

REPUBLIQUE DU CAMEROUN  
Paix – Travail – Patrie

.....  
MINISTERE DES TRAVAUX PUBLICS

.....  
ECOLE NATIONALE SUPERIEURE  
DES  
TRAVAUX PUBLICS

.....  
DEPARTEMENT DE GENIE DE  
L'ENVIRONNEMENT

.....

REPUBLIC OF CAMEROON  
Peace – Work – Fatherland

.....  
MINISTRY OF PUBLIC WORKS

.....  
NATIONAL ADVANCED SCHOOL  
OF PUBLIC WORKS

.....  
DEPARTMENT OF  
ENVIRONMENTAL  
ENGINEERING

.....



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
DI PADOVA

**ETUDE D'UNE SOLUTION ALTERNATIVE  
D'APPROVISIONNEMENT EN EAU POTABLE DE  
L'ENSTP PAR FORAGE**

*Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de Master of Engineering (Meng)  
in Environmental **Engineering**.*

Présenté par :

**BAYIHA MANANG Stéphane**

**Matricule : 16TP21252**

Supervisé par :

**Pr Eng. André TALLA**

*Et*

**Pr Eng. Maria Christina LAVAGNOLO**

**Année académique : 2020/2021**

**DEDICACE**

*A mes parents, pour leur soutien indéfectible et leur amour sans faille.*

## REMERCIEMENTS

Je souhaite ici exprimer ma reconnaissance sincère à tous mes enseignants de l'École Nationale Supérieure des Travaux Publics de Yaoundé et de l'Università degli Studi Di Padova, qui m'ont accompagné au cours de cette formation.

Je remercie particulièrement le chef de département de Génie Rural de l'École Nationale Supérieure des Travaux Publics de Yaoundé, le **Pr André TALLA**, pour son implication, sa disponibilité et ses conseils avisés dans la supervision de ce travail.

Je remercie également le chef de département du Génie de l'Environnement à l'Université de Padoue, le **Pr Maria Cristina LAVAGNOLO**, pour le co-encadrement de ce travail

Mes sincères remerciements au **Pr NKENG George ELAMBO**, directeur de l'École Nationale Supérieure des Travaux Publics ainsi qu'à toute son administration pour l'opportunité qui m'a été offerte d'avoir une formation et un suivi de qualité dans cette prestigieuse école.

Je remercie mes parents, mon **frère Yvan** et ma **sœur Sandrine**, mes amis spécialement **mesdemoiselles A-ICHA ISSOU, Serena EPALLA, NDJE Evelyne, KOUAM SIMO, Monsieur Joseph DOMKAM**, toute ma famille pour leur affection et leur soutien sans faille durant ma formation.

Enfin je remercie mes collègues de la 7<sup>ième</sup> promotion, dont les noms ne sont certes pas cités, mais surement pas oubliés.

## RESUME

La présente étude a été réalisée à l'Ecole nationale supérieure des travaux publics (ENSTP) situé dans la région du centre dans l'arrondissement de Yaoundé 6. Le problème qui s'y pose est celui de l'approvisionnement en eau potable de cette école. L'objectif général de ce travail est la mise sur pied d'un système alternatif d'approvisionnement en eau potable de l'ENSTP par forage. La méthodologie utilisée a consisté en la recherche documentaire, les visites de terrain, les entretiens et le traitement des données collectées. Ceci nous a permis de faire un diagnostic du réseau existant et de proposer un système d'alimentation alternatif en eau pour l'ENSTP. L'analyse du réseau existant a montré que les coupures d'eau sont fréquentes et l'eau fournie est contaminée par des microbes. Le risque de santé est alors élevé pour les consommateurs de cette eau. Pour résoudre ce problème nous avons opté comme solution l'approvisionnement en eau de l'ENSTP à partir d'un forage qui a été réalisé par le Labogénie. Le débit d'exploitation de ce forage est de **1,2 m<sup>3</sup>/h** pour une capacité maximale de production journalière de **28,8 m<sup>3</sup>**. Ce forage est équipé d'une pompe de marque Grundfos SP 5A 44T ayant un débit de **1,2 m<sup>3</sup>/h** ; Cette pompe est alimentée par l'électricité fournie par l'entreprise ENEO et par un groupe électrogène de marque Total-TP250003-1-5000W et de puissance **5 kVA** lorsqu'il y a coupure d'électricité dans l'école. La conduite d'adduction sera en **PEHD PN 10** et de diamètre **32 mm**. Le château d'eau sera de forme cylindrique en béton armé, avec un radier à 18 m du sol et de volume **10 m<sup>3</sup>**. Les conduites de distribution seront en **PEHD PN 10**. La mise en place de la solution préconisée nécessitera un investissement estimé à **13 348 000 FCFA**.

**Mots-clés** : ENSTP, forage, alimentation en eau potable

## ABSTRACT

This study was carried out at the National Advanced School of Public Works (NASPW) located in the central region in the Yaoundé 6 district. The problem is the supply of drinking water to the school. The general objective of this work is to set up an alternative drinking water supply system for the NASPW by drilling a borehole. The methodology used consisted of documentary research, field visits, interviews and processing of the data collected. This allowed us to make a diagnosis of the existing network and to propose an alternative water supply system to the NASPW. The analysis of the existing network showed that water cuts are frequent and the water supplied is not good for consumption due to the fact that it is contaminated with microbes. This present a high health risk for people consuming this water. To solve this problem, we decided to supply the school with water from a borehole that was drilled by Labogénie. The operating flow rate of this borehole is  $1.2 \text{ m}^3/\text{h}$  for a maximum daily production capacity of  $28.8 \text{ m}^3$ . This borehole is equipped with a Grundfos SP 5A 44T pump with a flow rate of  $1.2 \text{ m}^3/\text{h}$ . This pump is functioning with electricity supplied by the company ENEO and by a Total-TP250003-1-5000W generator with a power of **5 kVA** for power cut in the school. The supply pipe will be made of **HDPE PN 10** and **32 mm** in diameter. The water tower will be cylindrical in shape, made of reinforced concrete, with an invert at 18 m from the ground and a volume of  $10 \text{ m}^3$ . The distribution pipes will be in **HDPE PN 10**. The implementation of the recommended solution will require an estimated investment of **13 348 000 FCFA**.

**Keywords:** ENSTP, drilling, drinking water supply, borehole

**SOMMAIRE**

<b>DEDICACE</b> .....	<b>i</b>
<b>REMERCIEMENTS</b> .....	<b>ii</b>
<b>RESUME</b> .....	<b>iii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>iv</b>
<b>SOMMAIRE</b> .....	<b>v</b>
<b>LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS</b> .....	<b>vi</b>
<b>LISTE DES FIGURES</b> .....	<b>vii</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX</b> .....	<b>viii</b>
<b>INTRODUCTION GENERALE</b> .....	<b>1</b>
<b>CHAPITRE I : REVUE DE LITTERATURE ET ETAT DES LIEUX</b> .....	<b>3</b>
<b>CHAPITRE II : APPROCHE METHODOLOGIQUE</b> .....	<b>30</b>
<b>CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION</b> .....	<b>53</b>
<b>CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES</b> .....	<b>74</b>
<b>CONCLUSION GÉNÉRALE</b> .....	<b>69</b>
<b>PERSPECTIVES</b> .....	<b>69</b>
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b> .....	<b>70</b>
<b>ANNEXES</b> .....	<b>74</b>

## LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS

**AEP** : Approvisionnement en eau potable

**BAD** : Banque Africaine de Développement

**CAMWATER** : Cameroon Water Utilities Corporation

**EPA** : Environnement Protection Agency

**FAO** : Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture

**ENEO** : Energie et de nouveau

**OMS** : Organisation Mondiale de la santé

**ONU** : Organisation des Nations Unies

**UNICEF** : Fond des Nations Unies pour l'Enfance

**TH** : Titre hydrotimétrique

**PEHD** : Polyéthylène haute densité

**ENSTP** : Ecole nationale supérieure des travaux publics

**ENAT** : Ecole nationale de technologie

**PH**: Potentiel hydrogène

**LISTE DES FIGURES**

<b>Figure 1: pourcentage de la population ayant accès à l'eau potable dans le monde.....</b>	<b>5</b>
<b>Figure 2 : Niveau d'accessibilité à l'eau potable au Cameroun en 2001 et 2007 .....</b>	<b>6</b>
<b>Figure 3 : Usine de traitement d'eau potable.....</b>	<b>9</b>
<b>Figure 4 : Scénario hydrogéologique hypothétique.....</b>	<b>11</b>
<b>Figure 5 : schéma général d'un réseau AEP .....</b>	<b>14</b>
<b>Figure 6 : Réseau ramifié .....</b>	<b>16</b>
<b>Figure 7 : Réseau maillé .....</b>	<b>16</b>
<b>Figure 8 : Différents types de joints).....</b>	<b>18</b>
<b>Figure 9: Différents type de vannes .....</b>	<b>19</b>
<b>Figure 10 : Types de ventouses .....</b>	<b>20</b>
<b>Figure 11: Poteau d'incendie .....</b>	<b>21</b>
<b>Figure 12 : Direction école nationale supérieure des travaux publics .....</b>	<b>22</b>
<b>Figure 13 : borne fontaine.....</b>	<b>25</b>
<b>Figure 14: conduite de distribution d'eau potable .....</b>	<b>25</b>
<b>Figure 15 : schéma synoptique du réseau.....</b>	<b>32</b>
<b>Figure 16: tracé du réseau de distribution .....</b>	<b>36</b>
<b>Figure 17: Tracé réseau distribution d'eau avec Epanet.....</b>	<b>50</b>



## LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau 1:</b> Comparaison des méthodes de forage .....	13
<b>Tableau 2:</b> Paramètres de dimensionnement des conduites. ....	42
<b>Tableau 3:</b> résultats du dimensionnement de base .....	49
<b>Tableau 4:</b> dimensionnement de la conduite d'adduction .....	50
<b>Tableau 5:</b> Débits en route des tuyaux .....	51
<b>Tableau 6:</b> caractéristiques des nœuds .....	52
<b>Tableau 7:</b> diamètres des conduites .....	53
<b>Tableau 8:</b> paramètres de dimensionnement .....	54
<b>Tableau 9:</b> paramètres de dimensionnement (suite) .....	55
<b>Tableau 10:</b> Etat des nœuds du réseau.....	57
<b>Tableau 11:</b> état des arcs du réseau .....	57
<b>Tableau 12:</b> Etat des tuyaux après modification des diamètres.....	58
<b>Tableau 13:</b> caractéristiques des points favorables à l'implantation du forage.....	59
<b>Tableau 14:</b> devis construction du réseau.....	62
<b>Tableau 15:</b> devis conduite d'adduction.....	<b>64</b>
<b>Tableau 16:</b> Devis pompe.....	65
<b>Tableau 17:</b> devis groupe électrogène .....	66
<b>Tableau 18:</b> Récapitulatif .....	66

**LISTE DES ANNEXES**

<b>ANNEXE 1: NORMES DE L'OMS POUR L'EAU POTABLE .....</b>	<b>75</b>
<b>ANNEXE 2: RÉSULTATS D'ANALYSE.....</b>	<b>77</b>
<b>ANNEXE 3: TABLEAU PERTES DE CHARGES LINEAIRES .....</b>	<b>78</b>
<b>ANNEXE 4: TABLEAU PERTES DE CHARGES SINGULIERES .....</b>	<b>79</b>
<b>ANNEXE 5: CATALOGUE DES CONDUITES.....</b>	<b>80</b>
<b>ANNEXE 6 : FICHES TECHNIQUES POMPES.....</b>	<b>81</b>
<b>ANNEXE 7: FICHES TECHNIQUES GROUPE ELECTROGENE .....</b>	<b>82</b>
<b>ANNEXE 8: COUPE DU FORAGE .....</b>	<b>83</b>
<b>ANNEXE 9: CONSTRUCTION DU FORAGE.....</b>	<b>84</b>
<b>ANNEXE 10: RESERVOIR EN BETON ARME.....</b>	<b>85</b>

## INTRODUCTION GENERALE

L'eau représente 60 % de notre poids, soit 42 l pour un individu de 70 kg. Nos 50000 milliards de cellules contiennent les 2/3 de l'eau de notre corps (Sciences, 2021). On comprend combien notre organisme en est dépendant ; Il est ainsi important pour l'Homme d'en avoir accès à quantité suffisante et de bonne qualité. Or selon l'OMS et l'Unicef, en 2019, 2,2 milliards de personnes n'ont pas accès à des services d'eau potable. Toujours selon l'OMS, en 2019, 297000 enfants de moins de cinq ans meurent chaque année de maladies diarrhéiques causées par l'insalubrité de l'eau, les pratiques sanitaires et hygiéniques inadéquates. Les pays les plus touchés par ce faible accès à l'eau potable sont les pays en voie de développement dont le Cameroun. En effet selon la BAD, en 2010, le taux de desserte en eau potable était de 33 % ; 67 % des Camerounais n'étaient pas connectés au réseau d'adduction en eau potable et ceux-ci consommaient de l'eau non traitée qui les exposait à des risques pouvant même entraîner la mort. Toujours au Cameroun seulement 32 % des écoles ont accès à l'eau potable (Unicef, 2017).

On note ainsi des difficultés d'approvisionnement en eau potable dans le domaine scolaire qui se manifestent par de nombreuses coupures d'eau. C'est le cas de l'Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics (ENSTP) où sur une semaine l'eau est présente en moyenne 3 jours. Ceci rend difficile l'accomplissement des différentes tâches liées à l'hygiène et à l'assainissement. Devant cette incapacité du réseau actuel à approvisionner l'ENSTP en eau potable il est donc nécessaire d'étudier d'autres moyens afin d'y améliorer l'alimentation en eau potable.

La question qui se pose ici est de savoir comment faire pour satisfaire les besoins en eau des étudiants et du personnel de cette école ? Comment y améliorer la fourniture en eau potable ?

L'objectif général de ce travail est **la mise sur pied d'un système alternatif d'approvisionnement en eau potable par forage de l'ENSTP**. Les objectifs spécifiques sont

- \*faire un état des lieux du réseau existant
- \*dimensionner un système d'approvisionnement alternatif (forage + pompe +groupe électrogène+ conduite d'adduction + réseau de distribution + réservoir d'eau)

\*faire une simulation du fonctionnement du réseau ainsi dimensionné

\* Faire une estimation des prix de la réalisation du système conçu.

Cette étude est divisée en trois chapitres. Le premier chapitre présente la revue de la littérature et l'environnement de l'étude ; le deuxième décrit la méthodologie utilisée et enfin le troisième présente les résultats.

**CHAPITRE I : REVUE DE LITTERATURE ET ETAT DES  
LIEUX**

## INTRODUCTION

Le droit de l'Homme à l'eau potable est un des droits les plus importants pour celui-ci. En effet, sans une eau propre à la consommation et à l'utilisation, l'Homme est exposé à de nombreuses maladies comme le cholera ou encore la diarrhée qui peuvent lui apporter la mort. L'eau recouvre 72 % (CIEAU, 2022) du globe terrestre ; 97,2 % (CIEAU, 2022) de cette eau est salée et se retrouve dans les océans et les mers. L'eau douce représente 2,8 % et 2,1 % (CIEAU, 2022) est conservée sous forme de glace. L'eau disponible qui est celle consommable n'est que de 0,7 % (CIEAU, 2022) et est présente sous plusieurs formes à l'instar des eaux souterraines ou encore l'eau de pluie. Cette eau avant d'arriver dans nos robinets passe par de nombreuses étapes indispensables pour notre bien-être.

Dans ce chapitre nous présenterons quelques généralités sur l'eau potable, ensuite nous parlerons des forages à eau, du réseau d'alimentation en eau potable et nous ferons un état des lieux.

### **I.1. Généralités sur l'eau potable.**

#### **I.1.1. Accès à l'eau potable dans le monde**

##### **a. Définition de l'accès à l'eau potable**

L'accès à l'eau est un indicateur représentant la part de la population disposant d'un accès raisonnable à une quantité adéquate d'eau potable (OMS, 2010). Toujours selon l'OMS, la quantité adéquate d'eau potable représente au minimum 20 litres d'eau par habitant et par jour. On entend généralement par « accès raisonnable », un approvisionnement en eau potable disponible à moins de quinze minutes de marche du lieu d'habitation.

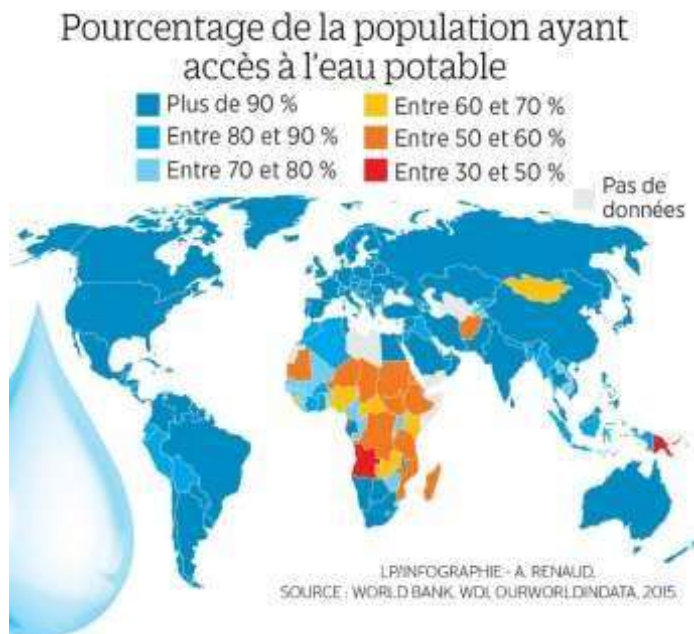
##### **b. Répartition mondiale de l'accès à l'eau potable**

En 2019, 785 millions de personnes ne disposent même pas d'un service de base d'alimentation en eau potable et 144 millions d'entre elles doivent utiliser des eaux de surface (ACFIN, 2022). Selon l'UNICEF et l'OMS, 1 personne sur 3 n'a pas accès à de l'eau salubre.

