation journalière moyenne par logement (l/j)	574,56
Coefficient de pointe journalier	1,3
Consommation journalière de pointe par logement (l/j)	746,928
d (l/s)	0,008645
D (l/s)	0,5
Kinf	1,8
T	40,99
λ	1,5
Qpn (l/s)	79,14
Rendement	**0,75**
Distribution de pointe horaire Qp (l/s)	**105,52**

IV.5.3. Scénario 1

La figure 15 présente le résultat graphique de la simulation du scénario 1 d'amélioration en situation future.

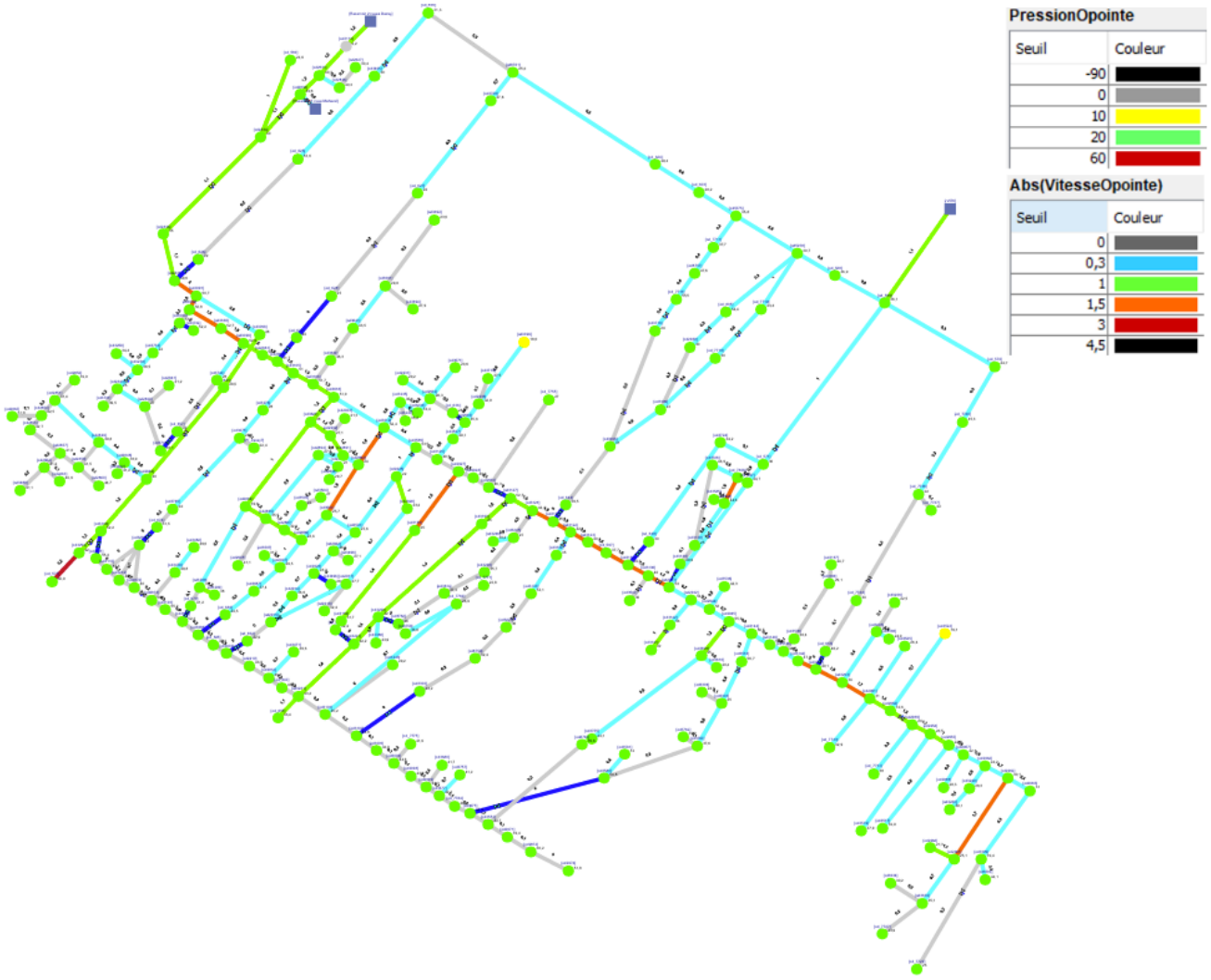


Figure 15 : Résultat graphique de la simulation du scénario 1 en situation future

Commentaire :

Les pressions en tête des antennes Bafinal et Henry Benard sont légèrement inférieures à 20 m. La simulation avec la conduite de distribution du réservoir projeté en fonte DN400 présente une vitesse acceptable de 1 m/s. Les vitesses des antennes Pasteur, Ferrere, Danesinga dépassent désormais la valeur de 1,5 m/s. La conduite de distribution de la partie haute présente toujours des problèmes de vitesse. Le renforcement de la conduite de distribution de la partie haute est envisageable dans le futur. Nous proposons également le renforcement des antennes Pasteur,

Ferrere et Danesinga.

IV.5.4. Scénario 2

La figure 16 présente le résultat graphique de la simulation du scénario 2 d'amélioration en situation future.

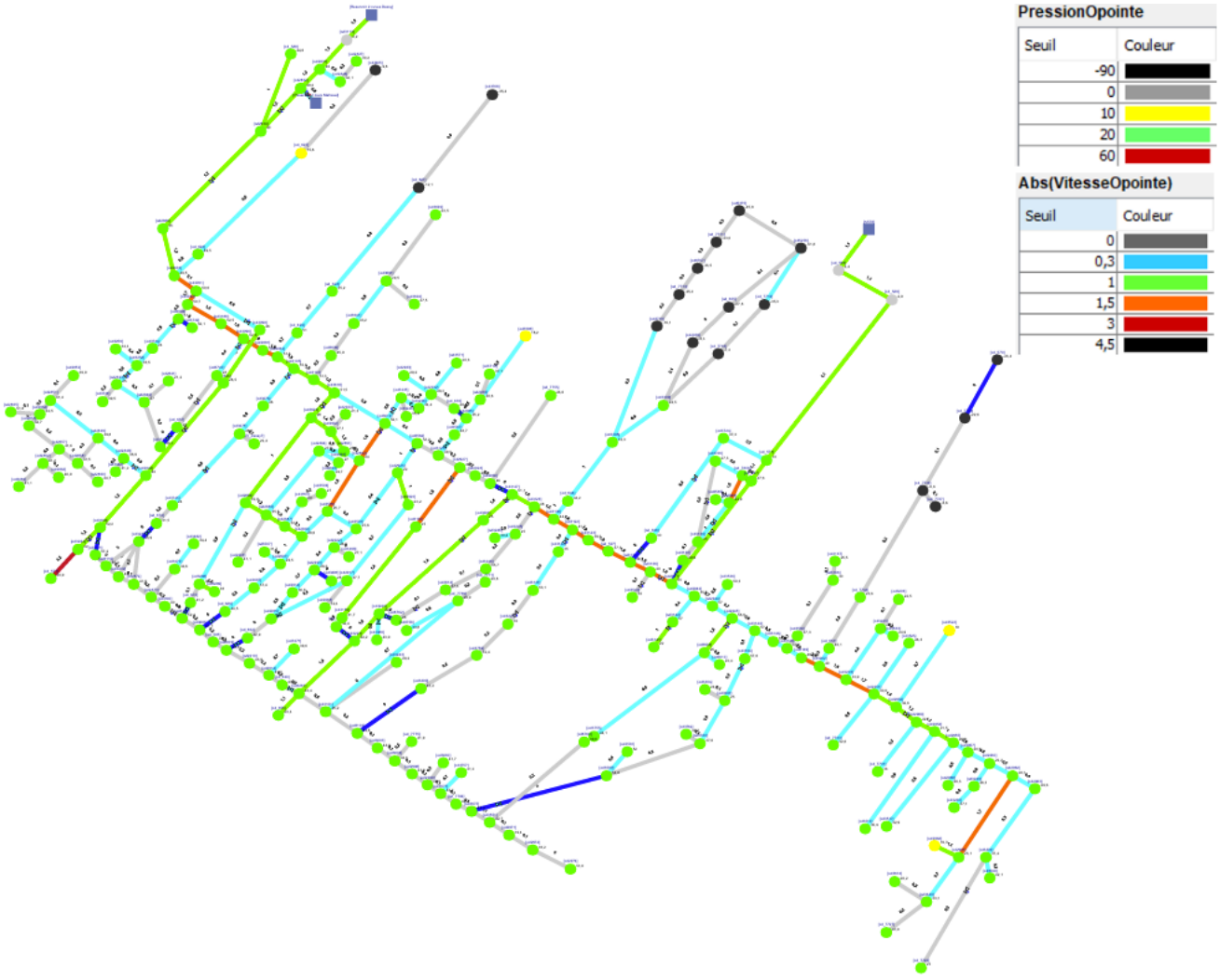


Figure 16 : Résultat graphique de la simulation du scénario 2 en situation future

Commentaire :

Les problèmes de vitesse mentionnés pour le scénario 1 dans le futur persistent pour ce dernier. On assiste à une dégradation de la pression sur les antennes Ducasteing, Niobe, Stéphane, Louis Nayagom, Marcel et Bardeur par rapport à la simulation précédente du scénario 2 à l'état actuel. L'altitude d'installation des vannes inter réseaux passe de 300 à 290 m NGR.

IV.6. Capacité du réservoir et dimensionnement de la conduite d'adduction

IV.6.1. Capacité du réservoir

Le nombre actuel d'abonnés domestiques estimé à la Ravine des Cabris est de 6322. Ce nombre vaudra 8515 en 2045 avec le taux d'évolution annuel moyen de 1,5 %. Le réservoir projeté devant assurer l'alimentation de la moitié du réseau de la Ravine des Cabris, il devra alimenter 3161 abonnés domestiques en 2025 et 4258 abonnés domestiques en 2045. Le tableau 10 présente la capacité nécessaire pour l'année 2025 et 2045

Tableau 10 : Capacité du réservoir projeté

	2025	2045
Nombre d'abonnés domestiques	3161	4258
Consommation spécifique domestique (l/j/abonné)	574	574
Consommation journalière domestique (m3/j)	1814,4	2444,1
Consommation journalière non domestique (m3/j)	181,4	244,4
Consommation journalière moyenne (m3/j)	1995,9	2688,5
Rendement	0,6	0,75
Capacité utile (m3/j)	3326,4	3584,7
Réserve incendie (m3)	120	120
Volume inexploitable (m3)	166,32	179,25
Capacité du réservoir (m3)	**3612,7**	**3883,9**

La capacité totale évaluée est de 3883 m^3 à l'année 2045. Nous proposons deux cuves de 2000 m^3 chacune pour garantir le stockage en eau de la Ravine des Cabris.

IV.6.2. Dimensionnement de la conduite d'adduction du réservoir

Les conduites d'adduction proposées seront en fonte PN16.

- **Débit d'adduction en 2045**

Le tableau 11 présente les débits d'adduction du réservoir pour les deux scénarii en 2045 :

Tableau 11 : Estimation du débit d'adduction pour les deux scénarii en 2045

	Scénario 1	Scénario 2
Consommation journalière moyenne (m3/j)	2688,5	2688,5
Coefficient de pointe journalier	1,3	1,3
Rendement	0,75	0,75
Temps d'adduction	15	24
Débit d'adduction (m3/h)	310,67	194,17
Débit d'adduction (m3/s)	0,09	0,05

- **Conduite d'adduction du scénario 1**

Les résultats du dimensionnement de la conduite d'adduction du réservoir projeté pour le scénario 1 sont présentés par le tableau 12 :

Tableau 12 : Dimensionnement de la conduite d'adduction du réservoir projeté pour le scénario 1

Auteurs	Bress	Bress modifié	Munier	Achour et Bedjaoui	Bonin
Diamètre théorique (mm)	440,64	353,53	293,76	373,08	293,76
Diamètre intérieur (mm)	400	350	300	400	300
Vitesse (m/s)	0,69	0,90	1,22	0,69	1,22
Flamant	1	0,95	0,9	1	0,9
Conclusion	Valable	Valable	Non Valable	Valable	Valable

La condition de Flamant est respectée pour les conduites en fonte DN350 et DN400 mais n'est pas respectée pour la conduite en fonte DN300. Nous proposons la conduite en fonte DN400 pour cette adduction.

- **Conduite d'adduction du scénario 2**

Les résultats du dimensionnement de la conduite d'adduction du réservoir projeté pour le scénario 2 sont présentés par le tableau 13 :

Tableau 13 : Dimensionnement de la conduite d'adduction du réservoir projeté pour le scénario 2

Paramètres	Valeurs
Za (m)	395
Zb (m)	375
Za-Zb	20
Q (m3/s)	0,054
L (m)	100
Lambda	0,015388
g	9,81
D (mm)	115,22
Diamètre choisi (mm)	150

Le dimensionnement de la conduite nous recommande de mettre en place une conduite d'adduction DN 150. Pour plus de sécurité, nous proposons d'installer une conduite d'adduction en fonte DN 200 avec une vanne pas à pas permettant de régler le débit d'adduction.