Aujourd'hui près de 2,2 milliards de personnes n'ont pas accès à l'eau (ACFIN, 2022). Ce qui veut dire qu'elles n'ont soit pas accès chez elles, qu'elles ont accès à un puits qui se trouve plus ou moins loin de chez elle ou qu'elles ont des sources d'eau qu'elles consomment sans savoir si l'eau est traitée ou non. Selon les estimations, 3,6 milliards de personnes dans le monde

vivent dans des zones où l'eau est une ressource potentiellement rare au moins un mois par an (ACFIN, 2022).

La figure 1 présente une répartition de l'eau potable dans le monde.



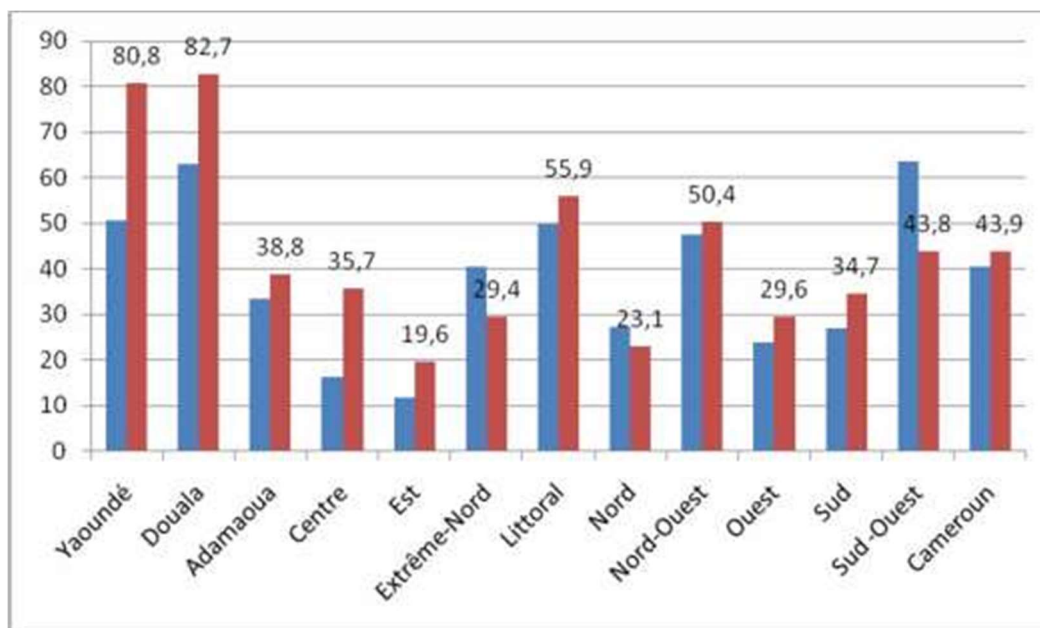
**Figure 1: pourcentage de la population ayant accès à l'eau potable dans le monde**

(Source : <https://www.leparisien.fr/economie/le-grand-defi-de-l-acces-a-l-eau-potable-09-122018-7963866.php>, mars 2022)

### c. Le cas du Cameroun

En 2001 le taux d'accès à l'eau potable au Cameroun était de 40,6 % (Magloire, 2015). L'objectif fixé était d'obtenir un taux de 72 % (INS,2008). En 2007 ce taux était de 44 % (INS, 2008), soit une évolution de 3,3 % en 6 ans ce qui rendait impossible l'atteinte de cet objectif avec cette tendance actuelle. Les villes de Douala et Yaoundé sont beaucoup mieux approvisionnées en eau potable que les autres villes seulement 20 % (INS, 2008) de la population dans les villes de Yaoundé et douala n'ont pas accès à une source d'eau améliorée contre 80 % (INS, 2008) dans les régions de l'ouest, de de l'est de l'extrême nord et du nord qui s'approvisionnent dans les cours d'eau, les puits et sources non protégés, et d'autres sources d'eau non améliorées.

La figure 2 représente les différents pourcentages d'accès à l'eau potable au Cameroun entre 2001 et 2007.



**Figure 2 : niveau d'accessibilité à l'eau potable au Cameroun en 2001 et 2007**

(Kamgho, 2015)

### **I.1.2. Critères de l'eau potable**

Selon l'OMS à ce jour, il existe **63 critères de potabilité de l'eau**, que l'on peut regrouper en 5 grands paramètres :

**\*Les paramètres physico-chimiques :** ils correspondent aux caractéristiques de l'eau tels que le pH, la température, la conductivité ou la dureté de l'eau et délimitent les quantités maximales à ne pas dépasser pour certains composants comme les ions, les chlorures, le potassium et les sulfates.

Exemples :

La teneur en sulfate doit être inférieure à 250 mg/l (OMS, 2017)

La teneur en chlorures doit être inférieure à 200 mg/l (OMS, 2017)

La teneur en potassium doit être inférieure à 12 mg/l (OMS, 2017)

Le pH de l'eau doit être compris entre 6,5 et 9 (OMS, 2017)

Le TH (titre hydrotimétrique), soit la dureté de l'eau, qui correspond à la mesure de la teneur d'une eau en ions calcium et magnésium, doit être supérieur à 15 degrés français. Autrement dit, une eau ne doit pas posséder moins de 60 mg/l (OMS, 2017) de calcium ou 36 mg/l (OMS, 2017) de magnésium, sinon elle sera jugée trop douce : pour ne pas corroder les canalisations, elle devra faire l'objet de minéralisation et/ou de neutralisation pour retrouver un équilibre calco-carbonique.



**\*Les paramètres organoleptiques :** ils concernent la couleur, le goût et l'odeur de l'eau. L'eau doit être agréable à boire, claire et sans odeur. Ces paramètres étant liés au confort de consommation, ils n'ont pas de valeur sanitaire directe.

**\*Les paramètres microbiologiques :** ils permettent de contrôler que l'eau ne contient aucun germe pathogène, comme les virus, les bactéries ou les parasites, pouvant provoquer des maladies, voire des épidémies.

**\*Les paramètres liés aux substances indésirables :** ils concernent les substances telles que les nitrates, les nitrites et les pesticides.

La teneur en nitrates ne doit pas dépasser 50 mg/l (OMS, 2017)

La teneur en fluor doit être inférieure à 1,5 mg/l (OMS, 2017)

**\*Les paramètres liés aux substances toxiques :** les micropolluants tels que l'arsenic, le cyanure, le chrome, le nickel, le sélénium ainsi que certains hydrocarbures sont soumis à des normes très sévères à cause de leur toxicité. Leur teneur tolérée est de l'ordre du millionième du gramme.

### **I.1.3. Traitement de l'eau potable**

Le traitement d'une eau afin de la rendre potable dépend de la qualité initiale de celle-ci. Les eaux souterraines étant mieux protégées que les eaux de surface ; Celles-ci requièrent en général moins de filières de traitement afin d'être potable. En général, il existe 4 types de procédés afin de rendre l'eau potable : Physiques, chimiques, biologiques, et physico-chimiques.

#### **I.1.3.1- Procédés physiques**

Les procédés physiques permettent de retirer des impuretés de l'eau par des actions physiques.

##### **a- Le dégrillage**

Afin de protéger les installations, l'eau prélevée passe à travers des grilles qui retiennent les corps flottants les plus gros (branches, feuilles).

##### **b- Le tamisage**

L'eau passe dans des tamis de maille de plus en plus fine retenant les débris végétaux et animaux, les insectes, les mollusques, les crustacés d'eau douce, les alluvions, les herbes puis les algues et le plancton.

### **c- La décantation simple**

Les particules les plus lourdes se déposent dans le fond du bassin sous l'effet de la gravité.

### **d- La filtration**

L'eau circule plus ou moins rapidement à travers des membranes ou des filtres constitués de matériaux comme le sable et le charbon actif. Les filtres à sable, en début de filière, retiennent notamment le fer et le manganèse. Les filtres à charbon actif, placés en fin de filière, absorbent les composés organiques résiduels.

### **e- La flottation**

De l'air sous pression est insufflé depuis le fond du bassin permettant ainsi aux particules de remonter en surface où elles sont raclées puis évacuées.

#### **I.1.3.2- Procédés chimiques**

Ce type de traitement utilise des réactifs chimiques qui agissent directement sur les métaux lourds, les matières organiques, les germes pathogènes et les caractéristiques de l'eau.

La chaux peut être utilisée pour modifier le pH de l'eau et la rendre plus douce ou plus agressive.

L'oxydation au chlore élimine l'ammoniaque, le fer et évite le développement d'algues. L'oxydation à l'ozone élimine le fer, le manganèse, les micropolluants et rend les matières organiques plus biodégradables.

La chloration et l'ozonation utilisent respectivement le chlore et l'ozone comme désinfectants en fin de filière.

#### **I.1.3.3- Procédés physico chimiques**

Ces procédés couplent l'action chimique d'un réactif à une action physique.

Les particules étant de taille très petite et les particules chargées (colloïdes), ne peuvent pas être retirées uniquement par décantation. Pour faciliter leur élimination, il faut des procédés chimiques pour vont favoriser leur agglomération et leur dépôt au fond du bassin. Il s'agit de la coagulation et de la floculation.

##### **a. La coagulation**

Des sels de fer ou d'aluminium sont ajoutés à l'eau afin de réduire les forces électrostatiques de répulsion entre les particules et permettre ainsi leur coagulation.

## b. La floculation

L'eau est lentement brassée, permettant ainsi aux particules de s'agglomérer et de former des amas de plus en plus gros. Leur masse élevée leur permet ensuite de se déposer plus rapidement dans le fond du bassin sous l'effet de la gravité.

### I.1.3.4- Procédés biologiques

Le traitement biologique utilise les microorganismes naturellement présents dans l'eau, principalement les bactéries. Elles dégradent la matière organique biodégradable (matière naturelle ou micropolluants artificiels) en produits plus simples et moins dangereux pour l'homme.

Des filtres introduits dans la filière de traitement permettent, par exemple, de fixer des bactéries qui vont se développer en surface. Selon la nature du filtre et de sa place dans la filière, les populations bactériennes retenues et leur activité sont différentes : les filtres à sable, par exemple, favorisent la croissance de bactéries nitrifiantes qui éliminent l'azote ammoniacal. De façon générale, plus la vitesse de filtration est lente plus le processus biologique est visible.

La figure 3 représente les différents procédés suivis par l'eau brute en usine afin d'être potable

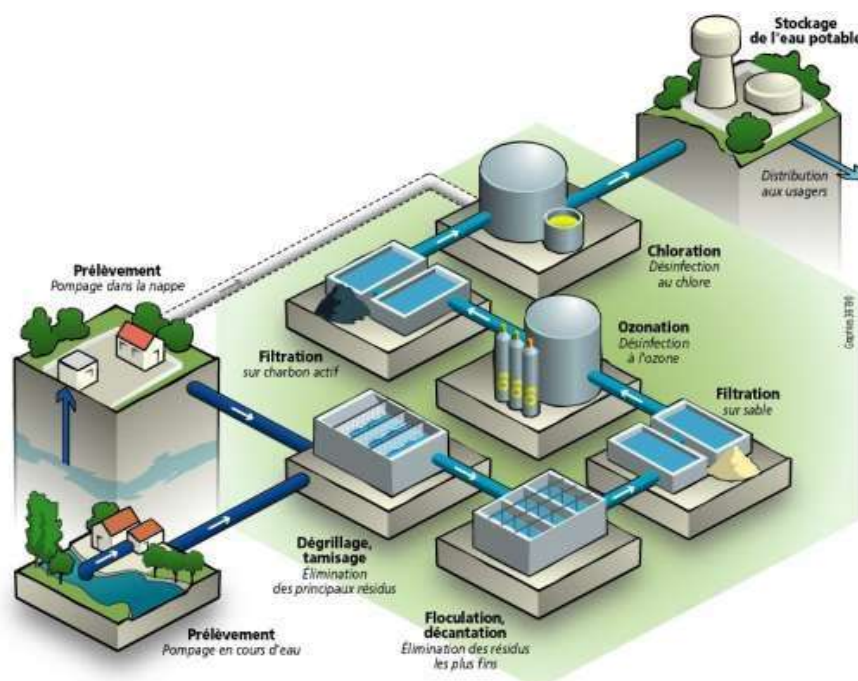


Figure 3 : Usine de traitement d'eau potable

(Source : <https://www.services.eaufrance.fr/gestion/services/eau-potable/le-traitement>, mars 2022)

## **I.2. Généralités sur les forages à eau**

Un forage à eau est un ouvrage permettant de capter l'eau souterraine. L'eau étant contenue dans le sol, il convient de l'étudier afin d'avoir une production optimale de l'eau potable.

### **I.2.1. Types de formation géologiques**

L'eau sous terre est contenue dans les aquifères ; On en distingue plusieurs types.

#### **a. Aquifères perchés**

Sur le site A de la figure 4, un puits peu profond peut produire un peu d'eau tirée d'un « aquifère perché » situé dans la zone altérée au-dessus de Mud stone relativement imperméable (faible porosité). Si ce puits était prolongé dans le Mud stone, il pourrait produire très peu d'eau supplémentaire. Un aquifère perché est généralement de taille réduite et se trouve sur une couche imperméable située au-dessus du niveau de la nappe phréatique de l'ensemble de la zone.

#### **b. Aquifères libres peu profonds**

L'adjectif « libre » désigne un aquifère dont l'eau est soumise à la pression atmosphérique. Par conséquent, en l'absence de pompage, le niveau statique de l'eau dans le forage correspond au niveau de l'eau dans le terrain. Sur le site B de la figure 4, un forage extrait de l'eau d'un aquifère libre gréseux, dont le niveau statique est quelque peu inférieur au niveau de l'écoulement de la rivière. Cet aquifère gréseux se trouve dans une bonne zone de captage en raison de la recharge assurée par la rivière.

#### **c. Aquifères captifs**

Un aquifère « captif » contient de l'eau souterraine sous pression. Par conséquent, lors d'un forage, le niveau statique s'élève jusqu'à un niveau supérieur au niveau de l'eau dans le terrain. Si la surface piézométrique se trouve au-dessus du niveau du sol, l'eau s'écoulera d'elle-même hors du forage : on parle alors d'eau « artésienne ». Le forage profond C de la figure 4 coupe l'aquifère gréseux et un aquifère captif plus profond, qui se trouve dans du calcaire fissuré. En raison de la pression dans l'aquifère calcaire, le niveau statique de ce forage peut être au même niveau que dans le cas B de la figure 4 ou à un niveau supérieur. L'aquifère calcaire peut ne pas avoir de recharge et, par conséquent, l'eau qu'il contient est là depuis longtemps ou « fossile » et finira par s'épuiser en cas d'exploitation.

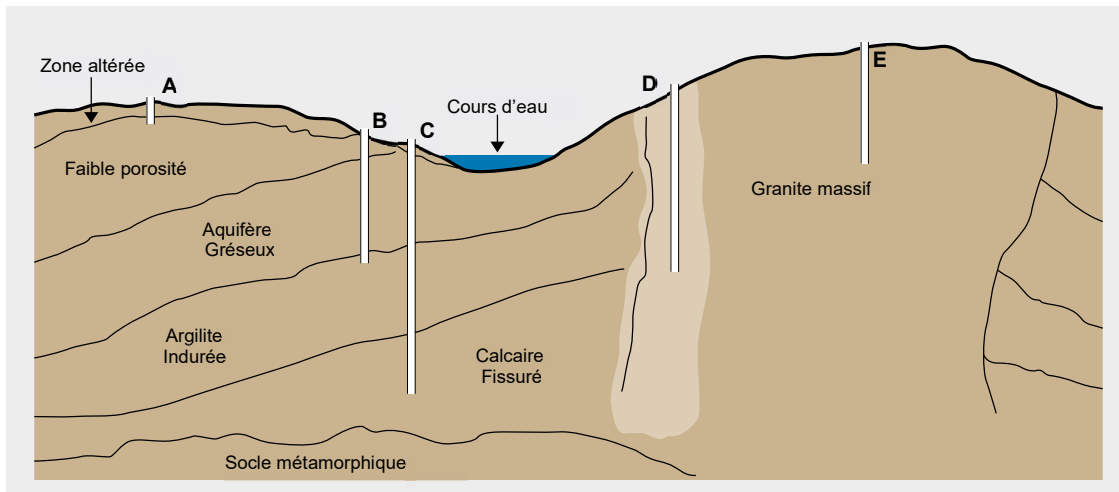
#### d. Les zones fracturées

Le forage D de la figure 4, réalisé dans du granite fracturé (zone claire), rencontre l'eau contenue dans la zone fracturée. Les zones fracturées se forment durant les périodes géologiques en résultat des fortes tensions mécaniques qui s'exercent sur les formations non plastiques en raison des mouvements tectoniques.

#### e. Socle hydrogéologique

Sur le site E de la figure 4, un forage réalisé dans du granite massif au sommet d'une colline. Dans cette situation, approfondir le trou dans le socle métamorphique, généralement appelé « socle hydrogéologique » ou « soubassement » – serait une perte de temps et d'argent. Le socle marque le niveau sous lequel il est peu probable de trouver de l'eau souterraine.

La figure 4 présente une situation géologique hypothétique où diverses sources d'eaux souterraines peuvent (ou non) être exploitées par le biais d'un puits ou de forages



**Figure 4 : Scénario hydrogéologique hypothétique (CICR, 2012)**

#### I.2.2. Méthodes de forage

Une foreuse consiste essentiellement en un mât qui, dans la plupart des cas, conduit les composants du train de tiges (outils et tiges ou câble de forage) qui y sont suspendus. Les systèmes modernes sont électriques, utilisant le système rotary, mais il vaut probablement la peine de faire une brève digression pour décrire quelques méthodes de forage manuel. Les méthodes simples et bon marché comprennent :

**a. Le forage à la tarière manuelle**

Les tarières manuelles s'opèrent à la force des bras. Elles s'enfoncent dans le sol par mouvement rotatif de l'outil et font remonter les matériaux le long d'une vis sans fin ou dans un « godet » (tarière à godet). Les matériaux doivent être excavés et le forage poursuivi jusqu'à la profondeur voulue. Le forage à la tarière manuelle est lent et limité à une profondeur d'environ 10 mètres et au maximum 20 mètres (CICR, 2012) dans des dépôts non consolidés (pas plus grossiers que le sable), mais c'est un procédé simple et bon marché.