IV.7. Système de pompage

Le système de pompage pour la réalisation du scénario 1 visant à alimenter le réservoir projeté à une cote altimétrique moyenne de 400 m devra fonctionner en moyenne 15 heures par jour avec un débit d'adduction en pointe de 311 m^3/h pour vaincre une hauteur géométrique minimale de 15 m (avec le point d'aspiration sur la conduite de distribution du réservoir UPEP Dassy à 390 m et la cote de refoulement vers le réservoir projeté à 405 m environ).

La longueur de la conduite d'adduction mesurée sur Géoportail est de 2 800 m. Les pertes de charges sont estimées à 2,85 m dans le tableau 14 pour le débit total d'adduction à fournir :

Tableau 14 : Estimation de la perte de charge de la conduite d'adduction du réservoir projeté

	Valeur	Unité
Qp	86,39	l/s
D	400	mm
k	0,01	mm
v	0,69	m/s
μ	$1{,}175\ 10^{-6}$	m²/s
Re	234032	
λ	0,015	
L	2 800	ml
J	2,59	m
Jt	2,85	m

Le système de pompage à prévoir devra vaincre une hauteur manométrique totale moyenne de 17,85 m. Nous proposons d'installer trois pompes dont une en secours et les deux autres en fonctionnement simultané. Trois pompes centrifuges multicellulaires verticales de la marque Grundfos CR 155-1-1 A-F-A-E-HQQE ont été retenues à cet effet pour la station de pompage avec la troisième pompe comme secours.

- Point de fonctionnement

Le point de fonctionnement de la station de pompage sera le croisement entre la courbe caractéristique résultante des deux pompes en fonctionnement simultané et la courbe caractéristique du réseau.

Le tableau 15 représente les coordonnées des courbes caractéristiques utilisées pour obtenir le point de fonctionnement et la figure 17 présente le graphique de détermination du point de fonctionnement.

Tableau 15 : Coordonnées des courbes caractéristiques

Q (m3/h)	0	40	80	120	160	200	240	280	320	360
Hsystème (m)	31,25	31,77	31,45	30,63	29,38	27,60	25,41	22,18	18,23	13,64
Hréseau (m)	15,00	15,07	15,25	15,51	15,86	16,28	16,78	17,36	18,01	18,72

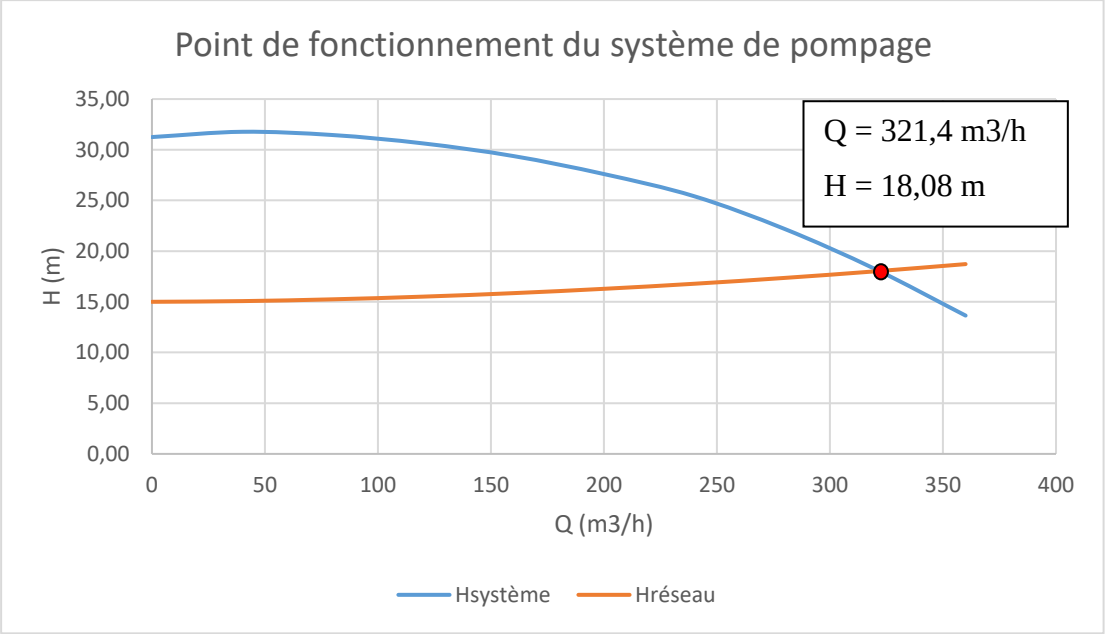


Figure 17 : Point de fonctionnement du système de pompage

Le point de fonctionnement de notre système de pompage avec les deux pompes CR 155-1-1 A-F-A-E-HQQE en fonctionnement simultané fournira un débit de 321,4 m3/h avec une HMT égale à 18,08 m.

La courbe caractéristique des deux pompes associées en parallèle est présentée par la figure 18 :

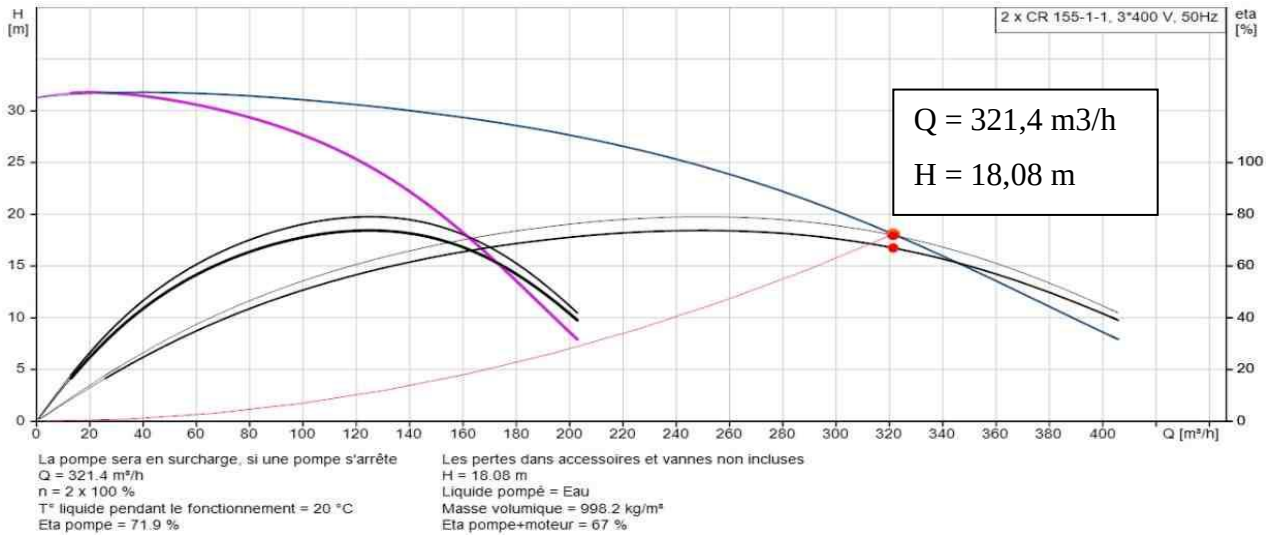


Figure 18 : Courbe caractéristique des deux pompes Grundfos associées en parallèle

Les caractéristiques de la pompe choisie sont présentées par le tableau 16

Tableau 16 : Caractéristiques de la pompe choisie

Pompe	CR 155-1-1
Type moteur	160MD
Débit (m3/h)	160,7
Cos phi	0,86
Puissance P1	11,78 kW
Puissance P2 requise au point de fonctionnement	10,98 kW
Rendement pompe	73,9 %
Rendement moteur	92,6 %
Rendement total	68,4 %

IV.8. Évaluation des risques de coup de bélier

Les résultats de l'évaluation sont présentés dans le tableau 17.

Tableau 17 : Evaluation du risque de coup de bélier

Paramètres	Valeurs
Dint (mm)	400
e (mm)	29
K	1
C	**1256,36**
V (m/s)	0,69
Δp (m)	88,37
HMT (m)	18,08
Surpression	
HMT + Δp	**106,45**
PMA	192
Dépression	
HMT - Δp	**-70,29**
Patm	10,33

La surpression évaluée est inférieure à la pression maximale admissible. Cependant, la dépression est inférieure à la pression atmosphérique ce qui peut entrainer des coups de bélier sur notre conduite d'adduction par refoulement. Nous proposons d'installer une ventouse triple fonction sur la conduite pour remédier aux risques de dépression.

V. DISCUSSIONS ET RECOMMANDATIONS

La simulation de diagnostic nous a permis de découvrir les problèmes suivants :

- La conduite de distribution de la partie haute est soumise à des pressions très élevées allant de 6 à 10 bars. Les vitesses d'écoulement sont également importantes ;
- Certaines antennes présentent des pressions très élevées, d'autres ont des pressions insuffisantes voir négatives.

Le réseau à état actuel présente des faiblesses nécessitant une réorganisation et un zonage.

Nous avons ensuite proposé deux solutions d'amélioration nécessitant chacune la mise en place d'un nouveau réservoir avec des configurations quasi similaires mais des altimétries et modes d'alimentation différents. Il en ressort que le scénario 1 permet de résoudre la quasi-totalité des insuffisances en pression par rapport au scénario 2 mais nécessite la mise en place d'une station de reprise. Cependant, le scénario 2 en plus du nouveau réservoir nécessitera l'apport d'un troisième réservoir plus haut (Réservoir Ligne des 400) afin de garantir les conditions optimales d'alimentation en eau pour tous les abonnés de la Ravine des Cabris.

Bien que la mise en place d'une station de reprise soit coûteuse, elle permettra de :

- Eviter la surcharge du réservoir de la Ligne des 400 ;
- Sécuriser l'alimentation des secteurs dépendants du réservoir de la Ligne des 400 ;
- Eviter le pompage d'un débit supplémentaire depuis le réservoir Dassy vers le réservoir de la Ligne des 400 totalisant une hauteur géométrique de 131 m ;
- Eviter l'obsolescence prématurée de la chaine de pompage du réservoir Dassy CGE vers le réservoir de la Ligne des 400.

Nous recommandons la mise en place du scénario 1 afin de sécuriser l'alimentation en eau potable du quartier de la Ravine des Cabris.

VI. ESTIMATION FINANCIERE

Le tableau 18 présente le résumé des coûts de chaque opération pour les 2 scénarii proposés. Cette estimation n'est pas exhaustive mais approchée, inspirée de projets déjà réalisés par le bureau d'études I.D.R.

Tableau 18 : Estimation globale des coûts des deux scénarii

	Scénario 1	Scénario 2
Réservoir Firminy	2 500 000,00 €	2 500 000,00 €
Adduction du réservoir Firminy	1 800 000,00 €	100 000,00 €
Pompage	1 000 000,00 €	- €
Conduites de distribution	8 656 000,00 €	6 861 000,00 €
Equipements hydrauliques	485 000,00 €	353 000,00 €
Montant HT	14 441 000,00 €	9 814 000,00 €
TVA 8,5%	**1 227 485,00 €**	**834 190,00 €**
Montant TTC	**15 668 485,00 €**	**10 648 190,00 €**

Les annexes 12 et 13 présentent l'estimation des coûts suivant les opérations individuelles à mener sur chaque partie du réseau pour chaque scénario.

VII. ETUDE ENVIRONNEMENTALE ET SOCIALE

Cette étude d'impact environnementale a pour objectif d'identifier et d'évaluer les impacts liés à la mise en place des solutions proposées sur l'environnement et le cadre de vie de la population. Le projet visant à améliorer l'alimentation en eau potable entraînera des impacts positifs et négatifs. L'analyse des effets permettra de proposer des mesures adaptées pour les éviter, les réduire ou les compenser. Pour rappel, le projet prévoit la création de deux réservoirs d'eau ainsi que la pose et le renouvellement de conduites et d'équipements hydrauliques.

VII.1.Contexte réglementaire

VII.1.1. Plan de prévention des risques naturels (PPRN)

Suivant le PPRN de la commune de Saint-Pierre, les réservoirs projetés pour les deux scénarii se retrouveront sur des zones d'aléa faible à modéré de mouvements de terrain combiné à un aléa nul d'inondation. Cette zone est constructible sous réserve de conditions du plan local d'urbanisme. La figure 19 est un extrait du PPRN sur les emplacements projetés des réservoirs (en bleu pour le scénario 1 et en noir pour le scénario 2).

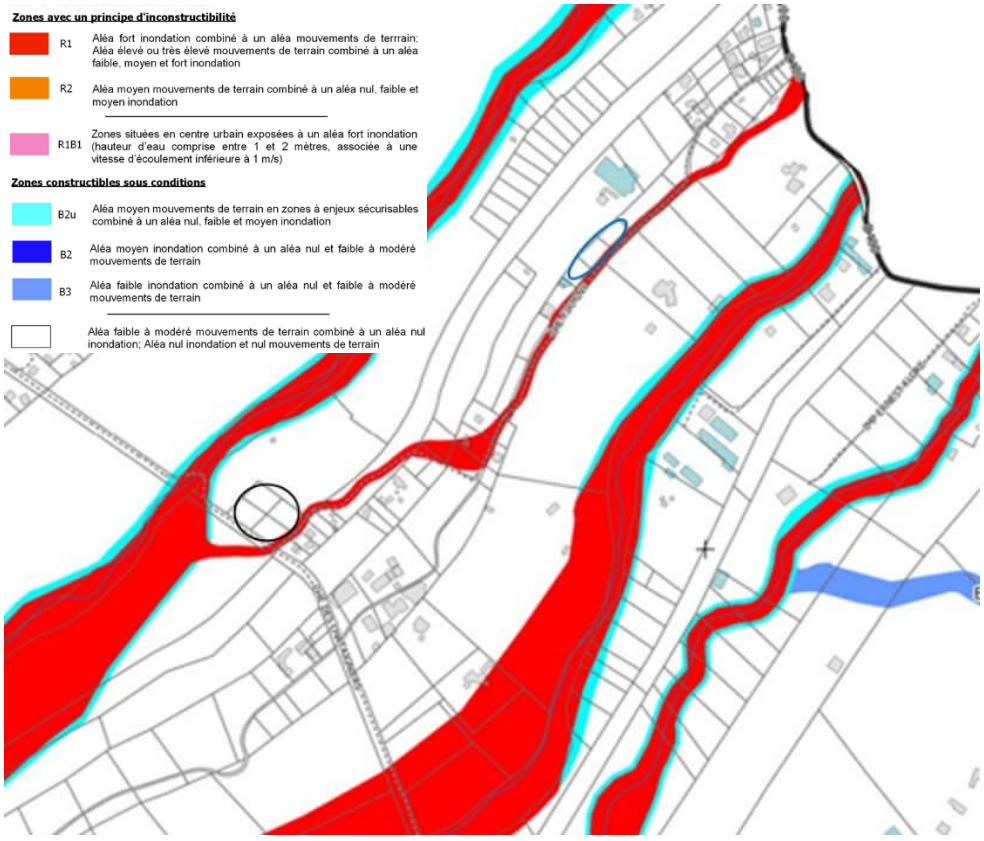


Figure 19 : Localisation projetée des réservoirs selon le PPRN

Les conduites à poser et renouveler traverseront des zones inconstructibles R1, R2 et des zones constructibles sous conditions B2u, B2 et B3.

Les zones R1 et R2 font référence à des zones d'aléa fort, moyen et nul d'inondation combiné à des aléas élevés, très élevés à moyen de mouvement de terrain mais ne sont pas préjudiciables pour la pose de conduite. Cependant, le PPRN recommande des précautions et mesures à prendre lors des travaux sur les zones R1 et R2. Il en est de même pour les zones B2u, B2 et B3 faisant référence à des zones d'aléa moyen, faible ou nul de mouvement de terrain combiné à des zones d'aléa moyen, faible ou nul d'inondation.

VII.1.2. Plan local d'urbanisation (PLU)

Suivant le PLU de la commune de Saint-Pierre, les réservoirs projetés pour les deux scénarii se retrouveront en zone A (jaune) : agricole. Les constructions et installations nécessaires aux équipements d'intérêt collectif et services publics sont autorisées dans cette zone selon l'article A.1 de la réglementation du PLU [9]. La figure 20 montre un extrait de la carte PLU de la commune de Saint-Pierre avec les emplacements projetés des réservoirs encerclés (en bleu pour le scénario 1 et en noir pour le scénario 2).

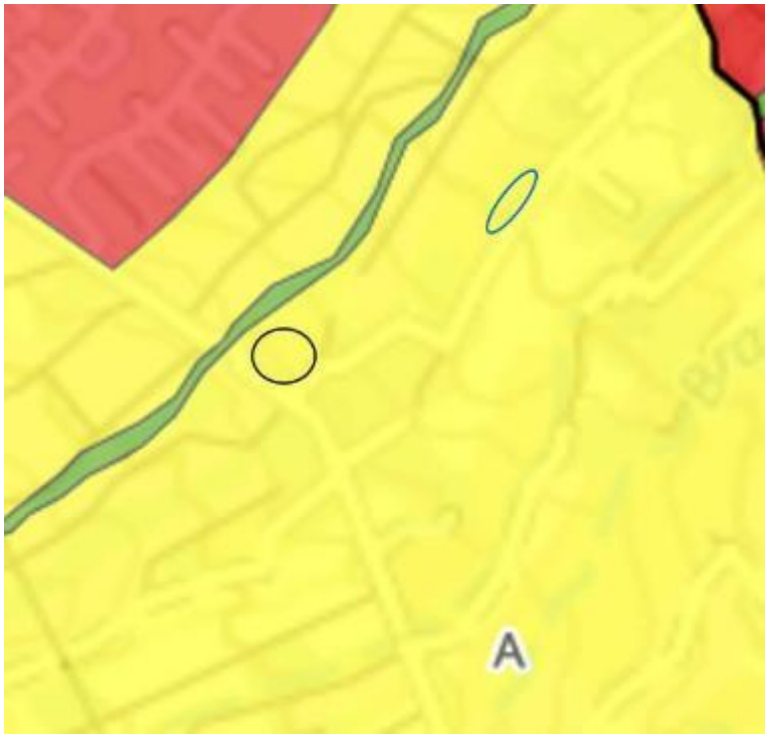


Figure 20 : Extrait du PLU sur les emplacements projetés des réservoirs

VII.2.Identification des impacts

VII.2.1. Impacts positifs

La mise en place des solutions proposées aura de nombreux effets positifs sur le plan social, économique et environnemental. Nous pouvons souligner les impacts suivants :

- L'amélioration du rendement et du fonctionnement du réseau ;
- La préservation de la ressource en eau ;
- La protection du patrimoine du réseau et l'amélioration de la durée de vie ;
- La garantie de la satisfaction des besoins actuels et futurs des abonnés en débit et en pression ;
- La création d'emplois temporaires.

VII.2.2. Impacts négatifs

Les impacts négatifs sont essentiellement présents lors de la phase des travaux. Nous pouvons évoquer :

- La dégradation de la qualité de l'air

L'usage des véhicules de chantier et les travaux de pose de conduites entraineront des émissions de gaz d'échappement et de poussière dans l'air provoquant une dégradation temporaire de la qualité de l'air et des gènes respiratoires.

- La perturbation du trafic routier

Les travaux sur les voiries vont entrainer des déviations et limitations entrainant la perturbation du trafic routier dans le quartier.

- Les nuisances sonores

Le passage des véhicules de chantier et les travaux associés produisent des bruits pouvant perturber la quiétude des habitants.

- Impacts sur l'environnement

La construction des réservoirs va nécessiter l'aménagement du terrain et l'abattage potentiel d'arbres gênants. On peut noter aussi les risques de pollution temporaire liés à des fuites de carburant ou d'huile provenant des engins de chantier et pouvant contaminer les eaux souterraines et les eaux de ruissellement.

- Risques d'accidents

Les engins de chantier et les travaux peuvent constituer un danger pour la sécurité des usagers de la route et des habitants.

En phase d'exploitation, on peut noter :

- Les risques de pannes et de dysfonctionnements des équipements électriques à mettre en place ;
- La production de déchets issus d'équipements électriques, de l'exploitation du réservoir, de la maintenance et de l'entretien des installations ;
- L'augmentation des coûts d'exploitation ;
- Les nuisances sonores engendrées par les pompes et les émissions indirects liées à la consommation électrique.

VII.3.Mesures d'atténuation des impacts

- Impacts sur la qualité de l'air

La préservation de la qualité de l'air nécessitera la limitation de vitesse des engins de chantier, l'usage d'engins respectant les normes environnementales, l'entretien permanent des engins, l'arrêt moteur en cas de pause prolongée et l'arrosage régulier des zones d'intervention et des déblais.

- Impacts sur la nuisance sonore

Il conviendra de travailler pendant les heures ouvrables à proximité des zones d'habitation, utiliser des engins moins bruyants et utiliser si nécessaire des écrans acoustiques pour limiter les impacts. La conception d'un local de pompage bien isolé permettra de réduire significativement les nuisances sonores dues au fonctionnement des pompes.

- Impacts sur le trafic routier

Les travaux sur les routes principales ou à forte fréquentation peuvent être réalisés en soirée ou en dehors des heures de pointe.

- Impacts sur l'environnement

Une campagne de reboisement peut être menée pour compenser les abattages d'arbres. L'imposition de règlements stricts concernant l'entretien des engins permettra de limiter les

risques de fuite d'huiles et d'hydrocarbures.

- Risques d'accidents

L'insistance sur les balisages et signalisations permettra de sécuriser les zones de travaux. L'installation de protections aux abords des endroits sensibles, la limitation de la vitesse et la surveillance des chantiers contribueront à réduire les risques pour les usagers de la route, les habitants et les ouvriers.

- Gestion des pannes, dysfonctionnements et des déchets

La maintenance préventive avec un personnel qualifié permettra de limiter les pannes, dysfonctionnements et la production de déchets issus des équipements mécaniques ou électriques. Le recours à des prestataires agréés, le tri des déchets et le respect des filières spécifiques aux déchets avec une bonne organisation permettront une gestion efficace des déchets produits.

- Maîtrise des coûts d'exploitation

Pour optimiser les coûts d'exploitation, nous recommandons de mettre l'accent sur l'automatisation et la télégestion des installations afin de permettre la détection rapide et à distance des anomalies et faciliter l'exploitation. Il faudra également maîtriser les coûts de maintenance en réalisant des maintenances préventives et assurer une formation de qualité des agents afin de réduire les erreurs. La programmation du renouvellement du réseau permettra d'étaler les dépenses dans le temps et éviter une hausse importante des services en eau.

- Impact sur la consommation électrique et les émissions indirectes

L'installation de pompes à haut rendement énergétique et la maintenance régulière des pompes permettront d'éviter la forte consommation énergétique. L'installation d'un système solaire permettra assurer l'alimentation des pompes en journée, réduire l'empreinte carbone et jouer sur les coûts d'exploitation.

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

CONCLUSION

Ce mémoire avait pour objectif d'étudier l'optimisation du réseau d'eau potable dans la partie haute de la Ravine des Cabris, quartier dont le réseau d'eau potable fait face à de nombreux défis. L'analyse du fonctionnement hydraulique actuel appuyée par une modélisation hydraulique sur Porteau a permis de détecter les anomalies de pression et de vitesse affectant la durabilité du réseau, son rendement et la qualité du service rendu. Dans l'optique de résoudre les problèmes constatés et garantir l'accès futur en eau, deux scénarii nécessitant la pose de conduites, l'installation d'équipements hydrauliques et la mise en place de réservoirs ont été proposés et testés en situation actuelle et en projection future. Par les tests, nous avons vérifié la faisabilité technique de nos propositions d'amélioration répondant ainsi aux objectifs de l'étude. L'évaluation financière a été estimée à 15 668 485 € TTC pour la proposition nécessitant un système de pompage et à 10 648 190 € TTC pour la proposition sans système de pompage. Les recommandations étant faites suivant les observations et les différences au point de vue hydraulique, énergétique, et économique entre les deux propositions, le choix final revient désormais à la CIVIS en fonction de ses priorités techniques et du budget disponible pour la remise à niveau du réseau d'eau potable de la Ravine des Cabris.

RECOMMANDATIONS

Nous proposons les recommandations suivantes :

- La mise en place du scénario 1 avec adduction par refoulement.
- La construction d'un local acoustique pour le système de pompage.
- Le contrôle et l'entretien permanent du système de pompage.
- La mise en place d'un système solaire pouvant alimenter les pompes en journée et réduire l'impact énergétique.
- Le respect des emplacements proposés pour l'installation des réservoirs et des consignes pour la cote minimal des radiers.
- La construction du premier réservoir de 2 000 m^3 actuellement et du second à l'horizon.

BIBLIOGRAPHIE

[1] ARTELIA, HYDRETUDES. **Mise à jour du Schéma Directeur d'Alimentation en Eau Potable de la commune de Saint-Pierre : Phase 2**. Mai 2022. 63 p.

[2] Direction de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DEAL). **Rapport de présentation de la cartographie du risque inondation sur le territoire à risque important**. DEAL, 2014. p. 04-05.

[3] RUNEO. **Rapport Annuel du Délégataire AEP Saint-Pierre**. RUNEO, 2021. p. 45-60.

[4] ARTELIA, HYDRETUDES. **Mise à jour du Schéma Directeur d'Alimentation en Eau Potable de la commune de Saint-Pierre : Diagnostic**. Mars 2018. 180 p.

[5] J. B. Bardiaux. **ALIMENTATION EN EAU POTABLE A.E.P. RESEAUX BESOINS**. J. B. Bardiaux. p. 28-81.

[6] D. M. D. Faye. **INGENIERIE DES RESEAUX EAU POTABLE ADDUCTION - RÉSERVOIRS - RÉSEAUX DE DISTRIBUTION**. D. M. D. Faye, Mai 2021. p. 36-54.

[7] D. M. D. Faye. **HYDRAULIQUE EN CHARGE**. D. M. D. Faye, 2019. p. 19-29.

[8] L. A. Mounirou. **ESSENTIEL DE POMPES ET STATIONS DE POMPAGE**. L. A. Mounirou, 2018. p. 47-52.