**b. Forage au jet**

Méthode consistant à injecter de l'eau dans un train de tiges d'où elle émerge en un jet qui fend la formation. Le forage peut être facilité en faisant tourner le jet ou en le déplaçant de haut en bas dans le trou. Les déblais sont évacués hors du forage par l'eau qui circule. Cette méthode, elle aussi, n'est utile que dans les formations non consolidées et seulement pour des profondeurs relativement faibles. Le forage doit être interrompu s'il rencontre un bloc rocheux.

**c. « Sludging »**

Cette méthode, qui peut être décrite comme l'inverse du forage au jet, requiert un tuyau (Un bambou a été utilisé avec succès) qu'on introduit dans le trou et qu'on bouge de haut en bas, éventuellement à l'aide d'un bras de levier. Une valve anti-retour (on peut obtenir le même effet en obturant l'extrémité supérieure du tuyau avec la main) assure le pompage tandis que de l'eau est versée dans le trou et remonte (avec les débris) dans le tuyau. L'extrémité du tuyau peut être munie de simples dents métalliques, et un petit réservoir situé en haut du trou permet de remettre l'eau en circulation. Les limites de cette technique sont semblables à celles des deux autres méthodes, mais elle a été utilisée avec succès au Bangladesh.

**d. Forage par battage (forage à percussion)**

Le forage par battage consiste simplement à faire tomber un outil coupant d'au moins 50 kg (CICR, 2012) de façon répétée dans le trou.

**e. Forage rotary et marteau fond de trou**

Pour la plupart des forages sur le terrain, il faudra utiliser le forage rotary. Les techniques de forage rotary proprement dites permettent de réaliser des forages beaucoup plus profonds et utilisent des fluides de forage pour refroidir et lubrifier les outils de coupe et évacuer les débris du trou. Les fluides se présentent généralement sous forme d'air comprimé ou d'eau,

contenant des additifs tels que boues ou mousses de forage commerciales. Le marteau fond de trou (MFT) est un développement ultérieur de la technique rotary

Le tableau 1 présente les différents avantages et inconvénients des différentes techniques de forage.

**Tableau 1 : Comparaison des méthodes de forage (CICR, 2012)**

Avantages		Désavantages
<b>Construction manuelle (Puits ordinaires et forage manuel)</b>	Technique simple utilisant de la main-d'œuvre bon marché	Faibles profondeurs seulement
<b>Forage par battage</b>	Foreuses simples, fonctionnement bon marché	Lent, faibles profondeurs seulement
<b>Forage rotary, à la boue</b>	Forage rapide, pas de limite de profondeur, pas besoin de tubage provisoire	Fonctionnement coûteux, peut nécessiter beaucoup de place pour la foreuse et les fosses à boue et utiliser beaucoup d'eau, le « <i>mud cake</i> » peut entraver le développement du forage.
<b>Rotary/marteau fond de trou (MFT), circulation d'air</b>	Très rapide dans les formations dures, n'a pas besoin d'eau, pas de pollution de l'aquifère	Généralement pas utilisé dans les formations instables et meubles. Le forage en dessous du niveau de la nappe phréatique est limité par la pression hydraulique
<b>Rotary, circulation inverse</b>	Pas de formation de « <i>mud cake</i> », forage rapide dans les formations grossières non consolidées à des diamètres larges	Foreuses grosses et coûteuses. Peut nécessiter de grandes quantités d'eau.

### **I.3. Réseau d'alimentation en eau potable**

L'adduction d'eau est le transport de l'eau depuis sa source vers les lieux de consommation.

La figure 5 présente le schéma général d'adduction d'eau

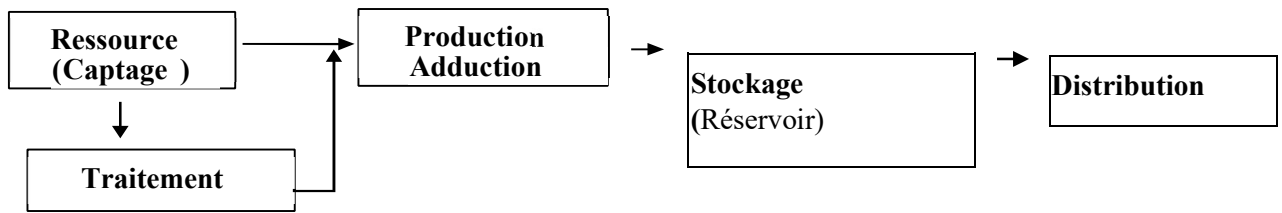


Figure 5 : schéma général d'un réseau AEP (Abdoulaye, 2019)

### I.3.1. Eléments du réseau d'alimentation en eau potable

Un réseau d'adduction en eau potable peut se diviser en plusieurs éléments reliés les uns aux autres :

#### a. La source

La ressource est une structure permettant le captage de l'eau. La prise d'eau se fait habituellement par un captage d'eau de surfaces contenues dans les rivières ou les lacs. En l'absence d'une telle source, ou lorsque l'eau de surface est trop polluée, on procède au captage d'eau souterraine à l'aide de forage ou de puits

#### b. L'unité de traitement

L'eau captée nécessite généralement un traitement pour la rendre potable à la consommation. Le traitement s'effectue généralement dans le cas des eaux de surface. Ce traitement est fait de façon à éliminer les bactéries de l'eau et à lui donner dans certains cas un goût meilleur.

#### c. La conduite d'amenée

C'est la conduite qui transporte l'eau entre la station de traitement et le réservoir de stockage. Ce transport peut s'effectuer par :

- Gravité : si le niveau de la station de traitement (ou de captage) est supérieur à celui du réservoir (conduite d'adduction).
- Refoulement : si le niveau de la station de traitement (ou de captage) est inférieur au niveau du réservoir (conduite de refoulement).

#### d. Le réservoir ou stockage

Les réservoirs de stockage ont pour rôle essentiel de :  Se substituer aux adductions et aux ouvrages de captage en cas de pannes ou d'interruption au niveau de la production (fonction de réserve).



- Faire face aux modulations de la demande par rapport aux débits provenant de l'ouvrage de captage (fonction de démodulation).
- Assurer la mise en pression de réseau de desserte, bornes fontaines, et/ou du réseau de distribution (cas de branchements particuliers).
- Assurer la régulation du fonctionnement du groupe de pompage équipant l'ouvrage de captage, cas d'une adduction de refoulement (fonction de régulation).
- Permettre une sécurité en matière de protection contre l'incendie (cas des centres et agglomérations urbaines, équipés de bouches d'incendie).

#### **e. Le réseau de distribution**

Il est constitué d'une série de conduite qui permet d'apporter l'eau aux consommateurs. L'écoulement s'y fait la plupart du temps par gravité.

Le système doit assurer la fonction " Transport " du point d'eau mobilisée jusqu'aux points de distribution, ainsi que la fonction " mise en pression " et " stockage ", et ce avec une fiabilité suffisante.

#### **I.3.2. Ossature des réseaux de distribution**

On distingue en général 3 géométries possibles du réseau de distribution :

##### **I.3.2.1. Réseaux ramifiés.**

Le réseau ramifié dans lequel les conditions de desserte ne comportent aucune alimentation de retour, présente l'avantage d'être économique, mais il manque de sécurité et de souplesse en cas de rupture. Un accident sur la conduite principale prive les abonnés en aval.

La figure 6 présente un exemple de réseau ramifié

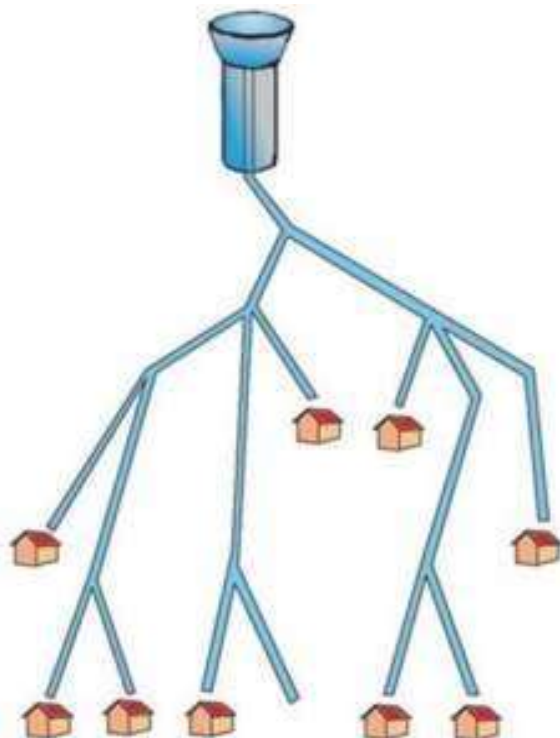


Figure 6 : Réseau ramifié (Source : [www.wikitp.fr](http://www.wikitp.fr) consulté le 15/03/2022)

#### I.3.2..2. Réseau maillé

Le réseau maillé permet, au contraire, une alimentation en retour et donc il évite l'inconvénient du réseau ramifié. Une simple manœuvre de vanne permet d'isoler le tronçon endommagé. Il est bien entendu plus coûteux d'établissement, mais en raison de la sécurité qu'il procure, il doit être préféré au réseau ramifié.

La figure 7 présente un exemple de réseau maillé

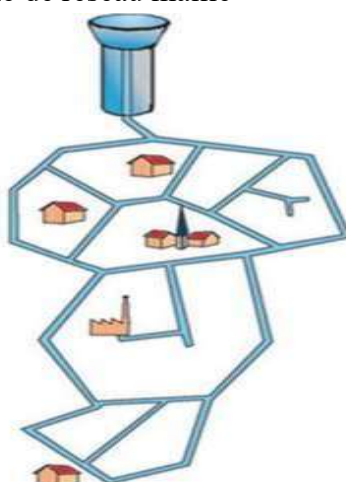


Figure 7 : Réseau maillé (Source : [www.wikitp.fr](http://www.wikitp.fr), mars2022)

### **I.3.2..3. Réseaux mixtes**

C'est un réseau intermédiaire comportant à la fois les deux types cités plus haut. Il offre globalement les mêmes avantages hydrauliques que le réseau maillé. Cependant grâce à la réduction des pièces spéciales utilisées au niveau des intersections, on aboutit généralement à des coûts de construction moins élevés que précédemment.

## **I.3.3. Éléments constitutifs d'un réseau de distribution d'eau potable**

### **I.3.3..1. I.3.3.1- Matériaux des canalisations**

Trois considérations sont essentielles pour le choix du matériau des canalisations :

- La sécurité de service.
- La longévité.
- Le facteur économique.

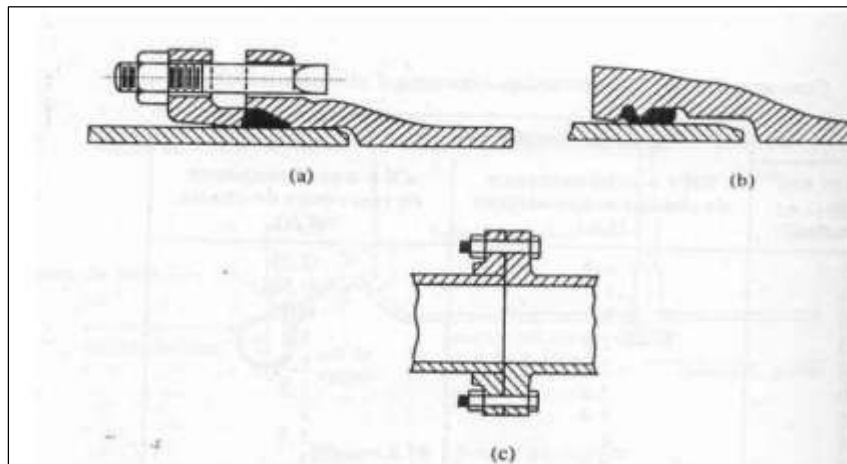
Pour les conduites maîtresses, les matériaux les mieux adaptés sont la fonte ductile, le béton armé et l'acier, par contre, pour les conduites secondaires, on choisit des tuyaux en acier, polyéthylène et le PVC à joints flexibles.

### **I.3.3..2. Joints**

Ils ont pour fonction d'assurer l'étanchéité des jointures des tuyaux et faire face aux sollicitations mécaniques et chimiques. Pour cela, ils doivent épouser parfaitement la loge qui leur est destinée.

Les joints constituent la partie la plus fragile de la canalisation à cause de leur souplesse. Tout mouvement du tuyau s'articule sur le joint, ce qui provoque en lui des usures mécaniques. L'action des produits chlorés de l'eau et le dessèchement induisent le vieillissement des joints.

Il existe trois principaux types de joints : mécaniques, à emboîtement et à bride. Les joints mécaniques ou à emboîtement sont utilisés pour relier les conduites enfouies dans le sol, alors que les joints à bride sont utilisés pour raccorder des tronçons à l'intérieur des constructions (station de pompage, station de traitement). La figure 8 représente les différents types de joints.



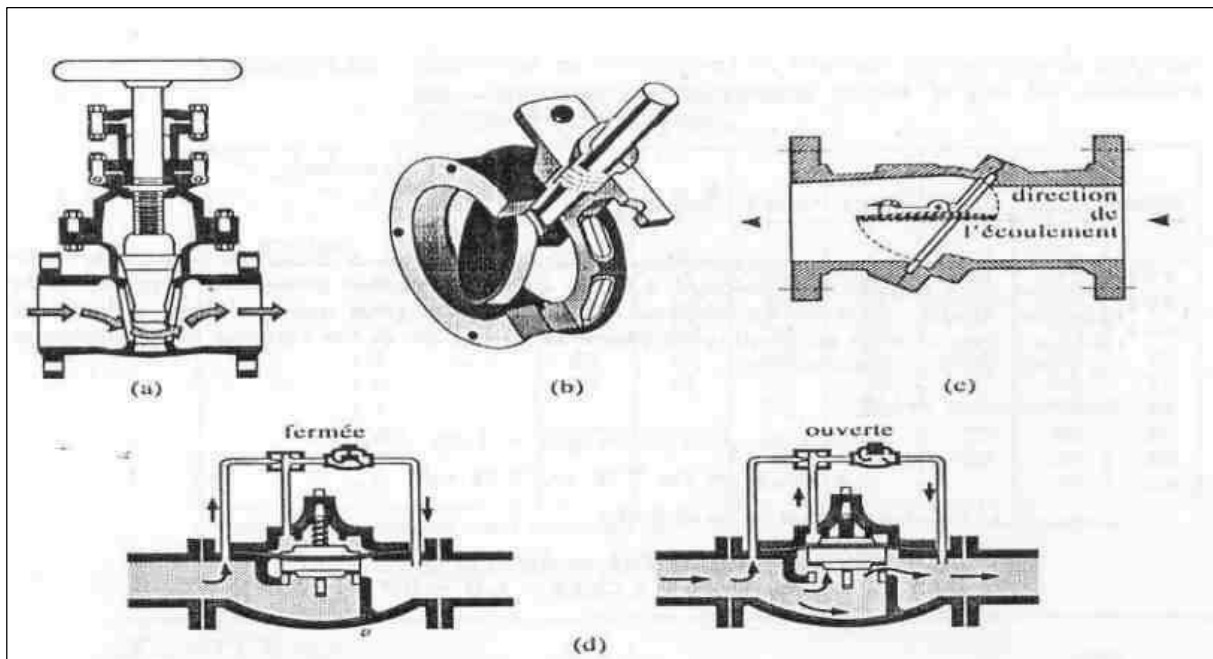
**Figure 8 : Différents types de joints : a) mécanique, b) à emboîtement, c) à bride (Zoungrana, 2000)**

### **I.3.3..3. Vannes**

Elles permettent de maîtriser les écoulements dans le réseau, donc de mieux gérer celui-ci. Il existe plusieurs types de vannes qui satisfont à des besoins variés :

- Les vannes d'isolement : permettent d'isoler certains tronçons qu'on veut inspecter, réparer ou entretenir. On distingue deux types : les robinets à papillon pour les conduites de gros diamètres et les robinets-vannes pour les conduites de petits diamètres.
- Les vannes à clapets de non-retour : permettent de diriger l'écoulement dans un seul sens. Elles sont installées sur les conduites de refoulement.
- Les vannes de réduction de pression : permettent de réduire la pression à une valeur prédéterminée.