[9] Ville de Saint-Pierre. **Plan Local d'Urbanisme Saint-Pierre 3.2 - Règlement écrit**. Juin 2024. p. 202-205.

Sites internet

« **Météo et climat : La Ravine des Cabris (La Réunion) - Quand partir à La Ravine des Cabris ?** », Le planificateur de voyages. Consulté le: 26 avril 2025. [En ligne]. Disponible sur: https://planificateur.a-contresens.net/afrique/la_reunion/reunion/la_ravine_des_cabris/935345.html

« **Annuaire de l'éducation et ressources éducatives** », Annuaire de l'éducation. Consulté le: 7 juin 2025. [En ligne]. Disponible sur: https://annuaire-education.fr/

« **Consommation d'eau en collectif, hotel, camping, école, lycée** ». Consulté le: 7 juin 2025. [En ligne]. Disponible sur: https://www.activeau.fr/consommation-eau-collectif.htm

« **Flore de La Réunion - Habiter La Réunion** ». Consulté le: 18 juin 2025. [En ligne]. Disponible sur: https://habiter-la-reunion.re/la-flore-de-la-reunion/

« **CR 155-1-1 A-F-A-E-HQQE** », Grundfos France. Consulté le: 25 janvier 2026. [En ligne]. Disponible sur: https://product-selection.grundfos.com/fr/products/cr-cre-cri-crie-crn-crne-crt-crte/cr/cr-155-1-1-93390568

ANNEXES

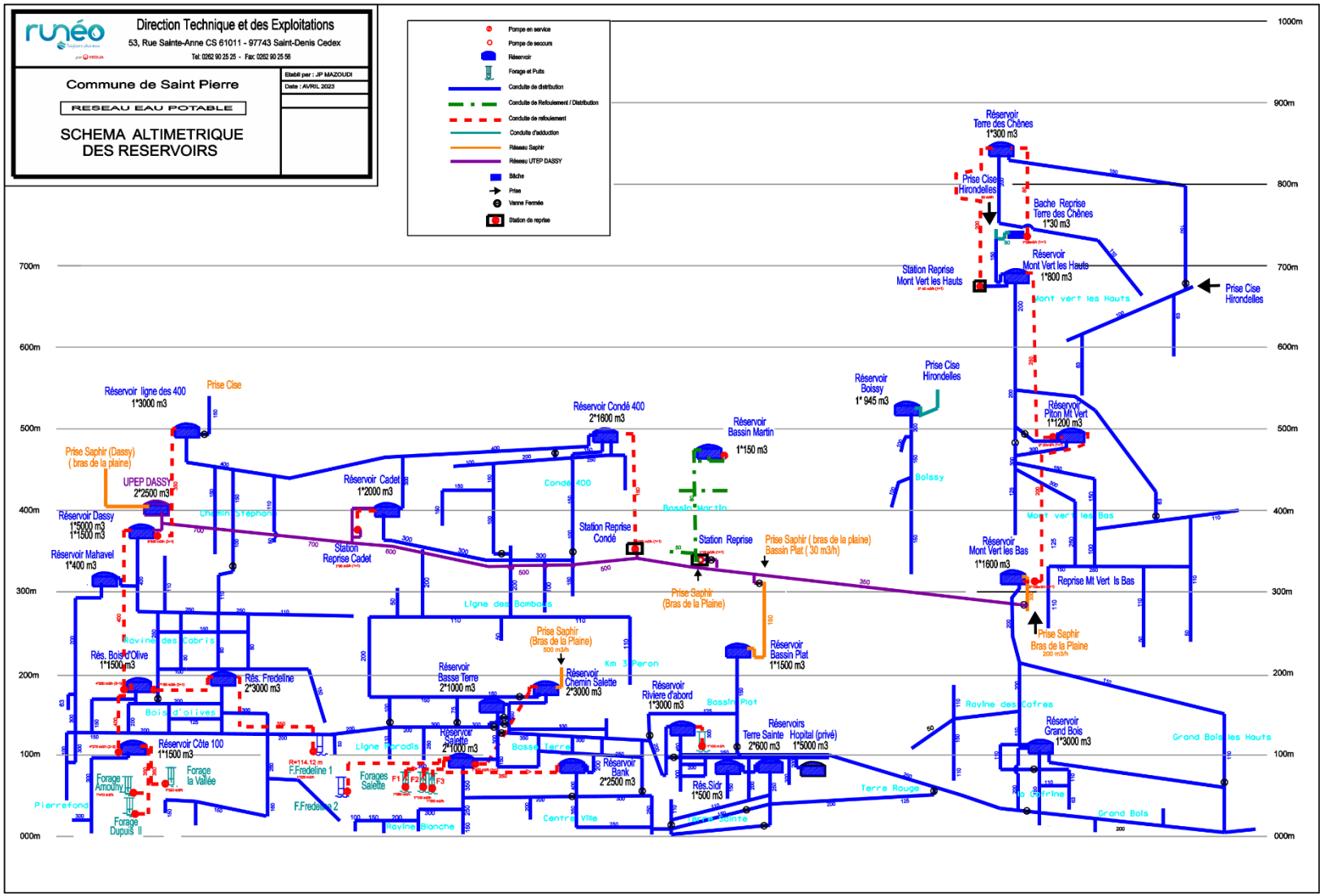
Annexe 1 : Zones de distribution et capacité des réservoirs du réseau d'eau de la commune de Saint-Pierre II
Annexe 2 : Schéma altimétrique des réservoirs de la commune de Saint-Pierre IV
Annexe 3 : Résultats d'analyse des mesures de débit en sortie du réservoir Dassy CGE V
Annexe 4 : Résultats d'analyse des mesures de débit du compteur Dodu VI
Annexe 5 : Résultats d'analyse des mesures de débit du compteur Millet VII
Annexe 6 : Résultats d'analyse des mesures de débit du compteur Lenormand..... VIII
Annexe 7 : Résultats d'analyse des mesures de pression en amont du compteur Millet IX
Annexe 8 : Emplacement des régulateurs de pression de la Ravine des Cabris X
Annexe 9 : Réglage actuel des régulateurs de pression de la Ravine des Cabris..... XI
Annexe 10 : Résultat aux tronçons de la simulation de diagnostic de la Ravine des Cabris ..XII
Annexe 11 : Pression aux nœuds de la simulation de diagnostic de la Ravine des Cabris ... XIX
Annexe 12 : Estimation financière détaillée de la mise en place du scénario 1..... XXVI
Annexe 13 : Estimation financière détaillée de la mise en place du scénario 2..... XXVII

Annexe 1 : Zones de distribution et capacité des réservoirs du réseau d'eau de la commune de Saint-Pierre

Numéro de Zone	**Intitulé**	**Source d'alimentation**	**Capacité**
A	Dassy	Réservoir Dassy CGE	5000 + 1600 m^3
B	Mahavel	Réservoir de Mahavel	400 m^3
C	Frédeline	Réservoir Frédeline	3000×2 m^3
D+E	Bois d'Olive + Cote 100	Réservoir Bois d'Olive + Réservoir Cote 100	1500×2 m^3
F	Ligne des 400	Réservoir Ligne des 400	2500 m^3
G	Cadet	Réservoir Cadet	2000 m^3
H	Conde 400	Réservoir Conde 400	1600×2 m^3
I	Bassin Martin	Réservoir Bassin Martin	150 m^3
J	Bassin Plat	Réservoir Bassin Plat	1500 m^3
K + L	Chemin Salette + Basse Terre	Réservoir Salette + Réservoir Basse Terre	3000×2 + 1000×2 m^3
M	Rivière d'Abord	Réservoir Rivière d'Abord	3000 m^3
N+O	SIDR + Terre Sainte	Réservoir SIDR + Réservoir Terre Sainte	500 + 600×2 m^3
P	Bank	Réservoir Bank	2500×2 m^3
Q	Salette	Réservoir Salette	1000×2 m^3
R	Grand Bois	Réservoir Grand Bois	3000 m^3

S	Montvert les Bas	Réservoir Montvert les Bas	1600 m^3
T	Piton Montvert	Réservoir Piton Montvert	1200 m^3
U	Montvert les Hauts	Réservoir Montvert les Hauts	800 m^3
V	Terre des Chênes	Réservoir Terre des Chênes	300 m^3
W	CD3	Prise CD3	
X	Boissy	Réservoir Boissy	945 m^3

Annexe 2 : Schéma altimétrique des réservoirs de la commune de Saint-Pierre



Annexe 3 : Résultats d'analyse des mesures de débit en sortie du réservoir Dassy CGE

	Débit maximum journalier (l/s)
20-mars	156,23
21-mars	148,49
22-mars	146,91
23-mars	153,40
24-mars	137,68
25-mars	144,54
26-mars	143,13
27-mars	149,01
28-mars	151,08
29-mars	178,48
30-mars	186,63
01-avr	156,16
02-avr	154,56
03-avr	157,67
04-avr	160,26
05-avr	161,43
06-avr	156,35
07-avr	163,85
08-avr	160,17
09-avr	176,82
10-avr	171,98
11-avr	143,05
12-avr	152,49
13-avr	170,01
14-avr	160,04
15-avr	174,81
16-avr	159,65
17-avr	166,46
Moyenne	**158,62**

Annexe 4 : Résultats d'analyse des mesures de débit du compteur Dodu

	Débit maximum journalier (l/s)
20-mars	42,33
21-mars	41,56
22-mars	43,67
23-mars	44,22
24-mars	42,78
25-mars	47,89
26-mars	41,78
27-mars	45,78
28-mars	47,56
29-mars	48,00
30-mars	50,56
01-avr	52,56
02-avr	50,89
03-avr	56,56
04-avr	58,00
05-avr	53,56
06-avr	52,78
07-avr	57,22
08-avr	57,78
09-avr	50,33
10-avr	54,22
11-avr	47,11
12-avr	49,67
13-avr	51,22
14-avr	51,44
15-avr	53,11
16-avr	53,89
17-avr	56,44
Moyenne	**50,10**

Annexe 5 : Résultats d'analyse des mesures de débit du compteur Millet

	Débit maximum journalier (l/s)
20/03/2025	43,00
21/03/2025	44,00
22/03/2025	46,11
23/03/2025	48,78
24/03/2025	42,22
25/03/2025	43,33
26/03/2025	42,11
27/03/2025	44,33
28/03/2025	46,33
29/03/2025	48,11
30/03/2025	49,00
01/04/2025	50,33
02/04/2025	48,44
03/04/2025	50,33
04/04/2025	51,22
05/04/2025	51,11
06/04/2025	50,44
07/04/2025	48,22
08/04/2025	48,44
09/04/2025	51,00
10/04/2025	51,67
11/04/2025	49,00
12/04/2025	52,67
13/04/2025	54,22
14/04/2025	52,33
15/04/2025	57,11
16/04/2025	52,22
17/04/2025	54,00
Moyenne	**48,93**

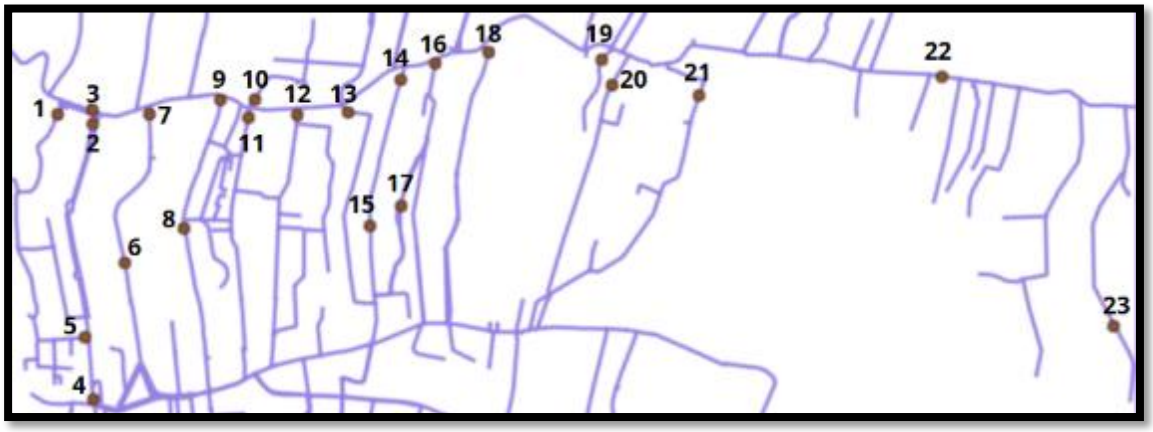
Annexe 6 : Résultats d'analyse des mesures de débit du compteur Lenormand

	Débit maximal journalier (l/s)
20/03/2025	70,88
21/03/2025	69,66
22/03/2025	72,77
23/03/2025	77
24/03/2025	68,11
25/03/2025	69,22
26/03/2025	66,55
27/03/2025	70,11
28/03/2025	73,44
29/03/2025	75,55
30/03/2025	77,66
01/04/2025	79,88
02/04/2025	77,88
03/04/2025	80,66
04/04/2025	83
05/04/2025	82,11
06/04/2025	80,55
07/04/2025	77,55
08/04/2025	76,11
09/04/2025	78,22
10/04/2025	79,88
11/04/2025	74,77
12/04/2025	81,55
13/04/2025	85,66
14/04/2025	80,33
15/04/2025	90,11
16/04/2025	83
17/04/2025	86,33
Moyenne	**77,45**