La figure 9 représente les différents types de vannes

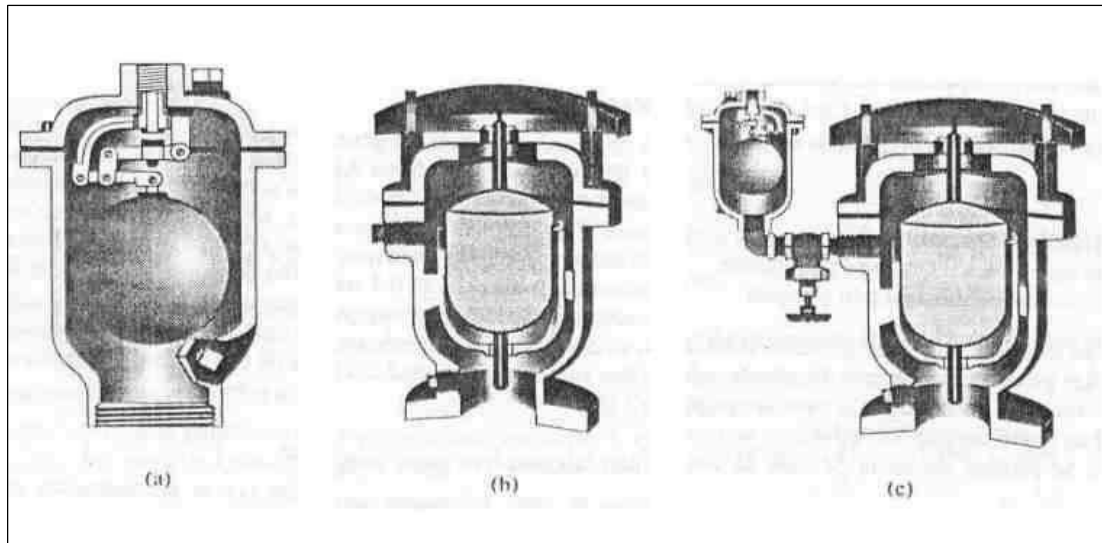


**Figure 9: Différents type de vannes : a) robinet-vanne b) robinet à papillon c) vanne à Clapet de non-retour d) vanne de réduction de pression (Zoungrana, 2000)**

#### **I.3.3.4. Ventouses**

On installe des ventouses aux points élevés du réseau. Elles permettent d'un côté, de faire évacuer les quantités d'air qui s'y accumulent à la suite, par exemple, du dégazage de l'oxygène dissous, et de l'autre côté, de faire pénétrer l'air lorsqu'un vide se crée dans une conduite et évitent la création de pressions négatives qui risqueraient d'entraîner l'écrasement de la conduite. Trois types de ventouses sont utilisés : ventouses pour petites quantités d'air, ventouses pour grandes quantités d'air et ventouses universelles.

La figure 10 présente les différents types de ventouses



**Figure 10 : Types de ventouses : a) ventouse à petites quantités d'air  
b) ventouse à grandes quantités d'air c) ventouse universelle (Zoungrana,2000)**

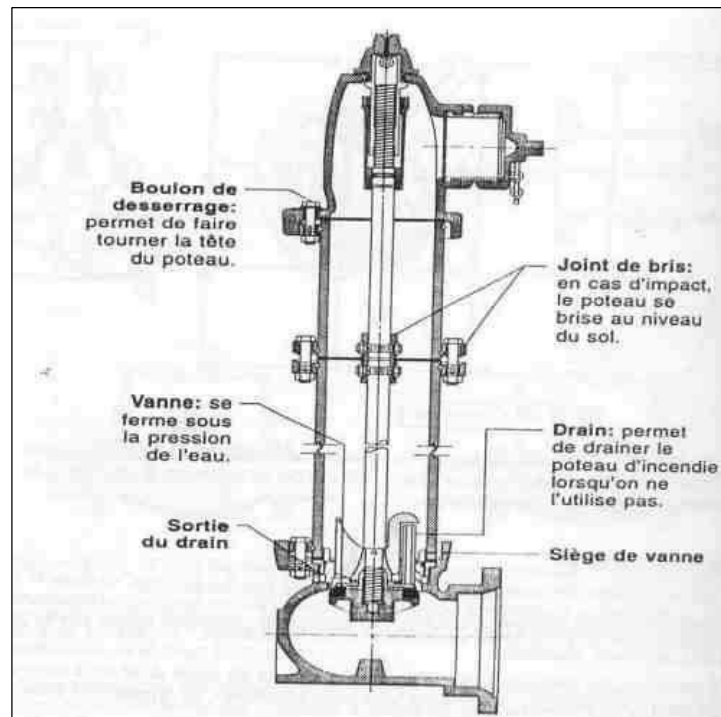
#### **I.3.3..5. Décharges**

Une décharge est un robinet placé au point bas de la canalisation pour en permettre la vidange, l'évacuation s'effectue à l'égout le plus voisin ou si le point bas se trouve hors de la ville, dans le fossé le plus proche. Ce robinet sera placé à l'intérieur d'un regard en maçonnerie et doit être facilement accessible.

#### **I.3.3..6. Poteaux d'incendie**

Ils permettent de fournir aux pompiers l'eau dont ils ont besoin pour combattre les incendies. Ils sont reliés aux conduites du réseau par des conduites de raccordement dotées d'une vanne d'isolement. Un poteau d'incendie doit comporter au moins deux prises latérales de 65 mm de diamètre et une conduite de 100 mm de diamètre si le débit excède 5000 l/mn ou la pression si est faible (Zoungrana, 2010).

La superficie desservie par un poteau d'incendie dépend du débit nécessaire pour combattre les incendies ; plus le débit est élevé, plus les poteaux sont nombreux et rapprochés. La figure 11 présente un poteau et ses différentes parties



**Figure 11: Poteau d'incendie (Diouf, 2005)**

#### **I.3.4. Pression dans le réseau**

Le réseau doit être calculé de telle sorte que l'eau parvienne aux consommateurs avec une pression minimale. L'eau doit en effet atteindre les étages supérieurs des habitations et permettre l'utilisation efficace des appareils ménagers (chauffe-bain, machine à laver). Une pression minimale de 150 kPa est alors recommandée (Diouf,2005).

#### **I.3.5. Problèmes rencontrés dans un réseau d'alimentation en eau potable (AEP)**

Plusieurs problèmes de différentes origines peuvent survenir dans un réseau d'AEP : des fuites, les branchements illicites, les erreurs de compteurs, les problèmes environnementaux, pénétration de contaminants, chute de pression, des ruptures ou casses sur les conduites et leurs accessoires, les interruptions. A ces problèmes s'ajoutent des problèmes de gestion du réseau. Ces différents problèmes causent le mécontentement des consommateurs qui réagissent en déposant des plaintes sur les différents services (quantité insuffisante, qualité médiocre, interruption de l'alimentation) au niveau des services concernés.

Les différents problèmes survenant dans un réseau d'alimentation en eau potable peuvent être classés en trois grandes catégories :

- Problèmes induisant les ruptures et les casses.

- Problèmes induisant les fuites.
- Problèmes induisant la dégradation de la qualité de l'eau.

#### **I.4. Etat des lieux**

Nous ferons ici la présentation de la zone d'étude et un état des lieux du réseau existant.

##### **I.4.1. Environnement de l'étude**

###### **I.4.1.1. Situation géographique**

L'Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics (ENSTP), se situe dans l'arrondissement de Yaoundé 6 (région du centre) plus précisément au quartier Elig-effa au Cameroun. Sur le plan géographique, ce site se situe entre 3°53'05'' latitude Nord et 11°30'05'' de longitude est.

Créée en 1970, par décret du Président de la République, sous l'appellation Ecole Nationale de Technologie (ENAT), elle devient en 1982 l'Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics (ENSTP). Elle comprend une école annexe à Buea, l'école des Travaux des Métiers des Travaux Publics à Akonolinga et une annexe à Garoua. L'ENSTP est un Établissement Public de Formation Professionnelle Technique placé sous la tutelle technique du Ministère des travaux publics, sous tutelle académique du Ministère de l'enseignement supérieur et sous tutelle financière du Ministère des finances.

La figure 12 illustre la direction de l'école nationale supérieure des travaux publics.



**Figure 12 : Direction école nationale supérieure des travaux publics (CAMERPRESS, 2020)**



D'après le décret du 26 octobre 2016 portant réorganisation de L'Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics, l'ENSTP a pour mission d'assurer la formation d'enseignement supérieur, technique, professionnelle et spécialisée, de la formation contenue et de la recherche appliquées dans les domaines des bâtiments et travaux publics. A ce titre, l'ENSTP dispense notamment des enseignements et des formations dans les filières ci-après :

- Le génie civil
- Le génie rural
- L'architecture
- La topographie-cadastre
- L'urbanisme
- L'ingénierie environnementale
- La géotechnique, hydraulique et transport

L'ENSTP effectue en outre des expertises, des études et apporte, le cas échéant, un appui technique aux administrations et organismes publics, parapublics ou privés qui le sollicitent.

L'ENSTP exécute toute autre mission à elle confiée par le Gouvernement en rapport avec son objet.

D'après le site <http://www.enstp.cm/lenstp> (Avril 2022), dans le cadre de la coopération scientifique, technologique et pédagogique avec l'université de Padoue (Italie), l'ENSTP offre également des formations de masters en management d'ingénierie et depuis peu une formation de Master en Planification des Transports au Cameroun en coopération avec l'université Libre de Bruxelles.

D'après le site <http://www.enstp.cm/lenstp> (Avril 2022), le campus de l'ENSTP à Yaoundé dispose de :

- 27 salles de classe ;
- 2 amphithéâtres ;
- 4 salles de dessin ;
- 3 salles informatiques ;
- 1 salle multimédia et 1 bibliothèque ;
- 4 laboratoires : Géotechniques, Hydraulique, Sciences physiques et Résistance des matériaux ;

- 2 ateliers : bois et fer.

Elle compte environ 1400 étudiants, 100 enseignants (ENSTP, 2022)

#### **I.4.1.2. Géologie du site**

La géologie de l'ENSTP présente un substratum fait de gneiss Orthodérivé et recouvert par une couche d'horizon d'altération moyenne. Le sol est très peu évolué et présente une variation latérale allant de sol ferrallitique rouge brique à jaunâtre vers un sol de couleur grise constituée de vase et de débris de végétaux.

#### **I.4.1.3. Hydrologie et climat du site**

L'ENSTP est arrosé par le climat tropical humide, de type équatorial, avec 04 saisons bien marquées à savoir :

- . Une grande saison de pluies de Septembre à Novembre ;
- . Une grande saison sèche de Décembre à Mars ;
- . Une petite saison de pluies d'Avril à Mai ;
- . Une petite saison sèche de Juin au mois d'Aout

La moyenne annuelle des précipitations est de 1700 mm et celle des températures de 24, 5°C.

Il s'agit de ce fait d'un site à fort potentiel hydrologique mais dans un contexte de socle gneissique. La circulation des eaux de profondeur dans un tel contexte n'est possible que sur les zones de cassure du substratum rocheux en conformité avec l'orientation du bassin hydrologique.

#### **I.4.2. Etats des lieux**

L'ENSTP est totalement alimentée en eau potable par la Camwater. Nous verrons dans cette partie les ouvrages hydrauliques existants, les conduites, la qualité de l'eau fournie, les défaillances recensées et les propositions d'amélioration.

##### **I.4.2.1. Ouvrages hydrauliques existants**

A la suite de plusieurs descentes sur le terrain et après entretien avec le responsable des infrastructures de l'ENSTP, il est à noter que le site ne possède ni réservoir, ni bache. Il n'existe donc pas de moyen de conserver de l'eau au cas d'une coupure de celle-ci. On remarque la présence de plusieurs bornes fontaines dans l'enceinte de l'école ; ces bornes fontaines sont alimentées par l'eau fournie par la Camwater et sont utilisées comme points

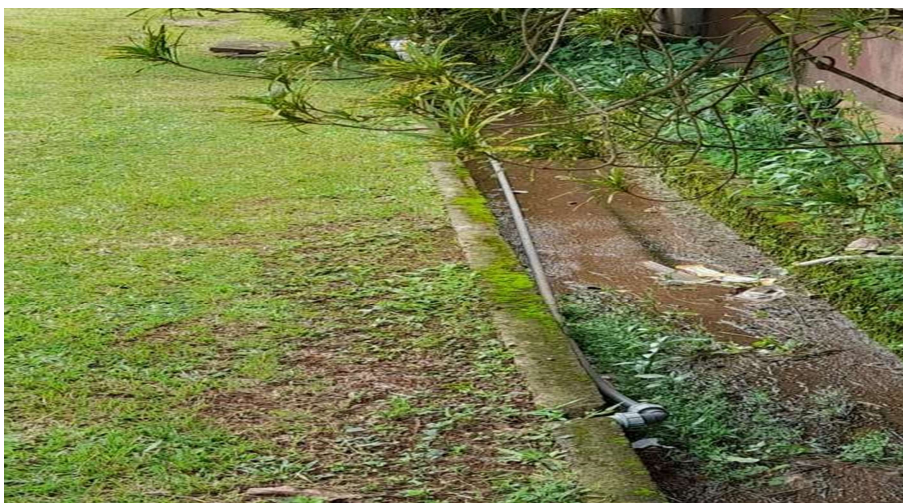
d'alimentation en eau pour les différents occupants de l'école. La figure 13 présente une borne fontaine située derrière l'amphi 100.



**Figure 13 : borne fontaine**

#### **I.4.2.2. Conduites**

Les conduites d'eau sont toutes en PEHD. La conduite principale est située le long de la route principale de l'ENSTP. Les conduites secondaires y sont connectées et permettent d'apporter de l'eau aux différents points de consommations de l'ENSTP. Elles sont situées en bordure de la chaussée pour certaines et d'autres sont enterrées. On note que certaines conduites ont été déterrées et d'autres sont gâtées et vétustes. La figure 14 présente une conduite de distribution d'eau de l'ENSTP.



**Figure 14: conduite de distribution d'eau potable**

#### **I.4.2.3. Qualité de l'eau fournie**

Un échantillon de l'eau prélevée à une borne fontaine de l'ENSTP a été analysé par le laboratoire LEAUCLEAN. Les résultats de l'analyse bactériologique montrent que cette eau est contaminée par des microbes et donc impropre à la consommation humaine. Les paramètres analysés ont été comparés aux références de qualité des eaux destinées à la consommation humaine suivant la NC 207 :2018-03. La liste complète des paramètres analysés et les résultats est placée en annexe.

#### **I.4.2.4. Défaillances recensées**

L'état des lieux nous a permis de recenser plusieurs problèmes dans le réseau AEP. Nous avons entre autres :

- \* L'incapacité du réseau à satisfaire la demande en eau des usagers (coupures d'eau en moyenne 4 jours par semaine)
- \* La vétusté des canalisations (selon le responsable des infrastructures de l'ENSTP les canalisations datent de depuis la date de création de l'école ce qui représente plus de 50 ans)
- \* La contamination bactériologique de l'eau fournie

#### **I.4.2.5. Propositions d'amélioration**

Pour pallier aux différents problèmes recensés, plusieurs solutions sont possibles. Nous avons entre autres :

- \* La construction d'un réservoir d'eau
- \* La construction de forages ou de puits pour alimenter l'école en eau
- \* La construction d'un nouveau système de distribution d'eau

### **Conclusion :**

Dans ce chapitre nous avons fait la revue de littérature et l'état des lieux. Il en ressort que l'approvisionnement en eau potable est une nécessité pour tout le monde. Le système proposé dans notre cas est l'alimentation de l'ENSTP en eau potable à partir d'un forage. Celui-ci sera équipé d'une pompe, d'un groupe électrogène, d'une conduite d'adduction et d'un réservoir afin de stocker de l'eau. Un nouveau réseau de distribution d'eau également est proposé. Dans la suite de notre travail nous présenterons le matériel et la méthode utilisée pour l'atteinte de ces objectifs.

**CHAPITRE II : APPROCHE METHODOLOGIQUE**

## Introduction

Dans ce chapitre nous allons présenter la méthodologie utilisée afin d'atteindre les objectifs énoncés dans le chapitre précédent. La méthodologie consiste à citer le matériel utilisé, la recherche documentaire, les visites de terrain, le dimensionnement et la simulation du réseau ainsi que le dimensionnement du forage, de la pompe immergée, de la conduite d'adduction et du groupe électrogène.

### **2.1. Matériels**

#### **2.1.1. Ordinateur et accessoires**

##### **2.1.1.1. Google Earth**

Le logiciel Google Earth a servi à :

- \* Délimiter la zone d'étude
- \* Tracer les conduites
- \* Déterminer l'altitude des nœuds et du réservoir
- \* Mesurer les longueurs des tuyaux, les surfaces de la zone d'étude et des mailles

##### **2.1.1.2. EPANET version 2.00**

C'est un logiciel de simulation du comportement des systèmes de distribution d'eau, d'un point de vue hydraulique mais également d'un point de vue de la qualité de l'eau. Il est distribué gratuitement par l'E.P.A. l'agence nord-américaine de l'environnement, depuis le mois de septembre 1993. Depuis il est largement utilisé dans le monde. Il peut modéliser divers éléments d'un réseau d'AP, tels que les réservoirs, les tuyaux, les pompes ou les vannes.

La méthode utilisée par le logiciel pour calculer les équations de perte de charge et de conservation de masse qui caractérisent l'état hydraulique du réseau est décrite par l'approche de Todini ou encore la méthode du gradient. Cette méthode commence par une estimation initiale des débits dans chaque tuyau qui peut ou non répondre à l'équation de conservation de la masse. A chaque itération de la méthode, de nouvelles charges aux nœuds sont obtenues en résolvant l'équation (1) :

$$A.H = F \quad (1)$$

Où :

A est une matrice jacobienne (NxN)

**H** est un vecteur (Nxl) représentant les charges inconnues aux nœuds

**F** un vecteur (Nxl) contenant les termes du côté droit, dus au déséquilibre de flux en un nœud et à un facteur de correction.

Ainsi, Epanet calcule le débit, la vitesse d'écoulement de l'eau et les pertes de charge dans chaque tuyau, la pression et la concentration en substances chimiques à chaque nœud, le niveau de l'eau dans les réservoirs et de nombreux autres paramètres, soit à une heure précise (simulation statique) ou sur une période plus longue (simulation quasi-statique).

Un modèle est une construction qui permet de reproduire le comportement d'un réseau afin de pouvoir réaliser différents essais et anticiper les solutions. Dans le cas du logiciel Epanet, cette construction n'est pas une maquette mais une représentation mathématique des relations entre les différents composants du réseau. Son utilité pratique réside dans le fait qu'il permet de tester « ce qui se passerait si... », Sans un grand investissement de temps ou d'argent. On évite ainsi l'installation et la désinstallation d'une ou plusieurs parties du réseau, au fur et mesure qu'on se rend compte de ses limites. Il permet de s'assurer qu'un réseau fonctionne effectivement dans la vraie vie.