Annexe 7 : Résultats d'analyse des mesures de pression en amont du compteur Millet

	Pression min (bars)
20-mars	8,57
21-mars	8,62
22-mars	8,45
23-mars	8,29
24-mars	8,57
25-mars	8,49
26-mars	8,49
27-mars	8,37
28-mars	8,49
29-mars	8,32
30-mars	8,24
01-avr	8,18
02-avr	8,29
03-avr	8,04
04-avr	7,95
05-avr	7,88
06-avr	7,96
07-avr	8,15
08-avr	8,16
09-avr	7,98
10-avr	8,09
11-avr	8,26
12-avr	7,90
13-avr	7,77
14-avr	7,91
15-avr	7,54
16-avr	7,90
17-avr	7,65
Moyenne	**8,16**

Annexe 8 : Emplacement des régulateurs de pression de la Ravine des Cabris



Annexe 9 : Réglage actuel des régulateurs de pression de la Ravine des Cabris

Numéro	Rue	Diamètre	Pression aval (bars)
1	Chemin Dumesgnil	250	2
2	Ch Lenormand angle juliette dodu	110	2,8
3	Ch Lenormand face boutique n ° 41	300	2,6
4	Ch Juliette dodu n°52	250	2,4
5	Rue Roussin n° 11	110	3
6	Ch Salmé (prés n° 23)	150	2,4
7	Ch Salmé (prés n° 72)	150	2,4
8	Ch Collardeau (prés n°33)	150	3,8
9	Ch Collardeau (prés n°62)	150	2,5
10	Rond point Leclerc rue pierre blas	150	5,2
11	Rond point Leclerc rue pasteur	110	2,2
12	Ch Moulin café	110	2,2
13	Ch ferrere (prés n°64)	60	2,5
14	Ch Millet Départ	250	2,5
15	Ch Millet n° 28	250	2,8
16	Ch Lallemand n° 50	150	4
17	Ch Lallemand n°22	150	2,6
18	Ch Benjamin Moloise n° 102	150	2,8
19	Imp des Tortues n° 1	63	3,5
20	Ch Lucien (près restaurant)	80	2,5
21	Ch Anaclet Benard (près n° 62)	110	2,5
22	Ch Recherchant (près n°118)	110	2
23	Ch Sita	110	2,5

Annexe 10 : Résultat aux tronçons de la simulation de diagnostic de la Ravine des Cabris

Les résultats aux tronçons obtenus pour la simulation de diagnostic sont présents dans le tableau ci-dessous. Le logiciel calcule les pertes de charges avec la formule de Colebrook et K désigne les rugosités des conduites. Les débits négatifs sont expliqués par le sens de définition de la conduite ou par le sens de l'écoulement de l'eau dans le réseau. Les tronçons aux vitesses nulles disposent de vannes fermées ou se trouve en terminaison d'antenne sans appel d'eau.

Nom	Matériau	L (m)	D (mm)	K (mm)	Q (l/s)	V (m/s)	pdc linéaire (m)	pdc totale (m)	Somme pdc singulières
od3113->od2831	FTE	684,6	400	0,4	153,5	1,2	2,7	2,7	0,0
Reservoir 2 cuves Dassy->od3113	FTE	1,0	400	0,4	153,5	1,2	0,0	0,0	0,0
od2831->od2832	FTE	213,3	400	0,4	153,3	1,2	0,8	0,8	0,0
od2832->od2834	FTE	308,0	400	0,4	143,3	1,1	1,0	1,0	0,0
od2834->od2836	FTE	310,2	400	0,4	142,8	1,1	1,0	1,0	0,0
od2836->od2838	FTE	310,4	400	0,4	142,8	1,1	1,0	1,0	0,0
od2838->od3091	FTE	31,2	300	0,4	142,1	2,0	0,5	0,5	0,0
od3092->od3188	FTE	71,5	250	0,4	92,7	1,9	1,2	1,2	0,0
od3188->od3096	FTE	12,0	250	0,4	92,7	1,9	0,2	0,2	0,0
od3091->od3092	FTE	7,5	250	0,4	91,2	1,9	0,1	0,1	0,0
od3096->od2881	FTE	35,7	250	0,4	88,8	1,8	0,5	0,5	0,0
od2881->od2882	FTE	72,7	250	0,4	88,7	1,8	1,1	1,1	0,0
od2882->od3105	FTE	34,0	250	0,4	87,4	1,8	0,5	0,5	0,0
od3105->od3106	FTE	92,6	250	0,4	84,6	1,7	1,3	1,3	0,0
od3106->od3618	FTE	76,6	250	0,4	82,8	1,7	1,0	1,0	0,0
od3618->od3619	FTE	78,3	250	0,4	74,8	1,5	0,8	0,8	0,0
od3619->od3569	FTE	116,3	250	0,4	71,6	1,5	1,2	1,2	0,0
od3569->od3125	FD	98,7	250	0,4	65,9	1,3	0,8	0,8	0,0
od3125->od2927	FD	5,4	250	0,4	65,9	1,3	0,0	0,0	0,0
od2927->od2928	FD	15,0	250	0,4	64,9	1,3	0,1	0,1	0,0
od2928->od2930	FD	135,1	250	0,4	64,8	1,3	1,1	1,1	0,0
od2930->od3127	FD	23,7	250	0,4	64,0	1,3	0,2	0,2	0,0
od3091->od3098	FTE	94,7	300	0,4	52,5	0,7	0,2	70,6	70,4
od3098->od2845	FTE	62,5	250	0,4	52,4	1,1	0,3	0,3	0,0
od2845->od2846	FTE	500,1	250	0,4	51,9	1,1	2,6	2,6	0,0
od2846->od3108	FTE	111,6	250	0,4	49,9	1,0	0,5	0,5	0,0
od3108->od3294	FTE	50,5	250	0,4	49,5	1,0	0,2	52,4	52,1
od3294->od_577	FTE	1,0	150	0,4	49,2	2,8	0,1	0,1	0,0
od3127->od3393	FD	22,0	250	0,4	47,4	1,0	0,1	59,2	59,1
od3393->od3220	FTE	529,1	250	0,4	46,8	1,0	2,3	21,0	18,8

od3220->od3221	FTE	18,6	250	0,4	46,0	0,9	0,1	0,1	0,0
od3261->od3221	FTE	94,4	250	0,4	45,9	0,9	0,4	0,4	0,0
od3261->od_604	FTE	1,0	250	0,4	40,0	0,8	0,0	0,0	0,0
od3127->od3128	FD	77,7	250	0,4	18,8	0,4	0,1	0,1	0,0
od3128->od3130	FD	56,6	250	0,4	18,0	0,4	0,0	0,0	0,0
od3130->od3122	FD	55,3	250	0,4	17,9	0,4	0,0	0,0	0,0
od3122->od3123	FD	30,8	250	0,4	16,4	0,3	0,0	0,0	0,0
od3135->od_597	FD	78,2	250	0,4	16,3	0,3	0,0	0,0	0,0
od3135->od3136	FD	7,2	250	0,4	15,0	0,3	0,0	0,0	0,0
od3136->od2941	FD	60,7	250	0,4	14,9	0,3	0,0	0,0	0,0
od2941->od2942	FD	5,0	250	0,4	13,0	0,3	0,0	0,0	0,0
od2942->od2944	FD	23,5	250	0,4	12,5	0,3	0,0	0,0	0,0
od2944->od2945	FD	17,6	250	0,4	12,4	0,3	0,0	0,0	0,0
od2945->od3144	FD	96,9	250	0,4	11,0	0,2	0,0	0,0	0,0
od3618->od3623	FTE	112,4	150	0,4	10,4	0,6	0,4	73,2	72,8
od2832->Reservoir 1 cuve Mahavel	FTE	41,9	150	0,4	10,0	0,6	0,1	49,7	49,5
od3144->od3146	FD	78,9	250	0,4	8,7	0,2	0,0	0,0	0,0
od3146->od3148	FD	118,3	250	0,4	8,4	0,2	0,0	0,0	0,0
od3623->od2884	FTE	195,8	150	0,4	8,4	0,5	0,4	0,4	0,0
od3148->od3149	PVC	4,5	110	0,2	8,0	0,8	0,0	0,0	0,0
od3569->od2925	PVC	37,2	110	0,01	7,6	0,8	0,2	71,4	71,2
od3202->od3203	PVC	72,2	110	0,01	6,7	0,7	0,3	0,3	0,0
od3619->od3235	FTE	154,7	150	0,4	5,9	0,3	0,2	40,0	39,8
od3203->od2951	PVC	108,7	110	0,01	5,8	0,6	0,4	0,4	0,0
od2925->od3501	PVC	182,9	110	0,01	5,5	0,6	0,6	0,6	0,0
od2951->od2952	PVC	38,4	110	0,01	5,0	0,5	0,1	0,1	0,0
od3096->od3740	PVC	56,4	110	0,01	4,9	0,5	0,1	69,7	69,6
od2932->od3236	FTE	48,0	150	0,4	4,9	0,3	0,0	0,0	0,0
od3235->od3236	FTE	12,9	150	0,4	4,9	0,3	0,0	0,0	0,0
od3276->od3105	FTE	86,0	150	0,4	4,3	0,2	0,1	76,4	76,4
od3740->od_657	FTE	440,0	100	0,4	4,3	0,5	2,0	2,0	0,0
od2907->od2889	PVC	22,6	110	0,01	4,2	0,4	0,0	0,0	0,0
od2952->od2989	PVC	141,7	110	0,01	4,2	0,4	0,3	0,3	0,0
od3275->od3276	FTE	27,3	150	0,4	4,1	0,2	0,0	0,0	0,0
od2989->od2954	PVC	66,8	110	0,01	4,1	0,4	0,1	31,5	31,4
od3144->od3534	FD	11,7	200	0,4	3,7	0,1	0,0	0,0	0,0
od2954->od2955	PVC	39,1	110	0,01	3,6	0,4	0,1	0,1	0,0
od2955->od2957	PVC	43,5	110	0,01	3,4	0,4	0,1	0,1	0,0
od3534->od3303	PVC	196,2	110	0,01	3,3	0,4	0,2	48,0	47,8
od2941->od3138	FD	11,8	150	0,4	3,3	0,2	0,0	0,0	0,0
od3745->od3275	FTE	376,2	150	0,4	3,2	0,2	0,1	27,0	26,9
od2884->od3288	FTE	334,4	150	0,4	3,2	0,2	0,1	9,2	9,1
od3138->od3139	PVC	96,8	110	0,01	3,2	0,3	0,1	0,1	0,0
od_657->od3741	FTE	1,0	100	0,4	3,1	0,4	0,0	0,0	0,0

od2957->od2960	PVC	60,0	110	0,01	3,0	0,3	0,1	0,1	0,0
od3687->od2907	PVC	168,1	110	0,01	2,9	0,3	0,2	0,2	0,0
od3122->od3132	PEHD	13,0	150	0,01	2,9	0,2	0,0	41,7	41,7
od2889->od3500	PVC	71,8	110	0,01	2,8	0,3	0,1	0,1	0,0
od_629->od2882	PVC	82,7	110	0,01	2,7	0,3	0,1	0,1	0,0
od3132->od3133	PEHD	194,3	50	0,01	2,6	1,3	7,3	7,3	0,0
od2960->od2962	PVC	151,1	110	0,01	2,6	0,3	0,1	0,1	0,0
od3623->od2902	PVC	40,5	63	0,01	2,5	0,8	0,5	0,5	0,0
od2945->od3608	AmCi	169,8	80	1	2,4	0,5	1,1	58,4	57,3
od2932->od_636	FTE	132,0	100	0,4	2,4	0,3	0,2	0,2	0,0
od3303->od3760	PVC	192,0	110	0,01	2,4	0,3	0,1	0,1	0,0
od2902->od2891	PVC	27,4	63	0,01	2,3	0,7	0,3	0,3	0,0
od3500->od2892	PVC	85,0	110	0,01	2,2	0,2	0,1	0,1	0,0
od3133->od3227	PEHD	111,0	50	0,01	2,1	1,1	2,7	2,7	0,0
od2925->od2920	PVC	171,0	75	0,01	2,1	0,5	0,6	0,6	0,0
od_636->od2935	FTE	1,0	100	0,4	1,9	0,2	0,0	0,0	0,0
od_626->od2838	FD	1,0	100	0,4	1,9	0,2	0,0	0,0	0,0
od3160->od2927	AmCi	205,0	60	1	1,9	0,7	3,6	66,5	62,9
od2846->od2848	PVC	41,7	110	0,01	1,8	0,2	0,0	31,1	31,1
od8759->od3227	FTE	29,0	150	0,4	1,7	0,1	0,0	0,0	0,0
od3128->od3245	FTE	86,1	150	0,4	1,7	0,1	0,0	59,4	59,4
od2932->od2933	FTE	74,6	100	0,4	1,6	0,2	0,1	0,1	0,0
od2935->od2936	FTE	96,6	100	0,4	1,6	0,2	0,1	0,1	0,0
od2962->od2963	PVC	110,2	110	0,01	1,6	0,2	0,0	0,0	0,0
od2848->od2849	PVC	40,8	110	0,01	1,5	0,2	0,0	0,0	0,0
od2999->od3677	FTE	43,4	200	0,4	1,5	0,0	0,0	0,0	0,0
od2917->od2920	PVC	159,9	75	0,01	1,5	0,3	0,3	0,3	0,0
od3203->od3205	PVC	148,3	110	0,01	1,5	0,2	0,0	0,0	0,0
od3745->od_586	FTE	148,8	150	0,4	1,5	0,1	0,0	0,0	0,0
od3101->od_7769	AmCi	393,9	80	1	1,5	0,3	0,9	0,9	0,0
od2963->od3309	PVC	151,6	110	0,01	1,4	0,1	0,0	0,0	0,0
od2942->od3142	FD	25,8	100	0,4	1,4	0,2	0,0	0,0	0,0
od2962->od2965	PVC	298,9	50	0,01	1,4	0,7	3,6	3,6	0,0
od3106->od3639	FTE	102,1	150	0,4	1,4	0,1	0,0	0,0	0,0
od3501->od2922	PVC	37,3	110	0,01	1,3	0,1	0,0	0,0	0,0
od3245->od3248	FTE	108,9	150	0,4	1,3	0,1	0,0	0,0	0,0
od2849->od2851	PVC	37,1	110	0,01	1,2	0,1	0,0	0,0	0,0
od2922->od2923	PVC	30,7	110	0,01	1,2	0,1	0,0	0,0	0,0
od3159->od3160	PEHD	267,5	50	0,01	1,2	0,6	2,3	2,3	0,0
od3639->od3641	FTE	53,0	150	0,4	1,2	0,1	0,0	0,0	0,0
od3608->od3755	AmCi	333,3	80	1	1,2	0,2	0,5	0,5	0,0
od2930->od_7755	FTE	374,0	150	0,4	1,2	0,1	0,0	0,0	0,0
od3300->od8759	PEHD	150,7	50	0,01	1,2	0,6	1,3	1,3	0,0
od2892->od3619	PVC	115,5	110	0,01	1,2	0,1	0,0	73,1	73,1

od3814->od3248	FTE	33,0	150	0,4	1,1	0,1	0,0	0,0	0,0
od2873->od3479	FTE	97,3	125	0,4	1,1	0,1	0,0	0,0	0,0
od3760->od3580	PVC	262,8	110	0,01	1,1	0,1	0,0	0,0	0,0
od2923->od2914	PVC	169,9	75	0,01	1,1	0,2	0,2	0,2	0,0
od3235->od3240	FTE	4,4	100	0,4	1,0	0,1	0,0	0,0	0,0
od3677->od_7784	FTE	12,2	200	0,4	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0
od_7784->od3675	FTE	21,6	150	0,4	1,0	0,1	0,0	0,0	0,0
od3288->od3289	PEHD	5,8	50	0,01	1,0	0,5	0,0	0,0	0,0
od3675->od3551	FTE	17,5	200	0,4	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0
od2952->od3523	PVC	251,5	63	0,01	1,0	0,3	0,6	0,6	0,0
od2851->od2854	PVC	44,5	110	0,01	1,0	0,1	0,0	0,0	0,0
od2894->od2896	PVC	13,2	75	0,01	1,0	0,2	0,0	0,0	0,0
od3141->od3142	PEHD	187,3	63	0,01	0,9	0,3	0,3	46,4	46,1
od3148->od3530	FD	16,7	150	0,4	0,9	0,1	0,0	0,0	0,0
od2834->od_589	PEHD	500,2	50	0,1	0,9	0,5	3,1	3,1	0,0
od2914->od2915	AmCi	76,7	80	1	0,9	0,2	0,1	0,1	0,0
od2936->od3396	PVC	288,8	63	0,01	0,8	0,3	0,5	0,5	0,0
od3691->od3641	PEHD	194,6	63	0,01	0,8	0,3	0,3	0,3	0,0
od3530->od3166	FTE	293,3	150	0,4	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0
od2951->od_7733	PEHD	107,0	63	0,01	0,8	0,3	0,2	0,2	0,0
od3309->od_7729	PVC	579,0	110	0,01	0,8	0,1	0,1	43,9	43,8
od2960->od3229	PVC	146,4	50	0,01	0,8	0,4	0,6	0,6	0,0
od3736->od2843	PVC	187,9	110	0,01	0,8	0,1	0,0	0,0	0,0
od2954->od3519	PVC	296,9	50	0,01	0,7	0,4	1,1	1,1	0,0
od2887->od3503	PVC	34,7	75	0,01	0,7	0,2	0,0	0,0	0,0
od2854->od2855	PVC	18,1	110	0,01	0,7	0,1	0,0	0,0	0,0
od2885->od2905	PVC	187,1	90	0,01	0,7	0,1	0,0	0,0	0,0
od2932->od3571	PEHD	98,7	50	0,01	0,7	0,4	0,4	0,4	0,0
od3814->od_608	FTE	397,9	150	0,4	0,7	0,0	0,0	22,8	22,8
od3608->od3610	PEHD	86,3	50	0,01	0,7	0,3	0,3	0,3	0,0
od2907->od3507	PVC	41,9	53	0,01	0,7	0,3	0,1	0,1	0,0
od2855->od2857	PVC	37,3	110	0,01	0,6	0,1	0,0	0,0	0,0
od2896->od2898	PVC	65,4	75	0,01	0,6	0,1	0,0	0,0	0,0
od2965->od2966	PVC	98,1	40	0,01	0,6	0,5	0,8	0,8	0,0
od2912->od3471	PVC	113,5	50	0,01	0,6	0,3	0,3	0,3	0,0
od3479->od3482	PEHD	75,5	50	0,01	0,6	0,3	0,2	0,2	0,0
od3757->od3677	PEHD	76,0	50	0,01	0,6	0,3	0,2	0,2	0,0
od3288->od_590	FTE	78,2	150	0,4	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0
od3687->od_594	AmCi	181,0	80	1	0,6	0,1	0,1	0,1	0,0
od2957->od2968	PVC	200,0	50	0,01	0,6	0,3	0,5	0,5	0,0
od3760->od3762	PVC	70,3	110	0,01	0,6	0,1	0,0	0,0	0,0
od2965->od3630	PVC	195,4	50	0,01	0,6	0,3	0,5	0,5	0,0
od3205->od3206	PVC	84,6	110	0,01	0,6	0,1	0,0	0,0	0,0
od3258->od3259	PEHD	93,0	63	0,01	0,6	0,2	0,1	0,1	0,0

od2951->od3525	PVC	112,9	50	0,01	0,5	0,3	0,3	0,3	0,0
od3551->od8760	AmCi	180,0	80	1	0,5	0,1	0,1	0,1	0,0
od3517->od2955	PEHD	283,0	50	0,01	0,5	0,3	0,6	0,6	0,0
od3205->od3583	PEHD	53,8	63	0,01	0,5	0,2	0,0	0,0	0,0
od2831->od2826	PEHD	66,8	50	0,01	0,5	0,3	0,1	0,1	0,0
od2857->od2862	PVC	20,8	75	0,01	0,5	0,1	0,0	0,0	0,0
od2858->od2849	PVC	65,1	75	0,01	0,5	0,1	0,0	0,0	0,0
od3503->od3504	PVC	43,6	75	0,01	0,5	0,1	0,0	0,0	0,0
od3551->od2971	FTE	165,8	150	0,4	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0
od3159->od_602	PVC	108,0	50	0,01	0,5	0,2	0,2	0,2	0,0
od3166->od3167	PVC	106,5	110	0,01	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0
od2917->od2918	PVC	94,9	75	0,01	0,4	0,1	0,0	0,0	0,0
od2971->od2972	FTE	107,7	150	0,4	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0
od3245->od3246	PEHD	51,2	50	0,01	0,4	0,2	0,1	0,1	0,0
od3220->od3388	PVC	131,4	50	0,01	0,4	0,2	0,2	0,2	0,0
od2944->od3536	PVC	125,2	50	0,01	0,4	0,2	0,2	0,2	0,0
od3567->od2935	FTE	104,6	100	0,4	0,4	0,1	0,0	0,0	0,0
od_7769->od_7771	AmCi	41,6	80	1	0,4	0,1	0,0	0,0	0,0
od3303->od3304	PVC	12,2	110	0,01	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0
od2902->od2903	PVC	99,0	63	0,01	0,4	0,1	0,0	0,0	0,0
od3229->od3230	PVC	209,8	50	0,01	0,4	0,2	0,2	0,2	0,0
od3136->od3540	FD	16,4	100	0,4	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0
od3580->od3581	PEHD	69,8	50	0,01	0,4	0,2	0,1	0,1	0,0
od2948->od3585	PEHD	75,4	50	0,01	0,4	0,2	0,1	0,1	0,0
od2999->od3680	PEHD	5,0	63	0,01	0,4	0,1	0,0	0,0	0,0
od2854->od2865	PVC	50,0	110	0,01	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0
od2848->od3492	PVC	36,0	75	0,01	0,3	0,1	0,0	0,0	0,0
od3101->od3243	FTE	185,2	150	0,4	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0
od2840->od2841	PVC	65,0	110	0,01	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0
od2858->od2860	PVC	37,3	110	0,01	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0
od3275->od3278	FTE	10,0	100	0,4	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0
od2862->od3489	PVC	28,9	63	0,01	0,3	0,1	0,0	0,0	0,0
od2936->od3714	PVC	71,7	110	0,01	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0
od2851->od2852	PVC	47,3	110	0,01	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0
od2974->od2972	FTE	464,4	150	0,4	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0
od3691->od3692	PEHD	58,6	63	0,01	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0
od3004->od_7775	PEHD	16,0	63	0,01	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0
od2915->od_598	FTE	79,8	150	0,4	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0
od2922->od3498	PVC	49,0	110	0,01	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0
od3309->od3509	PVC	51,1	40	0,01	0,2	0,2	0,1	0,1	0,0
od3630->od3634	PEHD	106,3	50	0,01	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0
od3691->od3694	PEHD	81,7	50	0,01	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0
od3630->od_7727	PVC	234,0	50	0,01	0,2	0,1	0,1	0,1	0,0
od2989->od_7731	PVC	127,7	40	0,01	0,2	0,2	0,1	0,1	0,0

od_7736->od_7737	PEHD	41,8	63	0,01	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0
od2948->od_7808	PVC	46,0	63	0,01	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0
od2826->od2827	PEHD	112,7	50	0,01	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0
od2862->od2863	PVC	15,7	75	0,01	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
od3092->od3094	FTE	12,3	250	0,4	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
od3110->od3280	PVC	126,5	50	0,01	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
od3094->od3734	PVC	102,9	110	0,01	0,0	0,0	0,0	73,4	73,4
od3398->od3399	FTE	162,4	100	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
od2923->od3496	PVC	55,0	110	0,01	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
od3125->od3567	FTE	12,2	100	0,4	0,0	0,0	0,0	-38,2	-38,2
od3094->od3732	FTE	9,5	250	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
od3111->od3108	AmCi	83,0	175	1	0,0	0,0	0,0	16,9	16,9
od3399->od2939	FTE	457,0	150	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
od5258->od_605	FTE	285,0	150	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
od_644->od3130	FD	1,0	150	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
od_586->od3280	FTE	1,0	150	0,4	0,0	0,0	0,0	-16,2	-16,2
od_590->od3192	FTE	1,0	150	0,4	0,0	0,0	0,0	2,2	2,2
od_594->od3686	AmCi	1,0	80	1	0,0	0,0	0,0	10,6	10,6
od_598->od2909	FTE	1,0	150	0,4	0,0	0,0	0,0	10,8	10,8
od_602->od3221	PVC	1,0	50	0,01	0,0	0,0	0,0	12,7	12,7
od3300->od3102	FTE	176,0	100	0,4	0,0	0,0	0,0	27,5	27,5
od3580->od3675	PVC	210,7	110	0,01	0,0	0,0	0,0	32,1	32,1
od_608->od3220	FTE	1,0	150	0,4	0,0	0,0	0,0	-2,0	-2,0
od5375->od5258	FD	183,3	150	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
od5258->od_7719	FTE	291,9	100	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
od_7718->od3399	FTE	400,6	100	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
od_7719->od_7718	FTE	156,0	100	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
od5375->od_7711	FD	105,0	150	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
od8757->od_7713	FD	106,9	150	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
od_7711->od8757	FD	91,0	150	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
od3718->od_7713	FD	147,7	150	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
od3718->od3398	FD	694,8	150	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
od3398->od_644	FD	168,0	150	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
od2891->od2894	PVC	27,9	90	0,01	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
od3280->od2872	AmCi	89,4	80	1	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
od2915->od2917	PEHD	336,1	50	0,01	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	0,0
od2857->od2858	PVC	2,0	110	0,01	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0
od3258->od3734	PVC	153,6	110	0,01	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0
od3110->od3111	AmCi	34,5	175	1	-0,3	0,0	0,0	0,0	0,0
od_7740->od_7736	FTE	246,1	150	0,4	-0,4	0,0	0,0	0,0	0,0
od3232->od3280	FTE	84,1	125	0,4	-0,5	0,0	0,0	0,0	0,0
od3110->od3232	AmCi	90,8	175	1	-0,5	0,0	0,0	0,0	0,0
od8758->od_7769	PEHD	351,9	50	0,01	-0,5	-0,3	-0,8	-0,8	0,0
od3232->od2872	AmCi	25,0	175	1	-0,7	0,0	0,0	0,0	0,0