Les variables du modèle sont de deux types :

- Rattachées aux nœuds : altitude et consommation (en entrée), pression (en sortie)
- Rattachées aux conduites : longueur (en entrée), débit, vitesse et perte de charge (en sortie)

### **2.1.1.3. Microsoft Excel**

Ce logiciel a servi à nos différents calculs de dimensionnement.

## **2.2. Méthodes**

La méthodologie utilisée comprend la recherche documentaire, les visites de terrain, le calcul de bases de dimensionnement du réseau, le dimensionnement du forage, le choix de la pompe et du groupe électrogène.

### **2.2.1. Recherche documentaire**

Nous avons commencé notre travail en consultant les documents qui nous ont apporté les informations pour pouvoir mener à bien notre étude. Ces documents portaient sur les sujets suivants :

- + Les réseaux d'eau potable
- + La situation de la zone d'étude
- + Les documents (mémoires, rapports et articles) abordant des thèmes similaires
- + Manuel d'utilisation et tutoriels du logiciel Epanet

### 2.2.2. Visites de terrain

Plusieurs visites sur le terrain ont été réalisées au cours de notre travail. Elles nous ont permis :

- \* d'avoir des informations sur l'état des lieux
- \* de pouvoir faire une présentation de la zone d'étude
- \* d'avoir des entretiens avec le responsable des infrastructures de l'école pour avoir les informations sur le forage qui a été construit.

### 2.2.3. Bases de dimensionnement

#### 2.2.3.1. Estimation des besoins en eau

##### a. Données démographiques

Dans notre cas d'étude la population considérée est la population maximale que pourrait accueillir l'ENSTP de Yaoundé.

##### b. Evaluation des besoins d'eau

L'ENSTP est constituée d'installations sanitaires utilisées par le personnel de l'école et les étudiants. Ces installations sanitaires consomment de l'eau de façon journalière. En Afrique, les services publics sont occupés de peu d'installations sanitaires, les besoins en eau sont en général limités aux besoins vitaux. La consommation journalière d'eau de l'ENSTP a été calculée à partir de la formule 2.

$$D_j = P \times d \quad (2)$$

Avec :  $D_j$  la demande journalière d'eau de l'ENSTP

$P$  la population de l'ENSTP

$d$  la dotation journalière qui est de  $5l/j$  par personne (étudiant ou personnel)



### 2.2.3.2. Volume de stockage

Avec l'évaluation des besoins journaliers on obtient un volume d'eau qui doit être mis à disposition chaque jour. Ce volume doit prendre en compte le rendement du réseau suivant l'équation (3) :

$$v_{mad} = v_{total} / rendement \quad (3)$$

Avec :

$v_{mad}$  le volume mis à disposition en  $m^3$

$v_{total}$  le volume total en  $m^3$

Le rendement du réseau considéré est de 90 % qui est le rendement minimal admissible.

Le débit moyen est calculé suivant l'équation (4) :

$$Q_{moy} = v_{mad} / 24 \quad (4)$$

Avec :

$Q_{moy}$  Le débit moyen en  $m^3/h$

$v_{mad}$  Le volume mis à disposition en  $m^3$

Le réservoir de stockage est dimensionné pour fournir de l'eau pendant toute une journée entière en cas de problème d'approvisionnement du réseau. On a donc :

$$v_{reservoir} = v_{mad} \quad (5)$$

### 2.2.3.3. Débit de pointe

Le débit de pointe ou de design est le débit suivant lequel les canalisations du réseau sont dimensionnées pour permettre que celui-ci fonctionne efficacement même dans le cas le plus extrême de la demande. En effet, les besoins en eau ne sont pas identiques pendant toute la journée, et sont à leur maximum à l'heure de pointe. Pour calculer le débit à cette heure, on affecte un coefficient de pointe horaire au débit moyen horaire suivant l'équation (6) :

$$Q_p = Q_{moy} \times C_p \quad (6)$$

Avec :

$Q_p$  le débit de pointe en  $m^3/h$

$Q_{moy}$  le débit moyen en  $m^3/h$

$C_p$  le coefficient de pointe

Le coefficient de pointe est compris entre 2,5 et 3 pour les collectivités de moins de 10000 habitants. Nous prenons ici un coefficient de 2,5.

#### 2.2.4. Tracé du réseau

Nous avons choisi ici un réseau mixte à cause des différents avantages qu'il offre notamment la sécurité dans la distribution et la qualité de service. Le réseau est constitué d'une maille à laquelle sont reliées différentes conduites ramifiées. La distribution sera gravitaire et le réservoir sera situé sur le point le plus haut de l'ENSTP. Pour pouvoir modéliser efficacement le réseau, on procède à la squelettisation de celui-ci. La squelettisation est un processus qui vise à éliminer les tuyaux qui contribuent de manière peu significative au comportement du réseau à savoir les raccordements domiciliaires, les installations intérieures de chaque usager et le branchement détaillé de certains accessoires ; Elle permet d'analyser le comportement des nœuds principaux qui sont les points de rencontre entre les tuyaux ou embranchements.

L'objectif du tracé de distribution est d'assurer la distribution de l'eau dans toute l'ENSTP de façon optimale en prévenant les difficultés d'exploitation et d'entretien. La figure 15 présente le schéma général du réseau

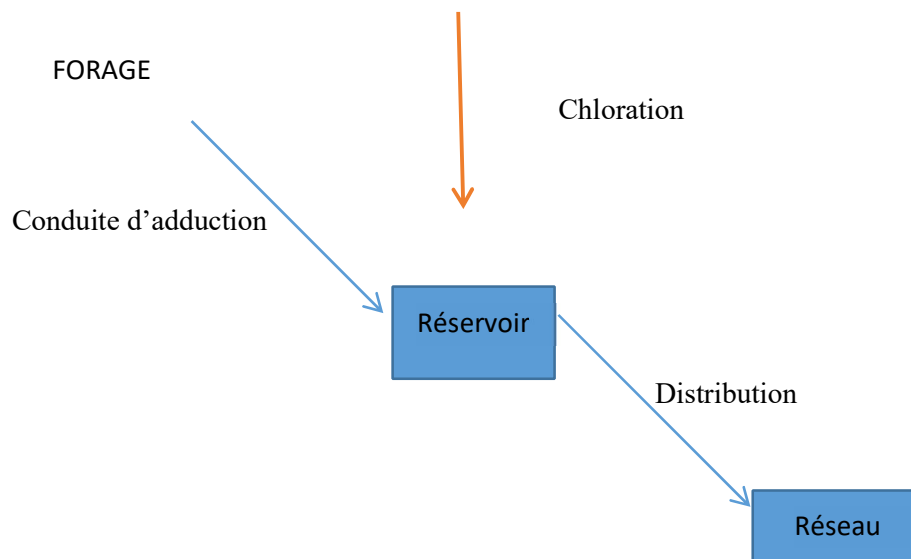


Figure 15 : schéma synoptique du réseau

#### 2.2.4.1. Conduite d'adduction

La conduite d'adduction aura pour fonction dans notre travail de transporter l'eau du forage vers le réservoir afin de satisfaire les besoins journaliers en eau de l'ENSTP. Ce sera une adduction par refoulement car le réservoir est situé plus haut que le forage et nous utiliserons une pompe pour conduire l'eau du forage vers le réservoir. Dans le cas de notre projet, on a opté pour des conduites en PEHD vu les avantages qu'elles présentent pour la distribution de l'eau potable, à savoir :

- ✓ Facilité de transport et d'installation due à leur légèreté et leur flexibilité.
- ✓ Facilité de soudage par électro fusion ou bout à bout, offrant un système complètement soudé.
- ✓ Résistance à la corrosion interne et externe et microbiologique.
- ✓ Bonnes propriétés hydrauliques.
- ✓ Bonne résistance chimique.
- ✓ Longue durabilité.
- ✓ Répond parfaitement aux normes de potabilité. Son élasticité lors du phénomène transitoire.
- ✓ Plus économique.
- ✓ Supportent des pressions importantes.

##### a. Tracé de la conduite d'adduction

Le tracé d'une conduite d'adduction doit être choisit d'une façon à avoir une trajectoire directe de la conduite et répondre aussi à certaines exigences d'ordre techniques et économiques telle que :

- \* Le profil doit être le plus régulier et le plus court possible (sur-profondeur et sous- profondeur sont parfois inévitables) afin de réduire les frais d'investissement.
- \* Le profil sera étudié pour que l'air puisse être évacué facilement, car cantonnement d'air engendre la rupture de la veine liquide.
- \* Pour les conduites de longueurs importantes (plusieurs kilomètres), il sera bon de prévoir quelques robinets de sectionnements en vue de faciliter les réparations éventuelles.

\* Les contre pentes qui peuvent donner lieu, en exploitation, à des cantonnements d'air plus au moins difficiles à évacuer, sont à éviter

\* En raison d'économie, le tracé doit être le plus court possible.

\* Il y a lieu de concevoir un tracé en plan, avec des courbes largement ouvertes afin d'éviter les obstacles. A cet effet, le parcours emprunté ne suivra pas facilement les accotements de la route.

On préfère souvent le concevoir le long des routes et les pistes pour faciliter la pose des conduites et son exploitation c'est-à-dire :

\* Faciliter l'accès pour l'entretien et les réparations :

\* Faciliter la détection des fuites et les vannes défectueuses. Dans notre cas le tracé des adductions a été étudié.

Dans notre travail la conduite d'adduction sera disposée en bordure de la chaussée.

#### **b. Dimensionnement**

Le diamètre de la conduite d'adduction est donné par la formule de Bresse (7)

$$D_{th} = 1.5 \times \sqrt{Q_{moy}} \quad (7)$$

Où :

$Q_{moy}$  est le débit moyen en  $m^3/s$

$D_{th}$  est le diamètre intérieur théorique de la conduite en m

Le diamètre retenu comme diamètre intérieur de la conduite, sera celui le plus proche du diamètre théorique sur le marché. On en conclura ainsi un diamètre nominal.

Pour déterminer la vitesse d'écoulement de l'eau dans la conduite, devant être comprise entre 0,5 et 1,5 m/s, on utilise l'équation (8) :

$$V = \frac{4Q_{moy}}{D_{in}^2 \times \pi} \quad (8)$$

Avec :

$V$  Vitesse d'écoulement

de l'eau dans la conduite en m/s

$D_{in}$  diamètre intérieur de la conduite en mètre (m)

Ces vitesses relativement élevées n'admettent ni les dépôts de sédiments, ni le développement de la culture microbienne fixée sur les parois des conduites ; elles justifient pourquoi les conduites d'adduction sont généralement peu encrassées.

### **c. Vérification du coup de bélier**

Lorsque l'on modifie brutalement la vitesse d'un fluide en écoulement dans une canalisation, il se produit un violent changement de pression. Ce phénomène transitoire, appelé coup de bélier, apparaît généralement lors d'une intervention sur un appareil attenant au réseau comme les pompes et les vannes. Des ondes de surpression et de dépression se propagent le long de la canalisation. Les surpressions peuvent entraîner dans des cas critiques la rupture de certaines canalisations ne présentant pas de coefficients de sécurité suffisants. Les dépressions peuvent créer des poches de cavitation dangereuses pour les canalisations et pour les appareils de robinetterie. Pour assurer la protection de la conduite face à ce phénomène, il est nécessaire de vérifier que l'amplitude d'un éventuel coup de bélier, reste toujours inférieure à la pression nominale de la conduite d'adduction.

L'amplitude du coup de bélier est traduite par la formule et la célérité de l'onde par la formule (9) :

$$\Delta h = \pm a \times \frac{\Delta V}{g} \tag{9}$$

$$a = \sqrt{\frac{1}{\rho \left( \frac{1}{\epsilon} + E e \right)}}$$

Avec : a : célérité

de l'onde en m/s

$\rho$  : masse volumique de l'eau (1000 kg/m<sup>3</sup>)

$\epsilon$  : module d'élasticité de l'eau (2,05,10<sup>9</sup> N/m)

E : module d'élasticité du matériau (polyéthylène :  
1, 10<sup>9</sup> N/m<sup>2</sup>)

e : épaisseur de la canalisation en m

$\Delta V$  : valeur absolue de la variation des vitesses en régime permanent avant et après coup de bélier en m/s

$\Delta h$  : valeur absolue de la variation de pression maximale autour de la pression statique normale en mCE

$g$  : accélération de la pesanteur (9,81m/s)

En pratique la célérité de l'onde de l'eau dans les tuyaux en fonte ductile est de l'ordre de 1435 m/s.

#### 2.2.4.2. Dimensionnement du réseau de distribution

La figure 16 nous montre le tracé du réseau de distribution réalisée avec le logiciel Google Earth.

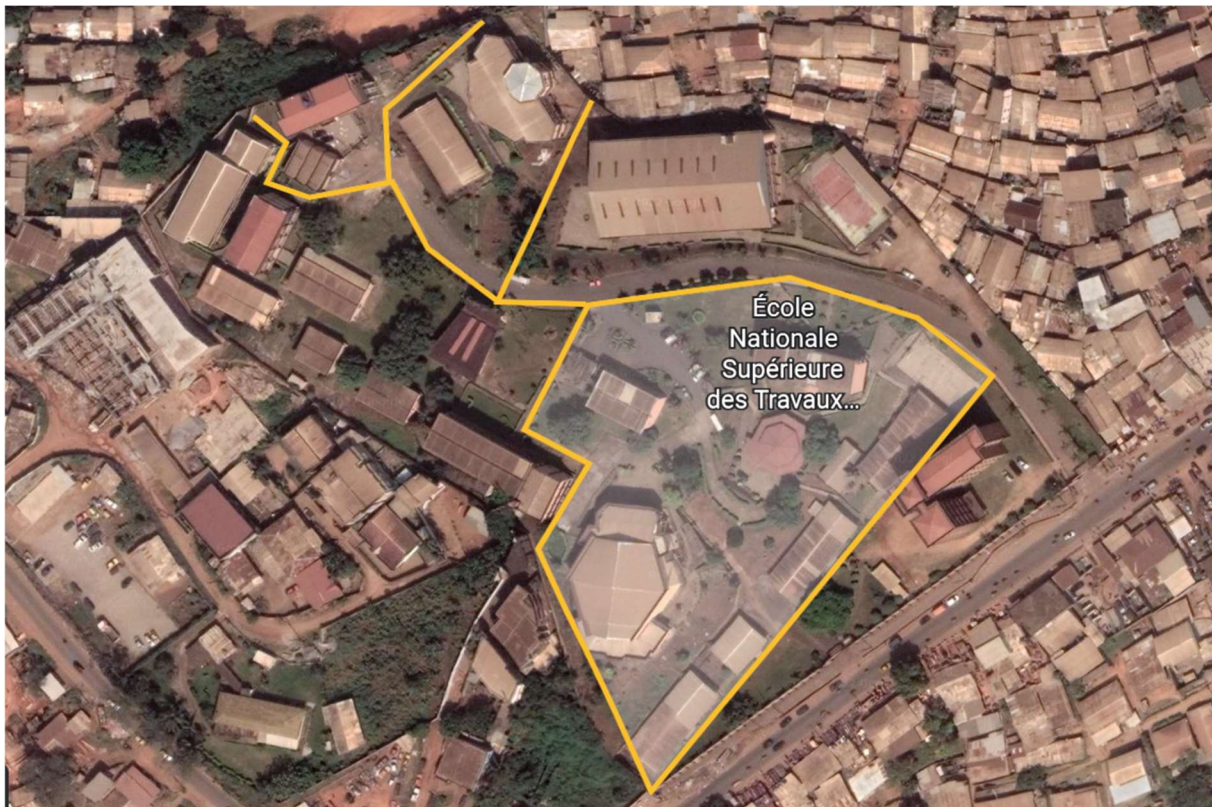


Figure 16: tracé du réseau de distribution

##### a. Conduite de distribution

Nous avons privilégié pour ce réseau, des conduites en plastique PEHD car elles sont plus lisses, ne consomment pas de chlore, accumulent moins de dépôt et sont moins chères. Elles sont plus résistantes et plus stables que les conduites en pvc et sont le mieux adaptées dans notre cas d'étude. En outre cette dernière possède des propriétés et des avantages divers à savoir :

\*Facile à poser (grande flexibilité)

- \*Cycle de vie minimum 40 ans
- \*Bonne élasticité ;
- \*Bonne stabilité de tension et résistance à la tension ;
- \*Bonne résistance aux hautes températures (90°C) ;
- \*La conduite peut être allongée 3 fois avant qu'elle atteigne sa limite de rupture.

#### **b. Vitesse et pression**

La vitesse de l'eau dans les conduites doit être comprise entre 0,3 et 1,2 m/s. En dessous de 0,3 m/s, elle favorise les dépôts de solides au sein des conduites et au-dessus de 1,2 m/s elle provoque le phénomène de cavitation.

En ce qui concerne la pression P elle doit être supérieure ou égale à :

$$P = 10 + n \times H \quad (10)$$

Avec n : nombre d'étages, dans notre cas nous avons R+2

H : la hauteur de chaque étage, ici H=4m

On aura comme pression de référence P=18m

#### **c. Les pertes de charges**

Tout fluide perd de l'énergie lorsqu'il s'écoule à travers une conduite en raison des frottements contre les parois de la conduite et de la viscosité du fluide. Cette perte mécanique est appelée perte de charge.

Les pertes de charge sont de deux types :

✓ Les pertes régulières ou linéaires provoquées par le frottement du fluide sur une longueur droite de canalisation de diamètre constant. Elles sont évaluées par la formule de Manning-Strickler

✓ Les pertes de charges singulières correspondent aux pertes de charges provoquées par les singularités de la conduite (élargissement, rétrécissement, coude, vanne). Elles sont évaluées forfaitairement en prenant 15 à 20 % des pertes de charges linéaires (Arnalic,2021). Ici les pertes de charges seront estimées à 20 %.

#### **d. Rugosité**

La rugosité définit l'état de la surface interne de la conduite. Elle décrit son degré d'aspérité, et peut avoir ou non une unité selon les auteurs qui l'utilisent dans les formules de calcul des pertes de charge. Elle diffère d'un tuyau à l'autre et dépend de la nature de la matière de base et de l'ancienneté de la conduite. Dans notre cas d'étude la rugosité est de 0.015 pour toutes les conduites.