od2894->od2885	PVC	151,6	90	0,01	-0,8	-0,1	0,0	0,0	0,0
od3405->od_625	FD	474,9	100	0,4	-0,8	-0,1	-0,1	-0,1	0,0
od2843->od3258	PVC	133,6	110	0,01	-1,0	-0,1	0,0	0,0	0,0
od3708->od_627	PVC	500,6	110	0,01	-1,1	-0,1	-0,1	-0,1	0,0
od3139->od2948	PVC	420,0	63	0,01	-1,1	-0,4	-1,2	-1,2	0,0
od_7736->od_7744	FTE	500,0	150	0,4	-1,3	-0,1	0,0	0,0	0,0
od3139->od3726	PVC	485,4	110	0,01	-1,4	-0,1	-0,1	-0,1	0,0
od3500->od3501	PVC	108,8	110	0,01	-1,5	-0,2	0,0	0,0	0,0
od_625->od_626	FD	393,5	100	0,4	-1,6	-0,2	-0,3	-0,3	0,0
od2872->od2873	AmCi	42,2	150	1	-1,6	-0,1	0,0	0,0	0,0
od3724->od_648	PVC	746,0	110	0,01	-1,6	-0,2	-0,3	-0,3	0,0
od2998->od2999	FTE	8,6	200	0,4	-1,7	-0,1	0,0	0,0	0,0
od3004->od2998	FTE	9,1	200	0,4	-1,7	-0,1	0,0	0,0	0,0
od3003->od3004	FTE	97,3	200	0,4	-1,8	-0,1	0,0	0,0	0,0
od3102->od3003	FTE	5,3	200	0,4	-1,8	-0,1	0,0	0,0	0,0
od2891->od2892	PVC	21,2	90	0,01	-2,0	-0,3	0,0	0,0	0,0
od3101->od3102	FTE	54,4	200	0,4	-2,0	-0,1	0,0	0,0	0,0
od2843->od2840	PVC	83,3	110	0,01	-2,0	-0,2	0,0	0,0	0,0
od_7744->od_653	FTE	267,0	150	0,4	-2,1	-0,1	0,0	0,0	0,0
od_627->od_628	PVC	747,1	110	0,01	-2,2	-0,2	-0,5	-0,5	0,0
od_653->od3202	FTE	1,0	150	0,4	-2,4	-0,1	0,0	0,0	0,0
od2873->od3190	AmCi	26,4	150	1	-2,4	-0,1	0,0	0,0	0,0
od3190->od3192	AmCi	48,8	150	1	-2,4	-0,1	0,0	0,0	0,0
od3686->od_585	FTE	31,5	200	0,4	-2,4	-0,1	0,0	0,0	0,0
od3192->od3686	FD	86,0	200	0,4	-2,4	-0,1	0,0	0,0	0,0
od_585->od2909	PVC	40,5	150	0,1	-2,4	-0,1	0,0	0,0	0,0
od2909->od2910	FTE	74,2	200	0,4	-2,4	-0,1	0,0	0,0	0,0
od2910->od2912	FTE	40,4	200	0,4	-2,5	-0,1	0,0	0,0	0,0
od_648->od3135	PVC	1,0	110	0,01	-2,6	-0,3	0,0	0,0	0,0
od3741->od2840	PVC	227,3	110	0,01	-2,6	-0,3	-0,2	-0,2	0,0
od2887->od2889	PVC	40,7	90	0,01	-2,7	-0,4	-0,1	-0,1	0,0
od_628->od_629	PVC	178,3	110	0,01	-2,7	-0,3	-0,2	-0,2	0,0
od2885->od2887	PVC	30,3	90	0,01	-3,1	-0,5	-0,1	-0,1	0,0
od2912->od_640	FTE	127,4	200	0,4	-3,2	-0,1	0,0	0,0	0,0
od3261->od3101	FTE	129,6	200	0,4	-3,2	-0,1	0,0	0,0	0,0
od_640->od3261	FTE	1,0	200	0,4	-3,6	-0,1	0,0	0,0	0,0
od2884->od2885	PVC	40,1	90	0,01	-5,0	-0,8	-0,3	-0,3	0,0
od3149->od3202	FTE	82,8	250	0,4	-8,0	-0,2	0,0	0,0	0,0
od_597->od3123	FD	141,1	250	0,4	-16,4	-0,3	-0,1	-0,1	0,0

Annexe 11 : Pression aux nœuds de la simulation de diagnostic de la Ravine des Cabris

La pression minimale désirée à chaque nœud est de 20 m. La dernière colonne est la différence entre la cote piézométrique obtenue et celle désirée. Lorsque cette valeur est nulle, cela veut dire que la pression au nœud est de 20 m.

Nom	Pression (m)	Cote au sol (m)	Cote piézo (m)	Cote piézo désirée (m)	Différence (m)
od2831	40,28	323,56	363,85	343,56	20,28
od2832	49,68	313,34	363,02	333,34	29,68
od2834	59,52	302,46	361,98	322,46	39,52
od2836	77,64	283,30	360,94	303,30	57,64
od2838	92,18	267,71	359,89	287,71	72,18
od2840	51,14	234,83	285,96	254,83	31,14
od2841	45,30	240,67	285,96	260,67	25,30
od2843	49,00	236,92	285,92	256,92	29,00
od2845	28,68	259,84	288,52	279,84	8,68
od2846	62,10	223,80	285,90	243,80	42,10
od2848	30,00	224,79	254,79	244,79	10,00
od2849	30,94	223,84	254,77	243,84	10,94
od2851	32,56	222,20	254,77	242,20	12,56
od2852	31,04	223,73	254,77	243,73	11,04
od2854	33,66	221,10	254,76	241,10	13,66
od2855	33,95	220,81	254,76	240,81	13,95
od2857	32,77	221,99	254,76	241,99	12,77
od2858	32,71	222,05	254,76	242,05	12,71
od2860	35,93	218,82	254,76	238,82	15,93
od2862	32,43	222,32	254,75	242,32	12,43
od2863	32,11	222,64	254,75	242,64	12,11
od2865	43,04	211,71	254,76	231,71	23,04
od2872	43,70	224,81	268,51	244,81	23,70
od2873	42,81	225,70	268,51	245,70	22,81
od2881	94,15	263,24	357,39	283,24	74,15
od2882	93,26	263,03	356,30	283,03	73,26
od2884	38,17	241,75	279,91	261,75	18,17
od2885	34,25	245,38	279,63	265,38	14,25
od2887	32,02	247,52	279,54	267,52	12,02
od2889	28,25	251,20	279,45	271,20	8,25
od2891	23,84	255,76	279,60	275,76	3,84
od2892	22,00	257,57	279,57	277,57	2,00
od2894	26,01	253,59	279,60	273,59	6,01

od2896	25,23	254,35	279,59	274,35	5,23
od2898	28,06	251,50	279,56	271,50	8,06
od2902	24,80	255,07	279,86	275,07	4,80
od2903	19,11	260,71	279,83	280,71	-0,89
od2905	39,97	239,63	279,59	259,63	19,97
od2907	29,21	250,20	279,41	270,20	9,21
od2909	33,41	235,13	268,54	255,13	13,41
od2910	30,47	238,07	268,54	258,07	10,47
od2912	27,84	240,71	268,55	260,71	7,84
od2914	37,37	241,99	279,36	261,99	17,37
od2915	40,31	238,98	279,30	258,98	20,31
od2917	30,20	249,02	279,22	269,02	10,20
od2918	34,97	244,24	279,20	264,24	14,97
od2920	24,95	254,58	279,53	274,58	4,95
od2922	26,71	252,83	279,54	272,83	6,71
od2923	28,05	251,48	279,54	271,48	8,05
od2925	22,00	258,12	280,12	278,12	2,00
od2927	87,31	263,33	350,65	283,33	67,31
od2928	86,98	263,55	350,52	283,55	66,98
od2930	82,97	266,45	349,43	286,45	62,97
od2932	45,47	267,19	312,66	287,19	25,47
od2933	46,54	266,07	312,61	286,07	26,54
od2935	45,85	266,61	312,46	286,61	25,85
od2936	41,48	270,92	312,40	290,92	21,48
od2939	24,61	324,54	349,14	344,54	4,61
od2941	67,26	281,68	348,94	301,68	47,26
od2942	67,77	281,16	348,93	301,16	47,77
od2944	69,32	279,61	348,93	299,61	49,32
od2945	69,29	279,63	348,92	299,63	49,29
od2948	31,27	316,38	347,65	336,38	11,27
od2951	50,62	297,51	348,12	317,51	30,62
od2954	20,00	296,26	316,26	316,26	0,00
od2955	19,68	296,52	316,21	316,52	-0,32
od2957	19,59	296,55	316,15	316,55	-0,41
od2960	21,54	294,55	316,08	314,55	1,54
od2962	27,96	288,01	315,96	308,01	7,96
od2963	29,53	286,39	315,93	306,39	9,53
od2965	37,07	275,33	312,39	295,33	17,07
od2966	35,62	275,98	311,60	295,98	15,62
od2968	26,77	288,86	315,63	308,86	6,77
od2971	26,00	242,54	268,54	262,54	6,00
od2972	24,83	243,71	268,54	263,71	4,83

od2974	38,42	230,12	268,53	250,12	18,42
od2989	51,24	296,51	347,75	316,51	31,24
od2998	30,39	238,15	268,54	258,15	10,39
od2999	29,94	238,60	268,54	258,60	9,94
od3003	31,52	237,02	268,54	257,02	11,52
od3004	31,19	237,35	268,54	257,35	11,19
od3091	93,35	266,08	359,43	286,08	73,35
od3092	93,40	265,91	359,31	285,91	73,40
od3094	93,88	265,44	359,31	285,44	73,88
od3096	94,99	262,94	357,93	282,94	74,99
od3098	26,00	262,86	288,86	282,86	6,00
od3101	31,78	236,76	268,55	256,76	11,78
od3102	31,38	237,17	268,54	257,17	11,38
od3105	92,36	263,43	355,80	283,43	72,36
od3106	92,49	262,04	354,52	282,04	72,49
od3108	74,44	210,91	285,36	230,91	54,44
od3111	59,09	209,42	268,50	229,42	39,09
od3113	2,22	364,28	366,50	384,28	-17,78
od3122	69,91	279,20	349,11	299,20	49,91
od3123	67,47	281,62	349,09	301,62	47,47
od3125	87,51	263,19	350,69	283,19	67,51
od3127	82,13	267,11	349,24	287,11	62,13
od3128	78,19	270,99	349,18	290,99	58,19
od3130	73,79	275,35	349,14	295,35	53,79
od3132	28,00	279,40	307,40	299,40	8,00
od3133	38,97	261,10	300,07	281,10	18,97
od3135	63,58	285,39	348,97	305,39	43,58
od3136	64,17	284,80	348,96	304,80	44,17
od3138	66,14	282,79	348,93	302,79	46,14
od3139	61,13	287,69	348,82	307,69	41,13
od3141	35,00	267,48	302,48	287,48	15,00
od3142	69,29	279,64	348,92	299,64	49,29
od3144	69,92	278,98	348,90	298,98	49,92
od3146	63,66	285,22	348,88	305,22	43,66
od3148	60,34	288,53	348,86	308,53	40,34
od3149	60,85	287,98	348,83	307,98	40,85
od3159	39,75	242,12	281,88	262,12	19,75
od3160	25,00	259,19	284,19	279,19	5,00
od3166	42,71	306,14	348,86	326,14	22,71
od3167	38,31	310,54	348,85	330,54	18,31
od3188	94,92	263,21	358,13	283,21	74,92
od3190	41,81	226,71	268,52	246,71	21,81