#### **e. Diamètre nominal**

L'autre caractéristique est le diamètre nominal ou externe. Chaque type de tuyau a une gamme de diamètre nominal bien précise, parmi lesquels on peut choisir le plus convenable

#### **f. Dimensionnement**

Pour dimensionner le réseau, il faut tout d'abord déterminer les débits qui circulent dans chaque conduite. Il existe plusieurs méthodes pour calculer les débits des tronçons dans un réseau maille. Toutes ces méthodes sont basées sur 2 lois d'hydraulique

Loi des nœuds : elle exprime le principe de la conservation de la matière (débit) en chaque nœud :

$$\text{Où } \sum Q_{entrants} = \sum Q_{sortant} \quad (11)$$

La somme algébrique des débits a un nœud est nulle

Loi des mailles : c'est le principe de la conservation de l'énergie. Chaque nœud ayant une charge unique, la perte de charge est nulle sur chaque maille.

Parmi les méthodes utilisées pour calculer les réseaux mailles on peut citer :

#### **i- Méthode de Hardy-cross**

Dans un réseau maillé, le sens de circulation de l'eau dans une canalisation ne peut être déterminé avec exactitude du premier coup. La répartition des débits dans les canalisations ne peut être évaluée que d'après des hypothèses, en tenant compte du fait que, pour assurer une circulation normale, il doit y avoir égalité des pressions au point de rencontre de deux courants. Le calcul d'un réseau maillé est conduit par approximations successives. Pour chaque maille, on fixera une répartition arbitraire des débits ainsi qu'un sens d'écoulement, tout en respectant la première loi. Les débits nodaux sont supposés être connus.



Le problème revient à résoudre le système d'équations et suivant :

Pour chaque nœud :

Le long d'un contour fermé et orienté

$\Delta$  étant la perte de charge totale le long d'un tronçon  $i$  (m).

Considérons une maille quelconque d'un réseau maillé constitué de  $p$  tronçons. Dans chaque tronçon de la maille, on se donne a priori les débits  $Q_1, Q_p$ , de façon à respecter le principe d'équilibre des débits.

Soit  $\Delta H_t$  la perte charge totale dans un tronçon quelque de la maille. Elle est reliée au débit  $Q$  qui y passe par la relation :

Avec :  $r$  résistance de la conduite

Il faut alors convenir du sens positif long de la maille. Le principe d'équilibre des pertes de charge se traduit par la relation (12) :

$$\sum \Delta H_t = \sum r Q_i^2 = 0 \quad (12)$$

Le symbole  $\Sigma$  représente la somme algébrique de toutes les pertes de charge dans une maille formée par des tronçons véhiculant chacun le débit  $Q_i$ . Le débit  $Q'$  diffère du débit réel  $Q$  d'une quantité  $\Delta q$ , qui représente la correction à apporter au débit arbitraire  $Q'$  pour satisfaire au principe d'équilibre des pertes de charge. D'où l'équation (13) :

$$Q = Q' + \Delta q \quad (13)$$

L'application de la formule nous donne la relation (14) :

$$\sum \Delta H_t = \sum r Q_i^2 = \sum (Q' + \Delta q)^2 \quad (14)$$

Or  $\Delta q$  est supposé petit par rapport à  $Q'$ , donc on peut dans le développement de la relation, négliger les infiniment petites d'ordre supérieur ou égal à 2 et on a la relation (15) :

$$\Delta q = - \frac{\sum \Delta H_t}{2 \sum \frac{\Delta H_t}{Q'}} \quad (15)$$

La correction  $\Delta q$  ainsi calculée est ajoutée algébriquement à chacun des débits

Initialement choisis  $Q'$ , de façon à obtenir une meilleure répartition des débits dans la maille considérée. Compte tenu du principe de l'équilibre des débits en chaque nœud, on calcule les nouveaux débits approchés  $Q'$  dans les tronçons d'un des mailles contiguës à la précédente et sur laquelle on effectue le même calcul.

On procède ainsi successivement sur les différentes mailles du réseau de manière à serrer de plus en plus après l'équilibre des pertes de charge dans chacune mailles, tout en vérifiant après chaque calcul, si le principe de l'équilibre des débits est établi en chaque nœud.

### ii-. Méthode de Newton-Raphson

La méthode de Newton-Raphson développe les termes non linéaires en séries de Taylor, néglige les résidus au-delà des deuxièmes termes et ne considère ainsi que les termes linéaires. En conséquence, cette méthode linéarise les équations à travers une différentiation partielle. Elle est par conséquent générale et agit même quand les équations non linéaires sont transcendantes contenant donc des termes exponentiels, trigonométriques, hyperboliques ou logarithmiques. La non linéarité des équations décrivant un réseau de conduits est algébrique, uniforme et simple. Recherche de  $x$  tel que  $F(x)=0$

Qi nouvelle valeur du débit calculée à partir de la fonction et de sa dérivée. La convergence vers la solution finale est accélérée parce qu'elle est quadratique c'est-à-dire que la diminution de l'erreur est proportionnelle au carré de l'erreur précédente. La méthode de Newton-Raphson nécessite de faire une estimation des débits au départ de l'itération.

Le logiciel Epanet utilise cette méthode et permet de déterminer les débits en résolvant cette équation. Pour le faire, nous devons tout d'abord répartir le débit total à travers tous les nœuds du réseau.

### 2.2.4.3- Calcul des débits nodaux

#### a. Détermination du débit spécifique

Le débit spécifique se définit comme étant le rapport entre les débits de pointe et la somme des longueurs des tronçons du réseau de distribution. Il est obtenu par application de la formule 16

$$Q_{sp} = Q_p / \sum L_i \quad (16)$$

**Avec :**  $Q_{sp}$  débit spécifique en  $\frac{l}{s}/m$

$Q_p$  débit de pointe en  $(l/s)$

$\sum L_i$  la somme des longueurs des tronçons en  $m$

**b. Détermination des débits en route**

Le débit en route est le débit circulant à travers un tronçon et supposé être consommé d'une façon uniforme sur toute la longueur de ce dernier. Il est obtenu par la formule 17

$$Q_{ri} = Q_{sp} \times L_i \quad (17)$$

Avec :

$Q_{ri}$  : le débit en route dans le tronçon  $i$  (  $l/s$  )

$Q_{sp}$  : Débit spécifique en  $\frac{l}{s}/m$

$L_i$  : Longueur du tronçon en  $m$

**c. Détermination des débits aux nœuds**

Les débits nodaux sont les débits concentrés en chaque nœud pour alimenter la population répartie autour des moitiés des tronçons des conduites ayant en commun le nœud considéré, ils sont déterminés par la formule 18

$$Q_{noeud} = 0,5 \times \sum Q_{ri-k} \quad (18)$$

Avec :

$Q_{noeud}$  le débit au nœud

$\sum Q_{ri-k}$  la somme des débits en route des tronçons reliés au nœud  $i$  en  $l/s$

**2.2.4.4-Paramètres de dimensionnement**

L'objectif du calcul du réseau de distribution est la détermination des paramètres géométriques et hydrauliques des canalisations formant le réseau des distributions c'est à dire le diamètre, le gradient de perte de charge, la vitesse d'écoulement en fonction d'une répartition arbitraire des débits, puis la vérification de la pression au sol au niveau de chaque nœud. Les formules utilisées dans le dimensionnement des conduites sont consignées dans le tableau 2

**Tableau 2: Paramètres de dimensionnement des conduites.**

Paramètres calculés	Formules
<b>Diamètre théorique en m</b>	$D_{th} = \sqrt{\frac{4 \times Q}{\pi \times V}}$ Avec $v=1 \text{ m/s}$ (19)
<b>Vitesse réelle en m/s</b>	$V = \frac{4 \times Q}{\pi \times D_{int}^2}$ (20)
<b>Perte de charge totale</b>	$J = 1.2 \times \frac{10,29 \times Q^2 \times L}{Ks^2 \times D_{int}^{16/3}}$ (21)
<b>Côte minimale exploitable en m</b>	$Z_{min, e} = P + ZTN + \Sigma J$ (22)
<b>Pression au nœud en aval en m</b>	$P = Z_{min, e \text{ max}} - ZTN - \Sigma J$ (23)

Avec :

**Q** : débit du tronçon en m<sup>3</sup>/s

**P** : pression de référence en m

**ZTN** : côte du terrain naturel en m

**V** : vitesse de l'eau dans la conduite en m/s

**Dth** : Diamètre théorique de la conduite en m

**Dint** : Diamètre intérieur de la conduite m

**ΣJ** : somme cumulée des pertes de charge totale en m

**L** : longueur de la conduite en m

**Ks** coefficient de rugosité (0,015 pour le plastique)

#### 2.2.4.5- Simulation du fonctionnement du réseau

Pour dimensionner un réseau d'AEP et simuler son fonctionnement avec le logiciel Epanet, il est nécessaire d'entrer des données en fonction de l'élément du réseau sélectionné. Ces éléments sont les nœuds, les conduites et le réservoir.

##### 2.2.4.5.1. Nœuds

Les données à renseigner ici sont l'altitude mesurée avec Google Earth et la demande de base calculée pour chaque nœud. Une courbe de modulation est également ajoutée pour calculer les demandes aux nœuds en fonction des tranches horaires.

##### 2.2.4.5.2. Conduites

On renseigne pour chaque tuyau la longueur mesurée par Google Earth, le coefficient de rugosité et le diamètre intérieur.

### 2.2.4.5.3. Réservoir

Pour le réservoir, on renseigne les valeurs suivantes :

- \* Altitude du radier : correspond à la hauteur à laquelle se situe la base du réservoir par rapport au niveau de référence
- \* Niveau maximal : correspond à la hauteur relative du déversoir
- \* Niveau minimal : correspond à la hauteur relative de la sortie de l'eau pour la distribution
- \* Niveau initial : correspond à la hauteur initiale de l'eau dans le réservoir
- \* Diamètre : on considère un réservoir cylindrique, et on détermine un diamètre permettant d'obtenir un volume supérieur au volume minimal.

Après avoir introduit toutes les données appropriées aux différentes composantes du réseau (altitude, débits des nœuds, diamètres et longueurs des tronçons), l'étape suivante est la validation du modèle hydraulique, si un message d'erreur s'affiche donc il faut revoir les données d'entrée et s'en assurer. Sinon la simulation sera révélée réussie et il ne reste que de changer les diamètres des tuyaux préalablement insérés pour ceux qui sont en dehors de la fourchette des vitesses et pressions.

## 2.2.5. Dimensionnement de la pompe et du groupe électrogène

### 2.2.5.1. Dimensionnement de la pompe

La pompe aura pour but ici de conduire l'eau du forage vers le réservoir. Nous avons choisi ici une pompe immergée et elle sera couplée d'un groupe électrogène qui sera utilisé au cas où il y aura les coupures d'électricité à l'école. Pour dimensionner une pompe immergée 2 paramètres sont nécessaires : le débit d'exploitation du forage et la Hauteur Manométrique Totale (HMT).

#### a. Le débit d'exploitation du forage

Il s'agit de la quantité d'eau nécessaire au bon fonctionnement de l'installation. C'est le débit d'exploitation du forage.

#### b. La Hauteur Manométrique Totale (HMT).

Il s'agit de l'énergie qui va permettre le transport de l'eau dans les tuyauteries et de la faire monter au point le plus élevé de l'installation (le réservoir). La HMT se calcule par la formule (24) :

$$HMT = H_{géo} + H_t \quad (24)$$

Avec :

$H_{géo}$  : La hauteur géométrique de refoulement en m

$H_{géo}$  est obtenue à partir de la formule (25)

$$H_{géo} = P_r + H_r + H_a \quad (25)$$

Avec

$P_r$ =pression résiduelle,  $H_r$ =hauteur de refoulement,  $H_a$ = hauteur d'aspiration

$H_t$  représente les pertes de charges totales en m et est obtenues à l'aide de la formule (26)

$$H_t = D_l + D_s \quad (26)$$

Ou  $D_l$  et  $D_s$  représentent les pertes de charges linéaires et singulières respectivement.

$H_t$  sera estimé à partir des annexes 3 et 4.

La puissance de la pompe est donnée par la formule (27) :

$$Ph = \rho \times g \times Q \times HMT \quad (27)$$

Avec :

Ph : puissance hydraulique de la pompe en W

$\rho$  : masse volumique de l'eau = 1000 kg/m<sup>3</sup>

g : accélération de la pesanteur = 9,81 m/s<sup>2</sup>

Q : débit d'exploitation du forage en m<sup>3</sup>/s

HMT : Hauteur Manométrique Totale en m

#### **2.2.5.2. Dimensionnement du groupe électrogène**

L'alimentation de la pompe sera assurée par un groupe électrogène autonome au cas où il y aurait des coupures d'électricité dans l'ENSP. Le démarrage temporisé sera privilégié du fait qu'il permet de mieux protéger le groupe électrogène en lui accordant une durée de vie plus élevé. La puissance du groupe électrogène est obtenue par la formule (28) :

$$SGE = \frac{P_a}{\cos \theta} \times 2 = 2,725 \times 10^{-3} \times \frac{Q \times HMT}{\eta_{pom} \times \eta_{mot} \times \cos} \times 2 \quad (28)$$

Avec : SGE : puissance du groupe électrogène en kVA

$P_a$  : puissance absorbée en kW

Q : débit en m<sup>3</sup>/h

HMT : Hauteur Manométrique Total en m

$\eta_{mot}$  : Rendement du moteur en %

$\eta_{pom}$  : Rendement de la pompe en %

$\cos \theta$  : Facteur de puissance (sans unité)

Il est nécessaire de multiplier SGE par 2 pour éviter de casser le moteur diesel au démarrage (Bagre, 2004).

### **2.2.6. Dimensionnement et construction du forage.**

Un forage a été construit par le Labogénie afin d'être la source d'alimentation alternative en eau de l'ENSTP. Nous verrons ici la méthodologie utilisée afin d'obtenir celui-ci.

#### **2.2.6.1. Choix du point de forage**

Les travaux d'étude et de matérialisation des points potentiels de forage se sont déroulés ainsi qu'il suit :

##### **a. Reconnaissance de la zone d'étude**

Cette étape a constitué en l'identification des structures tectoniques susceptibles de canaliser l'eau souterraine à partir des observations (nature des roches, orientation des fractures, anomalies géomorphologiques, données hydrographiques et hydrogéologiques (sources et forages existants))

##### **b. Reconnaissance géophysique du sous-sol**

Deux méthodes d'étude du sous-sol ont été mises en œuvre

- La prospection aux baguettes : méthode empirique de recherche d'eau expérimentée par le Labogénie. Elle permet au même titre que la trainée électrique de mettre en évidence les cassures principales du site étudié.
- la prospection électrique : en mode de trainés et sondages. Des profils de trainés et de sondage électrique ont été positionnés de manière à capitaliser les anomalies les plus importantes de la zone étudiée. Aussi l'acquisition des données de sondages électriques à l'exploration verticale ont été réalisées au droit de ces anomalies à fort potentiels hydrogéologiques. Pour cela les dispositifs de mesure Schlumberger ont été retenus, 04 profils de mesure électriques ont été réalisés dont 2 trainés électriques et 02 sondages électriques.

### 2.2.6.2. Construction du forage

Les travaux de construction du forage sont constitués de plusieurs aspects tels que le fonçage ou l'exécution de l'avant-trou et du trou, la mise en place de la colonne de captage, suivi des différentes cimentations hydrauliques, le développement de l'ouvrage réalisé et la réalisation des essais de débit.

Le déroulement de ces activités peut se présenter comme suit :

- Foration
- Équipement du forage
- Développement
- Essai de débit

#### a. Foration

La foration du point de forage a été réalisée du 3 novembre au 15 novembre 2021. Ces travaux ont consisté à la mise en station au point, le fonçage jusqu'au toit gneissique à 13 m de profondeur et la foration au marteau fond de trou jusqu'à 90 m de profondeur.

Le développement de l'ouvrage au train de tiges a été fait pendant une demi-journée avec évaluation au déversoir du débit à la fin de la foration

#### b. Équipement de l'ouvrage

Les travaux d'équipement de l'ouvrage réalisé renvoient à l'ensemble des opérations effectuées après la foration à la profondeur indiquée et qui conduisent à la pose de la colonne de captage. Il s'agit de la pose des tuyaux de PVC de forage aux diamètres indiqués suivant le schéma de captage cadrant avec les différentes venues d'eau à capitaliser.

#### c. Développement

Le développement d'un forage est l'ensemble des opérations réalisées par l'opérateur dans le but de décolmater les venues d'eau et de rendre les eaux produites claires à la vue. Ces travaux de soufflage se font suivant deux étapes et en plusieurs paliers.

##### - Développement au train de tige

Le développement au train de tige se fait à la fin de la foration. Il s'agit particulièrement d'un ensemble de mouvements de va et vient, facilités par l'injection d'air lift à travers le train de tiges pour évacuer au maximum les débris contenus dans l'ouvrage construit. Ces débris sont responsables de la coloration de l'eau produite.



C'est une opération qui se fait à la fin du fonçage de chaque tige. A la fin de cette foration, ce développement est ponctué par une ou deux poses de 15 à 30 minutes (CICR, 2012) constituants ainsi les paliers

- **Développement à l'air lift**

Cette dernière étape se fait après la mise en place de la colonne de captage. Elle permet à l'opérateur de rendre l'eau claire à la vue.

C'est le moment pour l'opérateur, après la réalisation d'un dispositif de récolte des eaux soufflés d'évaluer approximativement la productivité du forage. La comparaison de ce débit à la somme des débits obtenus par aquifère recensé pendant la foration permet d'évaluer la réussite de la pose du schéma de captage de l'eau.

**d. Essai de débit**

L'essai de débit ou de pompage consiste à stimuler l'utilisation de l'ouvrage par différentes séries de pompage de l'eau en vue de déterminer le débit d'exploitation du forage réalisé. C'est de cet exercice que la pose que la profondeur de pose de la pompe, la puissance de la pompe installer et la tuyauterie d'exhaure sont définies. L'essai s'est fait pendant 5 heures à débit constant de pompage.

**Conclusion**

Dans ce chapitre nous avons présenté la méthodologie utilisée afin d'atteindre nos objectifs. La suite de notre travail consistera à présenter, interpréter et discuter les résultats obtenus.

## **CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION**

## Introduction

Nous avons présenté précédemment la méthodologie utilisée pour dimensionner notre système d'AEP. Il s'agira dans celui-ci de présenter les résultats de ce dimensionnement et de discuter sur les résultats de la simulation du réseau, d'évaluer le cout de construction de notre système ainsi que les moyens d'entretien du réseau.

### 3.1. Résultats du dimensionnement

#### 3.1.1. Bases du dimensionnement

Le tableau 3 présente les bases du dimensionnement

**Tableau 3 : résultats du dimensionnement de base**

Désignation	Symbole	Valeur	Unité
Population	$p$	1500	Nombre d'habitants
Volume journalier total nécessaire	$v_t$	8	$m^3$
Rendement du réseau	$r_d$	0,9	
Volume journalier mis à disposition	$v_{mad}$	8,89	$m^3$
Débit moyen	$Q_{moy}$	0,37	$m^3/h$
Volume de stockage journalier	$v_r$	8,89	$m^3$
Coefficient de pointe	$C_p$	2,5	
Débit de pointe horaire	$Q_p$	0,925	$m^3/h$

#### 3.1.2. Dimensionnement de la conduite d'adduction

Les résultats du dimensionnement de la conduite d'adduction sont présentés dans le tableau 4.

**Tableau 4 : dimensionnement de la conduite d'adduction**

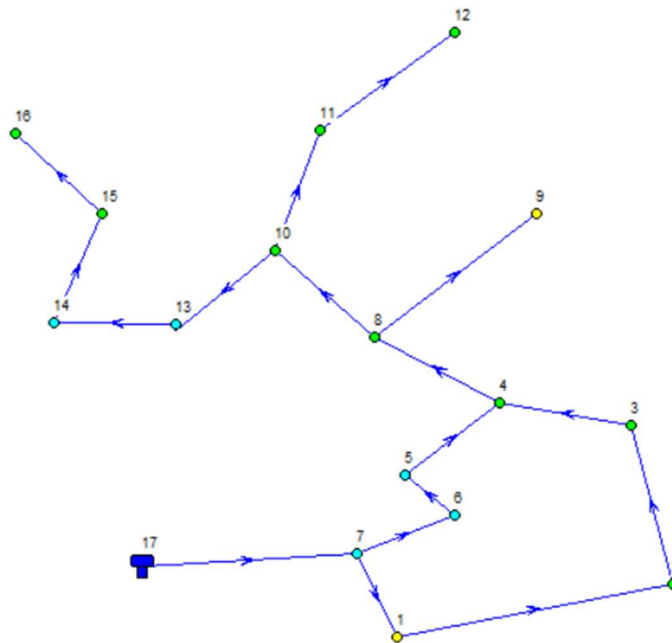
Désignation	Symbole	Valeur	Unité
Débit moyen	$Q_{moy}$	0,0001	$m^3/s$
Diamètre théorique	$D_{th}$	29,3	$mm$
Diamètre intérieur	$D_{in}$	30	$mm$
Diamètre nominal	$D_n$	32	$mm$
Vitesse	$v$	0,541	$m/s$

### 3.1.2.1. Calcul du coup de bélier

L'amplitude du coup de bélier calculé nous donne une valeur de 86 m. Nous choisirons ainsi une pression nominale de 100 m pour notre réseau.

### 3.1.3. Réseau de distribution

Le tracé du réseau avec le logiciel Epanet est présente par la figure 17. On peut observer les différents nœuds de demande, tuyaux et le réservoir présenté par le nœud 17.



**Figure 17: Tracé réseau distribution d'eau avec Epanet**

### 3.1.3.1. Répartition de la demande aux nœuds.

Le débit utilisé pour le dimensionnement de notre réseau de distribution est le débit de pointe horaire  $Q_p = 0,93 \text{ m}^3/h$ . La somme des longueurs des tuyaux est  $877,9 \text{ m}$ . Le débit spécifique  $Q_{sp} = 0,002 \text{ l/s/m}$ .

Le tableau 5 présente les différents tuyaux avec les débits en route dans chacun de ceux-ci.

**Tableau 5: Débits en route des tuyaux**

Tuyaux	Longueur (m)	Débit de pointe $Q_p$ (l/s)	Débit spécifique $Q_{sp}$ (l/s/m)	Débit de route $Q_r$ (l/s)
1	181,96	1,72	0,002	0,36
2	78,38			0,15
3	65,39			0,13
4	45,35			0,09
5	25,12			0,05
6	30,4			0,06
7	90,28			0,18
8	30,11			0,06
9	74,76			0,15
10	54,14			0,11
11	24,55			0,05
12	42,63			0,08
13	27,53			0,05
14	13,93			0,03
15	14,57			0,03
16	14			0,027
17	64,89			0,13

Les caractéristiques des nœuds sont présentées dans le tableau 6

**Tableau 6 : caractéristiques des nœuds**

<b>Nœud</b>	<b>Altitude (m)</b>	<b>Débit pointe (l/s)</b>
<b>1</b>	756	0,27
<b>2</b>	759	0,26
<b>3</b>	762	0,14
<b>4</b>	767	0,14
<b>5</b>	769	0,07
<b>6</b>	771	0,05
<b>7</b>	772	0,18
<b>8</b>	767	0,16
<b>9</b>	757	0,07
<b>10</b>	768	0,10
<b>11</b>	763	0,07
<b>12</b>	759	0,04
<b>13</b>	769	0,04
<b>14</b>	769	0,03
<b>15</b>	767	0,03
<b>16</b>	767	0,01
<b>17</b>	775	0,06

Nous obtenons ainsi les débits de pointe dans chaque conduite, présentés dans le tableau 7, nous permettant de dimensionner les conduites de distribution. Nous avons utilisé la formule de Darcy-Weisbach pour le calcul des pertes de charge, avec une rugosité de 0,015 pour toutes les conduites.

**Tableau 7: diamètres des conduites**

Tuyaux	Débits de pointe (l/s)	Diamètre (mm)
1	0,94	34,57
2	0,68	29,50
3	0,54	26,29
4	0,22	16,78
5	0,29	19,22
6	0,34	20,95
7	1,19	38,99
8	0,62	28,23
9	0,16	14,13
10	0,31	19,97
11	0,07	9,43
12	0,07	9,52
13	0,14	13,33
14	0,1	11,23
15	0,07	9,52
16	0,04	7,41
17	1,72	46,79

### 3.1.3.2. Paramètres de dimensionnement

Les formules du tableau 2 nous permettent d'avoir les résultats présentés dans les tableaux 8 et 9.

**Tableau 8 : paramètres de dimensionnement**

<i>Tuyaux</i>	<i>Longueur (m)</i>	<i>Débits (l/s)</i>	<i>Diamètre (mm)</i>	<i>Diamètre intérieur (mm)</i>	<i>Diamètre nominal (mm)</i>	<i>Perte de Charge</i>	<i>Somme des pertes de charge</i>
1	181,96	0,94	34,57	35,2	40	0,013	0,013
2	78,38	0,68	29,5	28	32	0,007	0,02
3	65,39	0,54	26,29	28	32	0,004	0,025
4	45,35	0,22	16,78	16	20	0,001	0,025
5	25,12	0,29	19,22	16	20	0,001	0,027
6	30,4	0,34	20,95	28	32	0,002	0,03
7	90,28	1,19	38,98	35,2	40	0,021	0,05
8	30,11	0,63	28,23	28	32	0,006	0,055
9	74,76	0,16	14,12	16	20	0,001	0,06
10	54,14	0,31	19,98	16	20	0,002	0,06
11	24,55	0,07	9,43	16	20	0,001	0,061
12	42,63	0,07	9,52	16	20	0,0002	0,061
13	27,53	0,14	13,33	16	20	0,0003	0,061
14	13,93	0,10	11,23	16	20	0,0002	0,062
15	14,57	0,07	9,52	16	20	0,0007	0,063
16	14	0,043	7,41	16	20	0,0002	0,064
17	64,89	1,72	46,8	44	50	0,044	0,1



**Tableau 9: paramètres de dimensionnement (suite)**

<b>Cote terrain naturel aval (m)</b>	<b>Cote minimal exploitable z<sub>min,e</sub> (m)</b>	<b>Pression (m)</b>	<b>Vitesse (m/s)</b>
759	777,01	34,013	0,96
762	780,02	31,01	1,11
767	785,03	26,01	0,88
769	787,023	24	1,1
775	793,03	18	1,44
772	790,028	20,99	0,56
756	774,05	36,98	1,23
767	785,06	25,97	1,02
757	775,06	35,97	0,78
768	786,06	24,97	1,56
763	781,057	29,97	0,35
759	777,06	33,97	0,32
769	787,06	23,97	0,69
769	787,06	23,97	0,49
766	784,06	26,97	0,35
767	785,058	25,97	0,31
769	787,102	23,92	1,13

Le réservoir est à une cote de 775 m.

On constate que les vitesses sont toutes comprises entre 0,3 et 2 m/s et que les pressions sont toutes supérieures ou égales à 18 m. Le réseau est donc satisfaisant sur ces points.

### 3.1.3.3. Dimensionnement du château d'eau

#### a- site

Le château d'eau doit être placé de telle façon à assurer une pression acceptable dans tout le réseau pour le confort des usagers. Il est généralement placé sur le point ayant la plus grande altitude de la zone d'étude. Dans notre travail il sera placé sur la cote 775 m (droite de l'ancienne bibliothèque).

### b- Calage du radier

Le radier du réservoir est calé suivant la formule 29 :

$$\text{Hauteur sous cuve} = Z_{\min, e \max} - Z_{TN \text{ réservoir}} \quad (29)$$

Avec :

$$Z_{TN \text{ réservoir}} = 775 \text{ m.}$$

Le calcul nous donne une hauteur de 18 m

### c- Caractéristiques du réservoir

Le volume du réservoir est donné par la formule 30 :

$$V = h \times \frac{\pi D^2}{4} \quad (30)$$

$h$  étant la hauteur du réservoir

Notre volume est de  $10 \text{ m}^3$  ; Pour un réservoir de diamètre  $D=2,5 \text{ m}$  on obtient  $h = 2 \text{ m}$

#### 3.1.3.4. Résultats de la simulation

Après avoir introduit toutes les données appropriées aux différentes composantes du réseau (altitude, débits des nœuds, diamètres et longueurs des tronçons), il faut valider le modèle hydraulique. La simulation étant réussie il reste juste à changer les diamètres des tuyaux préalablement insérés pour ceux qui sont en dehors de la fourchette des vitesses et pressions.

##### 3.1.3.4.1. Après simulation

###### a. Les vitesses

Les vitesses admises doivent être entre  $0,3$  et  $2 \text{ m/s}$  on parle de vitesse idéale lorsque la vitesse est entre  $0,5$  et  $1,5 \text{ m/s}$ . Après simulation sur 17 arcs, 14 arcs sont dans la fourchette admise. Nous avons une vitesse minimale de  $0,09 \text{ m/s}$  et maximale de  $0,94 \text{ m/s}$ .

Pour remédier il suffit de d'ajuster les valeurs les diamètres des conduites en question.

Dans notre cas il faudra les diminuer afin d'augmenter la vitesse.

###### b. Les pressions

On aura comme pression de référence  $P=18 \text{ m}$

En faisant la comparaison on constate que tous les nœuds possèdent une pression supérieure à  $18 \text{ m}$ . Avec une pression minimale de  $26,97 \text{ m}$  et une maximale de  $42,91 \text{ m}$ .

##### 3.1.3.4.2. Rapports de la simulation

###### a. Avant correction des diamètres

Le tableau 10 présente les rapports de simulation au niveau des différents nœuds avant correction des diamètres.

**Tableau 10 : Etat des nœuds du réseau**

<b>ID nœud</b>	<b>Charge (m)</b>	<b>Pression (m)</b>
1	798,91	42,91
2	798,81	39,81
3	798,77	36,77
4	798,74	31,74
5	798,86	29,86
6	798,91	27,91
7	798,97	26,97
8	798,71	31,71
9	798,64	41,64
10	798,60	30,60
11	798,44	35,44
12	798,34	39,34
13	798,51	29,51
14	798,42	29,42
15	798,29	31,29
16	798	31

Le tableau 11 présente les états des arcs du réseau avant correction des diamètres

**Tableau 11 : état des arcs du réseau**

<b>ID arc</b>	<b>Vitesse (m/s)</b>	<b>Perte de charge unitaire (m/km)</b>	<b>Facteur friction</b>
Tuyau 1	0,09	0,57	0,039
Tuyau 2	0,18	0,51	0,029
Tuyau 3	0,3	0,50	0,044
Tuyau 4	0,35	2,71	0,074
Tuyau 5	0,39	2,09	0,074
Tuyau 6	0,6	1,79	0,105
Tuyau 7	0,63	0,59	0,113
Tuyau 8	0,65	0,89	0,118
Tuyau 9	0,66	0,86	0,220
Tuyau 10	0,68	1,96	0,292
Tuyau 11	0,68	6,44	0,127
Tuyau 12	0,68	2,46	0,127
Tuyau 13	0,68	3,44	0,107
Tuyau 14	0,68	6,03	0,107
Tuyau 15	0,25	9,08	0,123
Tuyau 16	0,94	20,98	0,080
Tuyau 17	0,54	0,52	0,057

**b. Après correction des diamètres**

Le tableau 12 présente l'état d'étude après modification des diamètres

**Tableau 12 : Etat des tuyaux après modification des diamètres**

<b>ID arc</b>	<b>Vitesse (m/s)</b>	<b>Perte de charge unitaire (m/km)</b>	<b>Facteur friction</b>
Tuyau 1	0,3	0,57	0,039
Tuyau 2	0,45	0,51	0,029
Tuyau 3	0,3	0,50	0,044
Tuyau 4	0,35	2,71	0,074
Tuyau 5	0,39	2,09	0,074
Tuyau 6	0,6	1,79	0,105
Tuyau 7	0,63	0,59	0,113
Tuyau 8	0,65	0,89	0,118
Tuyau 9	0,66	0,86	0,220
Tuyau 10	0,68	1,96	0,292
Tuyau 11	0,68	6,44	0,127
Tuyau 12	0,68	2,46	0,127
Tuyau 13	0,68	3,44	0,107
Tuyau 14	0,68	6,03	0,107
Tuyau 15	0,5	9,08	0,123
Tuyau 16	0,94	20,98	0,080
Tuyau 17	0,54	0,52	0,057

**3.1.4 Résultats du Dimensionnement et de la construction du Forage**

Les résultats obtenus dans cette partie sont ceux qui ont été fournis par le Labogénie qui est l'entreprise qui a réalisé le forage.

**3.1.4.1. Le point du Forage**

La prospection aux baguettes a permis de diminuer l'espace de travail à travers l'identification des aires favorables à la circulation d'eau souterraine. Cette identification s'est basée sur le magnétisme caractéristique des cassures du substratum rocheux. A cet effet, deux fractures sécantes ont été identifiées le long de la clôture et une seule fracture a été localisée dans la zone située après La direction de l'école. Ce sont ces zones qui ont fait l'objet de la

prospection électrique. Les profils de trainées électriques sont placés en annexe. Les résultats des différentes prospections nous donnent 2 points potentiels où les forages peuvent être implantés dans le périmètre de l'ENSTP. Leurs Caractéristiques sont présentées dans le tableau 13 :

**Tableau 13: caractéristiques des points favorables à l'implantation du forage**

<b>Forage</b>	<b>Profondeur totale (m)</b>	<b>Toit Du socle (m)</b>	<b>Côte des Venues d'Eau (m)</b>
F1	70	09-14	24-32 et 36-50
F2	80	8-10	20-40

Le point F1 a été choisi Comme point d'implantation définitif du forage car à ce point on note une chute de résistivité dans la roche de sensiblement 40 à 03 ohm qui montre à suffisance l'importance de cette zone conductrice. De l'expérience acquise dans le contexte de socle cela n'est possible qu'en cas de présence d'eau douce.

#### **3.1.4.2. Résultats de la foration**

Au total, trois aquifères ont été recoupés pendant la foration. La nappe phréatique et deux aquifères de fracture l'un situé entre 24 et 36 mètres de profondeur et l'autre entre 40 et 52 mètres de profondeur. Les débits enregistrés à l'exutoire sont de l'ordre de  $1 \text{ m}^3/\text{h}$ .

#### **3.1.4.3. Schéma de captage et mise en place de la colonne de captage**

Dans le cadre de ce travail et suivant les données relevées pendant la foration tous les tubes PVC de diamètre nominal 110-125 posés sont en unité de 03 mètres. Le sabot de fond est en forme de fuseau et mesure 0,4 mètre. La colonne de captage adoptée donne la position des différents tubes ainsi qu'il suit :

Le sabot de fond se situe à la profondeur de 89,60 m. Il constitue le fond de la colonne de captage.

Ce sabot est surmonté d'un tube PVC plein et d'un tube crépiné pour le captage de toute eau de chute par gravité dans le trou exécuté. Le pvc plein de fond (de 86,6 à 89,6 m) est une prévision en cas de pose de la pompe à cette profondeur car il est fortement déconseillé de poser la pompe au niveau des pvc crépinés.

La deuxième et la troisième venue d'eau enregistrées respectivement à 24 et 40 mètres ont été couvertes par des PVC crépinés. Le reste de la profondeur étant occupée par les pvc

pleins Jusqu'au niveau zéro mètre de profondeur du sol. A l'issue de la pose des PVC, le massif filtrant calibré de 2 à 4 mm a été posé de 90 m de profondeur jusqu'à moins 14 m de profondeur. Ce massif est surmonté par une couche d'argile d'étanchéité d'un mètre d'épaisseur de sorte à constituer un bouchon. Le reste de la profondeur a été comblé par un tout venant. Le tableau récapitulatif de la foration et la coupe technique du forage placé en annexe nous permettent de voir plus clairement le travail exécuté.