od3192	39,06	229,47	268,53	249,47	19,06
od3202	56,07	292,75	348,81	312,75	36,07
od3203	51,67	296,83	348,49	316,83	31,67
od3205	44,37	304,08	348,45	324,08	24,37
od3206	40,40	308,04	348,44	328,04	20,40
od3220	28,00	241,02	269,02	261,02	8,00
od3221	28,31	240,64	268,95	260,64	8,31
od3227	42,88	254,44	297,32	274,44	22,88
od3229	27,73	287,74	315,48	307,74	7,73
od3230	39,18	276,06	315,24	296,06	19,18
od3232	43,87	224,63	268,51	244,63	23,87
od3235	52,00	260,71	312,71	280,71	32,00
od3236	51,45	261,25	312,70	281,25	31,45
od3240	52,24	260,47	312,71	280,47	32,24
od3243	15,75	252,79	268,54	272,79	-4,25
od3245	25,00	264,80	289,80	284,80	5,00
od3246	30,40	259,32	289,72	279,32	10,40
od3248	35,73	254,06	289,79	274,06	15,73
od3258	38,07	247,83	285,90	267,83	18,07
od3259	34,21	251,62	285,83	271,62	14,21
od3261	29,96	238,60	268,56	258,60	9,96
od3275	24,36	255,02	279,38	275,02	4,36
od3276	24,00	255,39	279,39	275,39	4,00
PI_dassy7	18,47	260,91	279,38	280,91	-1,53
od3280	47,72	220,79	268,50	240,79	27,72
od3288	38,00	232,69	270,69	252,69	18,00
od3289	38,11	232,55	270,65	252,55	18,11
od3294	24,00	208,99	232,99	228,99	4,00
od3300	54,77	241,24	296,02	261,24	34,77
od3303	25,00	275,86	300,86	295,86	5,00
od3304	24,76	276,10	300,86	296,10	4,76
od3309	37,53	278,35	315,89	298,35	17,53
od3388	30,41	238,42	268,83	258,42	10,41
od3393	25,00	265,07	290,07	285,07	5,00
od3396	20,51	291,43	311,94	311,43	0,51
od3398	65,31	283,83	349,14	303,83	45,31
od3399	57,35	291,79	349,14	311,79	37,35
od3405	34,32	325,22	359,54	345,22	14,32
od3471	27,11	241,12	268,23	261,12	7,11
od3479	36,46	232,03	268,50	252,03	16,46
od3482	36,95	231,34	268,29	251,34	16,95
od3489	32,34	222,41	254,74	242,41	12,34

od3492	32,28	222,50	254,78	242,50	12,28
od3496	28,03	251,51	279,54	271,51	8,03
od3498	26,87	252,67	279,54	272,67	6,87
od3500	25,18	254,33	279,52	274,33	5,18
od3501	25,34	254,22	279,55	274,22	5,34
od3503	28,21	251,31	279,53	271,31	8,21
od3504	26,23	253,28	279,51	273,28	6,23
od3507	31,77	247,54	279,31	267,54	11,77
od3509	42,33	273,50	315,83	293,50	22,33
od3517	33,24	282,39	315,63	302,39	13,24
od3519	37,73	277,41	315,15	297,41	17,73
od3523	40,99	306,48	347,47	326,48	20,99
od3525	46,76	301,11	347,87	321,11	26,76
od3530	59,99	288,87	348,86	308,87	39,99
od3534	70,14	278,75	348,89	298,75	50,14
od3536	63,12	285,62	348,74	305,62	43,12
od3540	63,15	285,81	348,96	305,81	43,15
od3551	29,30	239,24	268,54	259,24	9,30
od3567	48,78	263,68	312,46	283,68	28,78
od3569	92,24	259,28	351,52	279,28	72,24
od3571	38,82	273,49	312,31	293,49	18,82
od3580	55,51	245,16	300,68	265,16	35,51
od3581	52,99	247,61	300,60	267,61	32,99
od3583	42,88	305,53	348,41	325,53	22,88
od3585	33,64	313,93	347,57	333,93	13,64
od3608	25,00	265,50	290,50	285,50	5,00
od3610	21,32	268,89	290,21	288,89	1,32
od3618	92,23	261,28	353,51	281,28	72,23
od3619	92,20	260,47	352,67	280,47	72,20
od3623	25,00	255,32	280,32	275,32	5,00
od3630	48,73	263,16	311,89	283,16	28,73
od3634	43,92	267,93	311,85	287,93	23,92
od3639	87,11	267,40	354,52	287,40	67,11
od3641	84,40	270,11	354,51	290,11	64,40
od3675	28,92	239,62	268,54	259,62	8,92
od3677	28,68	239,86	268,54	259,86	8,68
od3680	28,32	240,22	268,54	260,22	8,32
od3686	34,35	234,19	268,53	254,19	14,35
od3687	37,52	241,72	279,24	261,72	17,52
od3691	71,71	282,51	354,22	302,51	51,71
od3692	65,78	288,43	354,21	308,43	45,78
od3694	69,86	284,33	354,19	304,33	49,86

od3708	9,66	345,84	355,50	365,84	-10,34
od3714	38,01	274,39	312,40	294,39	18,01
od3718	16,40	332,74	349,14	352,74	-3,60
od3724	20,18	328,52	348,70	348,52	0,18
od3726	33,16	315,53	348,69	335,53	13,16
od3732	94,79	264,53	359,31	284,53	74,79
od3734	22,66	263,24	285,90	283,24	2,66
od3736	63,60	222,30	285,90	242,30	43,60
od3740	28,00	260,19	288,19	280,19	8,00
od3741	60,46	225,69	286,15	245,69	40,46
od3745	24,00	228,33	252,33	248,33	4,00
od3755	46,10	243,90	290,00	263,90	26,10
od3757	28,49	239,84	268,33	259,84	8,49
od3760	38,14	262,59	300,72	282,59	18,14
od3762	39,72	261,00	300,72	281,00	19,72
od3814	37,35	252,44	289,79	272,44	17,35
od5258	-18,86	368,00	349,14	388,00	-38,86
od5375	-12,99	362,13	349,14	382,13	-32,99
od_7711	-10,86	360,00	349,14	380,00	-30,86
od8757	-0,86	350,00	349,14	370,00	-20,86
od_7713	7,14	342,00	349,14	362,00	-12,86
od_7718	26,14	323,00	349,14	343,00	6,14
od_7719	-1,86	351,00	349,14	371,00	-21,86
od_7727	57,79	254,00	311,79	274,00	37,79
od_7729	25,00	247,00	272,00	267,00	5,00
od_7731	65,61	282,00	347,61	302,00	45,61
od_7733	52,97	295,00	347,97	315,00	32,97
od_7736	7,74	341,00	348,74	361,00	-12,26
od_7737	7,74	341,00	348,74	361,00	-12,26
od_7740	-6,26	355,00	348,74	375,00	-26,26
od_7744	39,77	309,00	348,77	329,00	19,77
od_7755	63,71	285,70	349,41	305,70	43,71
od_7769	17,62	250,00	267,62	270,00	-2,38
od_7771	11,61	256,00	267,61	276,00	-8,39
od8758	26,84	240,00	266,84	260,00	6,84
od_7775	28,54	240,00	268,54	260,00	8,54
od8759	45,32	252,00	297,32	272,00	25,32
od_7784	28,84	239,70	268,54	259,70	8,84
od8760	26,48	242,00	268,48	262,00	6,48
od_7808	29,64	318,00	347,64	338,00	9,64
od2827	30,94	332,72	363,67	352,72	10,94
od2826	40,76	322,95	363,71	342,95	20,76

od_585	34,03	234,50	268,53	254,50	14,03
od_589	54,98	303,88	358,86	323,88	34,98
od_577	32,92	200,00	232,92	220,00	12,92
od3110	57,17	211,33	268,50	231,33	37,17
od_605	5,14	344,00	349,14	364,00	-14,86
od_597	63,01	286,00	349,01	306,00	43,01
od_625	59,63	300,00	359,63	320,00	39,63
od_626	92,18	267,71	359,89	287,71	72,18
od_627	32,59	323,00	355,59	343,00	12,59
od_628	78,06	278,00	356,06	298,00	58,06
od_629	93,19	263,03	356,22	283,03	73,19
od_636	45,86	266,61	312,47	286,61	25,86
od_640	29,96	238,60	268,56	258,60	9,96
od_644	73,79	275,35	349,14	295,35	53,79
od_648	63,59	285,38	348,97	305,38	43,59
od_653	56,07	292,74	348,81	312,74	36,07
od_657	60,46	225,69	286,15	245,69	40,46
od2952	52,73	295,30	348,02	315,30	32,73
od_586	31,54	220,78	252,32	240,78	11,54
od_590	41,22	229,47	270,69	249,47	21,22
od_594	44,98	234,18	279,16	254,18	24,98
od_598	44,17	235,13	279,30	255,13	24,17
od_602	41,05	240,63	281,68	260,63	21,05
od_604	32,55	236,00	268,55	256,00	12,55
od_608	26,00	241,00	267,00	261,00	6,00

Annexe 12 : Estimation financière détaillée de la mise en place du scénario 1

	Libellé	Unité	P.U. (€ HT)	Quantité	Total
I	**Pompage Sabrap vers réservoir Firminy**				**1 000 000,00 €**
	Station de pompage 3×160 m3/h	u	1 000 000,00 €	1	1 000 000,00 €
II	**Conduite d'alimentation du réservoir Firminy**				**1 800 000,00 €**
	Conduite de refoulement DN400	ml	1 000,00 €	1800	1 800 000,00 €
III	**Conduite de distribution du réservoir Firminy**				**1 920 000,00 €**
	Conduite de distribution chemin Firminy & Champcourt DN400	ml	1 000,00 €	1920	1 920 000,00 €
IV	**Réseau AEP de distribution**				**6 736 000,00 €**
1	**Chemin Ducasteing DN150**	ml	600,00 €	880	528 000,00 €
2	**Chemin Niobe DN150**	ml	600,00 €	380	228 000,00 €
3	**Chemin Bardeur DN150**	ml	600,00 €	390	234 000,00 €
4	**Chemin Louis Nayagom DN150**	ml	600,00 €	490	294 000,00 €
5	**Chemin Picard DN150**	ml	600,00 €	150	90 000,00 €
6	**Chemin Bret DN150**	ml	600,00 €	90	54 000,00 €
7	**Chemin Benjamin DN150**	ml	600,00 €	680	408 000,00 €
8	**Distribution Lenormand DN300 et DN150 (communale et départementale)**	ml	600,00 €	460	276 000,00 €
		ml	800,00 €	2310	1 848 000,00 €
9	**Chemin Sabrap DN200**	ml	600,00 €	2350	1 410 000,00 €
10	**Chemin Pasteur DN150**	ml	800,00 €	650	520 000,00 €
11	**Chemin Ferrere DN150**	ml	600,00 €	680	408 000,00 €
12	**Chemin Danesinga DN100**	ml	600,00 €	730	438 000,00 €
V	**Equipements hydrauliques**				**485 000,00 €**
1	**Régulateur de pression DN300**	u	18 000,00 €	4	72 000,00 €
2	**Régulateur de pression DN63 à DN200**	u	16 000,00 €	22	352 000,00 €
3	**Robinet vanne**	u	5 000,00 €	9	45 000,00 €
4	**Ventouse triple fonction DN300**	u	16 000,00 €	1	16 000,00 €
VI	**Réservoir Firminy**				**2 500 000,00 €**
1	**Construction de réservoir 2000 m3 × 2**	Ft	2 500 000,00 €	1	2 500 000,00 €
	MONTANT TOTAL € HT				**14 441 000,00 €**
	TVA 8,50 %				**1 227 485,00 €**
	MONTANT TOTAL € TTC				**15 668 485,00 €**

Annexe 13 : Estimation financière détaillée de la mise en place du scénario 2

	Libellé	Unité	P.U. (€ HT)	Quantité	Total
I	**Conduite d'alimentation du réservoir Firminy**				**100 000,00 €**
	Conduite d'adduction chemin Firminy DN400	ml	1 000,00 €	100	100 000,00 €
II	**Conduite de distribution du réservoir Firminy**				**1 535 000,00 €**
	Conduite de distribution chemin Firminy & Champcourt DN400	ml	1 000,00 €	1535	1 535 000,00 €
III	**Réseau AEP de distribution**				**5 326 000,00 €**
1	**Chemin Ducasteing DN150**	ml	600,00 €	880	528 000,00 €
2	**Chemin Niobe DN150**	ml	600,00 €	380	228 000,00 €
3	**Chemin Bardeur DN150**	ml	600,00 €	390	234 000,00 €
4	**Chemin Louis Nayagom DN150**	ml	600,00 €	490	294 000,00 €
5	**Chemin Picard DN150**	ml	600,00 €	150	90 000,00 €
6	**Chemin Bret DN150**	ml	600,00 €	90	54 000,00 €
7	**Chemin Benjamin DN150**	ml	600,00 €	680	408 000,00 €
8	**Distribution Lenormand DN300 et DN150 (communale et départementale)**	ml	600,00 €	460	276 000,00 €
		ml	800,00 €	2310	1 848 000,00 €
9	**Chemin Pasteur DN150**	ml	800,00 €	650	520 000,00 €
10	**Chemin Ferrere DN150**	ml	600,00 €	680	408 000,00 €
11	**Chemin Danesinga DN100**	ml	600,00 €	730	438 000,00 €
IV	**Equipements hydrauliques**				**353 000,00 €**
1	**Régulateur de pression DN300**	u	16 000,00 €	4	64 000,00 €
2	**Régulateur de pression DN63-DN200**	u	18 000,00 €	13	234 000,00 €
3	**Robinet vanne**	u	5 000,00 €	11	55 000,00 €
V	**Réservoir Firminy**				**2 500 000,00 €**
	Construction de réservoir 2000 m3 × 2	Ft	2 500 000,00 €	1	2 500 000,00 €
	MONTANT TOTAL € HT				**9 814 000,00 €**
	TVA 8,50 %				**834 190,00 €**
	MONTANT TOTAL € TTC				**10 648 190,00 €**