#### 3.1.4.4. Résultats des essais de pompage

Les essais de pompage ont permis d'obtenir un débit d'exploitation du forage de  $1,2 \text{ m}^3/\text{h}$ .

#### 3.1.4.5. Qualité des eaux

Une analyse in-situ réalisée sur le terrain a permis de connaître le Ph de l'eau (5,6), la température de l'eau à la sortie du sol ( $22^\circ$ ) et la turbidité. Ces trois facteurs dosés sont acceptables par rapport à la norme OMS relative aux eaux destinées à la consommation humaine. Une analyse bactériologique a aussi été effectuée et les résultats montrent que l'eau est propre à la consommation humaine.

#### 3.1.5. Choix de la pompe

Le débit d'exploitation du forage est de  $1,2 \text{ m}^3/\text{h}$ . Le débit de la pompe choisi est de  $1,2 \text{ m}^3/\text{h}$  pour maximiser la production du forage.

$H_a = 0$  vu que la pompe est immergée,  $P_r = 10 \text{ m}$ ,  $H_r = 115 \text{ m}$ ,  $D_l = 1,125 \text{ m}$ ,  $D_s = 0,0405 \text{ m}$ ,  
 $H_t = 1,1655$

HMT = 126,2 m donc notre pompe devra avoir pour caractéristique un débit de  $1,2 \text{ m}^3/\text{h}$  et une HMT de 126,2 m. La pompe choisie est la pompe **Grundfos SP 5A 44T** dont la fiche technique est placée en annexe. Cette pompe pourra envoyer vers le réservoir un volume journalier de  $28,8 \text{ m}^3$  pour un pompage de toute une journée.

#### 3.1.6. Groupe électrogène

Le calcul de la SGE suivant la formule 26 nous donne une valeur de la puissance du moteur de 2,46 kVA, nous choisirons donc un groupe de SGE 4,9 kVA. Le choix est porté sur le groupe électrogène de marque Total-TP250003-1-5000W dont toutes les caractéristiques seront placées en annexe.

### **3.2. Discussion des résultats**

Après le dimensionnement on remarque que le réseau est satisfaisant. Toutes les pressions et les vitesses sont contenues dans les fourchettes recommandées. Le forage construit a une capacité de production maximale de  $28,8 \text{ m}^3$  d'eau par jour. Le volume d'eau à mettre à disposition pour pouvoir satisfaire la demande en eau de l'ENSTP est de  $8,89 \text{ m}^3$  en une journée. Le forage est donc suffisant pour satisfaire la demande journalière en eau de l'ENSTP. Il faudra 8 h de pompage du forage par jour afin de satisfaire cette demande en eau.

### **3.3. Entretien et accessoires du réseau**

La qualité de l'eau fournie aux usagers doit être bonne et maintenue tout au long du passage de celle-ci dans le réseau. Plusieurs moyens et équipements permettent une bonne gestion de celui-ci.

#### **3.3.1 La vidange**

La vidange a pour but de nettoyer les canalisations. Plusieurs équipements ou opérations sont à mettre en place dans ce cadre.

##### **3.3.1.1 Robinet vanne**

Des robinets vannes qui permettent d'isoler certains tronçons du réseau lors des interventions de maintenance par exemple. Les robinets vannes seront à boisseau sphérique à manette, de diamètres correspondants à la conduite sur laquelle ils seront placés. Ils seront de norme NF avec une certification ISO.

##### **3.3.1.2 Purges et désinfection après chaque interruption du service**

Lors de ces arrêts, de l'eau souillée a pu pénétrer dans la canalisation. Elle doit être évacuée et la canalisation devra être rincée et désinfectée par injection d'hypochlorite de Calcium.

##### **3.3.1.3 Lavage du réservoir de stockage**

Le réservoir de stockage doit être nettoyé tous les ans à l'aide de produits agréés. Un rapport de lavage est établi, il comporte l'état de l'ouvrage, l'importance des dépôts, les produits utilisés et la gestion des eaux de lavage.

#### **3.3.2 Compteurs**

La mesure des volumes a une grande importance dans la gestion optimale du réseau. Le diamètre des compteurs sera inférieur ou égal à celle de la conduite sur laquelle il est installé.

Ainsi, la conduite de forage sera munie d'un compteur d'eau pour estimer le débit de production, et un autre sera placé à la sortie du château d'eau, afin de connaître le débit sortant, et enfin nous aurons aussi les compteurs des abonnés.

### **3.3.3 Protection de la qualité de l'eau**

Pour le renforcement de la qualité de l'eau dans le réseau, on introduit dans la cuve du château d'eau des pastilles de chlore au moyen d'un diffuseur lent. Ce diffuseur libère du chlore rémanent dans l'eau contenue dans la cuve et cette rémanence persiste dans la canalisation garantissant ainsi une protection qualitative de l'eau jusqu'à sa livraison aux usagers.

### **3.4. Evaluation des couts**

Il s'agira ici de faire un devis pour l'installation et l'exploitation du réseau et de ses différents accessoires, la conduite d'adduction, la pompe et le groupe électrogène.

#### **3.4.1. Installation et exploitation du réseau de distribution et de ses accessoires.**

Une estimation du prix d'installation du réseau est présentée dans le tableau 14. Pour l'établir, nous nous sommes basés sur la mercuriale camerounaise des prix de 2022. Le tableau 14 présente un devis pour la construction du réseau

**Tableau 14: devis construction du réseau**

<b>N°</b>	<b>Désignation</b>	<b>Unité</b>	<b>Quantité</b>	<b>Prix unitaire</b>	<b>Prix total</b>
	<b>RESERVOIR 10 m<sup>3</sup></b>				
<b>1</b>	Béton armé dosé à 350 <i>kg/m<sup>3</sup></i> additionné de sikalite pour parois du réservoir (épaisseur 10 <i>cm</i> ), couverture et fond du réservoir épaisseur (12 <i>cm</i> )	<i>m<sup>3</sup></i>	2,58	220 000	567 600
	Béton armé dosé à 350 <i>kg/m<sup>3</sup></i> pour 4 semelles de 150×150, 4 amorces des poteaux de 30× 30, 4 poteaux de 40× 40, poutres de réservoir de 30× 40 et poutres intermédiaires	<i>m<sup>3</sup></i>	6,7	220 000	1 474 000
	Fourniture et pose de la fermeture du réservoir en tôle aluminium 10 /10	U	1	220 000	220 000



**ETUDE D'UNE SOLUTION ALTERNATIVE D'APPROVISIONNEMENT EN EAU POTABLE DE  
L'ENSTP PAR FORAGE**

	Echelle d'accès métallique à l'extérieur de la plateforme du château en acier galvanisé de 20/27	ML	20	30 000	600 000
	Fourniture et pose d'un flotteur de marque RF1, diamètre nominal 180	U	1	100 000	100 000
	Construction d'un local technique de commande sous le château en aglos de 15, y/c porte de 80 en métal, dallage du sol en béton, crépissage interne et externe et toute sujétion de mise en œuvre	FF	FF	FF	800 000
	Fourniture et pose vanne de diamètre 60	U	2	25 000	50 000
	Aménagement de la trappe de visite 80*80	FF	FF	FF	100 000
	Tuyauterie de vidange en PEHD PN 10 diamètre 63 du réservoir y compris accessoires de plomberies	ML	19	5000	95 000
	Fourniture et pose d'un système de chloration (diffuseur pastilles aux dérivés chlorés)	FF	FF	FF	150 000
	<b>Sous-total 1</b>				<b>4 157 000</b>
	<b>FOURNITURE ET POSE DES CONDUITES DE DISTRIBUTION</b>				
<b>2</b>	Conduite en PEHD DN 40 PN 10	ML	273	1500	409 000
	Conduite en PEHD DN 32 PN 10	ML	205	1100	225 000
	Conduite en PEHD DN 20 PN 10	ML	337	1000	337 000
	Conduite en PEHD DN 50 PN 10	ML	65	5500	357 500
	<b>Sous-total 2</b>				<b>1 328 500</b>

**ETUDE D'UNE SOLUTION ALTERNATIVE D'APPROVISIONNEMENT EN EAU POTABLE DE  
L'ENSTP PAR FORAGE**

		<b>Équipements</b>			
3	Compteurs	U	1	50 000	50 000
	Robinet vanne DN 20	U	10	21 000	210 000
	Robinet vanne DN 32	U	4	73 000	292 000
	Robinet vanne DN 40	U	2	101 000	202 000
	Robinet vanne DN 50	U	1	127 000	127 000
	Boulons, joins	ENS	1	100 000	100 000
	<b>Sous-total 3</b>				
<b>TOTAL HORS TAXE</b>					<b>6 467 000</b>
<b>TVA 19,25 %</b>					<b>1 245 000</b>
<b>TOTAL TTC</b>					<b>7 712 000</b>

### 3.4.2. Installation de la conduite d'adduction

Le tableau 15 présente une estimation du prix d'installation de la conduite d'adduction.

**Tableau 15 : devis conduite d'adduction**

<b>Désignation</b>		<b>Quantité</b>	<b>Prix unitaire en FCFA</b>	<b>Prix total en FCFA</b>
Fourniture et pose de clapet anti retour à la sortie du forage	U	1	80 000	80 000
Fourniture et pose du compteur volumétrique diamètre 40mm+jeux d'accessoires	ENS	1	150 000	150 000
Fourniture et pose des canalisations PEHD diamètre 32 mm PN10	ML	450	1100	495 000
Fourniture et installation des accessoires de raccordement	FF	FF	FF	300 000
<b>Montant HT .....</b>				<b>1 025 000</b>
<b>TVA 19,25% .....</b>				<b>198 000</b>
<b>Montant TTC.....</b>				<b>1 223 000</b>

### 3.4.3. Installation et exploitation de la pompe

Le tableau 16 présente une estimation du prix d'installation et d'exploitation de la pompe.

**Tableau 16 : Devis pompe**

<b>Désignation</b>	<b>Unité</b>	<b>Quantité</b>	<b>Prix unitaire en FCFA</b>	<b>Prix total en FCFA</b>
Fourniture et pose de pompe électrique triphasé Grundfos SP 5A 44T (HMT 130 m, P:2 kW, Q :1,2 m <sup>3</sup> /h) y compris sonde et toutes sujétions de pose	U	1	2 000 000	2 000 000
Raccordement et branchement au réseau électrique Eneo y compris toutes sujétions	FF	FF	FF	500 000
<b>Montant HT .....</b>				<b>2 500 000</b>
<b>TVA 19,25 % .....</b>				<b>462 000</b>
<b>MONTANT TTC .....</b>				<b>2 862 000</b>

### 3.4.4. Installation et exploitation du groupe électrogène

Le tableau 17 présente une estimation du prix d'installation et d'exploitation du groupe électrogène.

**Tableau 17 : devis groupe électrogène**

<b>Désignation</b>	<b>Unité</b>	<b>Quantité</b>	<b>Prix unitaire en FCFA</b>	<b>Prix total en FCFA</b>
Fourniture et pose du groupe électrogène Total (P :5 kVA, tension :380V, fréquence50 Hz, capacité du réservoir :16l consommation : 1l/h)	U	1	1 200 000	1 200 000
Fourniture et pose des accessoires de raccordements	FF	FF	FF	100 000
<b>Montant HT .....</b>				<b>1 300 000</b>
<b>TVA 19,25% .....</b>				<b>251 000</b>
<b>MONTANT TTC .....</b>				<b>1 551 000</b>

Le tableau 18 présente le récapitulatif de l'évaluation financière

**Tableau 18 : Récapitulatif**

<b>Désignation</b>	<b>Prix en FCFA</b>
Construction du réservoir et du réseau De t distribution	7 712 000
Conduite d'adduction	1 223 000
Pompe	2 862 000
Groupe électrogène	1 551 000
<b>Total</b>	<b>13 348 000</b>

## Conclusion

Nous avons présenté dans ce chapitre les résultats et les discussions des différents résultats. Il en ressort que le réseau est satisfaisant sur le plan hydraulique car il fournit de l'eau en vitesse et pression acceptable. Le forage construit est suffisant pour alimenter l'école de façon autonome. Le cout de réalisation du projet est de **13 348 000 FCFA**. Ce projet permettra d'améliorer le confort des occupants de l'école en palliant aux coupures d'eau fréquentes.

**CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES**

## CONCLUSION GÉNÉRALE

Arrivés au terme de notre travail il est important de rappeler que l'objectif général de cette étude était la mise sur pied d'un système alternatif d'approvisionnement en eau potable de l'ENSTP par forage. Pour le faire il a fallu faire un état des lieux du réseau existant, y recenser les défaillances, dimensionner un système d'approvisionnement en eau potable alternatif (forage +pompe+ groupe électrogène +conduite d'adduction + réservoir +réseau de distribution) et faire un devis de la réalisation du système ainsi dimensionné (pompe + conduite d'adduction +groupe électrogène+ réservoir +réseau de distribution). Au terme de cet essai il en ressort que l'eau fournie à l'ENSTP est atteinte de microbes, les coupures d'eau sont fréquentes tout au long de la semaine ; Ce manque d'eau empêche la bonne réalisation de l'approvisionnement en eau potable et l'assainissement des occupants de l'école et cela entraîne leur inconfort. En consommant l'eau fournie à l'ENSTP, ses occupants sont exposés à des maladies telles que la typhoïde et la diarrhée.

Au regard de cette situation préoccupante un système d'approvisionnement alternatif en eau a été dimensionné ; Celui-ci est constitué d'un forage qui a été réalisé par le Labogénie ; une pompe accompagnée d'un groupe électrogène, une conduite d'adduction, un réservoir et un réseau de distribution ont été dimensionnés. Le système est suffisant pour approvisionner en eau potable la population de l'ENSTP de façon autonome.

Aussi une évaluation financière a été faite et cela nous a permis de connaître le coût de réalisation du système.

Enfin on pourrait s'interroger sur le fait de savoir dans quel système l'eau fournie à l'ENSTP est la moins chère.

### PERSPECTIVES

Les perspectives de ce travail seraient donc :

\*l'étude comparative du prix de l'eau fournie par le système existant de l'ENSTP et le système que nous avons proposé

\*l'étude du fonctionnement de la station de traitement d'eau de la CAMWATER qui fournit l'école en eau potable.

**REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**



Arnalich, S. (2021). *Epanet et coopération, dimensionnement d'un réseau d'eau potable par ordinateur deuxième édition*. Arnalich Water and habitat, 173 p.

Bedj Aoui A., Achour B., (2015). *Détermination des débits en route dans un réseau maillé par la méthode du modèle rugueux de référence (MMR)*. Courrier du savoir- N° 19, pp. 139-146

Diouf, M. (2005). *Conception et dimensionnement d'un réseau d'alimentation en eau potable et d'un système d'évacuation des eaux usées de la nouvelle ville de Diamniadio*. Projet de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur de conception, Université Cheik Anta Diop de Dakar Ecole Supérieure Polytechnique.

Guechab A., *Etude comparative des méthodes de calcul des réseaux de distribution (cas des réseaux maillés)*. Mémoire de Master Hydraulique urbaine, Université Mohamed Khider de Biskra.

Konkistre S. (2018). *Etude diagnostique du réseau d'approvisionnement en eau potable du village de Kienfangue dans la commune rurale de Komsilga : Burkina-Faso*. Mémoire pour l'obtention du Master en ingénierie de l'eau et de l'environnement spécialité : infrastructures et réseaux hydrauliques.

Sawadogo, R. (2019). *Conception et dimensionnement d'un système d'adduction d'eau potable en zone rurale : cas de Bouno et ses villages polarisés dans la région de Sedhiou au Sénégal*. Mémoire pour l'obtention du diplôme d'ingénieur 2Ie avec grade de master en ingénierie de l'eau et de l'environnement option : eau et assainissement.

Clark, L., « The Analysis and Planning of Step Drawdown Tests », *Quarterly Journal of Engineering Geology*, Vol. 10, p. 125-143, 1977.

Clark, L., *The Field Guide to Water Wells and Boreholes*, Geological Society of London Professional Handbook Series, 1988, Open University Press, Halsted Press (Milton Keynes, New York).

Maguiraga, D. (2019). *Dimensionnement du réseau aep du pos zone sud-est 3 de la ville d'Ain Temouchent*. Mémoire de fin d'étude pour l'obtention d'un diplôme de master en hydraulique, centre universitaire Belhadj Bouchaib.

Abdoulaye,A.(2019).*conception et dimensionnement du réseau d'alimentation en eau potable de la cité des forces vives de TENKODOGO, dans la région du centre-est, BURKINA FASO*. Mémoire de fin d'étude pour l'obtention d'un diplôme d'ingénieur en génie hydraulique, Université polytechnique de Bobo Dioulasso.

Institut National de la Statistique du Cameroun (2008), *Rapport National de progrès des Objectifs du Millénaire pour le Développement*.

Kauffmann (2007), *L'accès à l'eau potable et à l'assainissement en Afrique*, Centre de Développement de l'OCDE, Repère N° 41.

République du Cameroun (2003), *Document de Stratégie et de Réduction de la Pauvreté*.

Mthunzi, M., « Integrated Development for Water Supply and Sanitation: Introduction of Low-Cost Boreholes », 25th WEDC Conference, Addis Abeba Éthiopie, 1999.

Comité international de la Croix-Rouge (2012), *Revue Technique Réalisation Et Réhabilitation De Forages Dans Les Conditions Du Terrain*.

## WEBOGRAPHIE

[www.wikitp.fr](http://www.wikitp.fr) consulté le 15/03/2022

<http://www.enstp.cm/lenstp> consulté le 24/04/2022

<https://camerpressagency.com> consulté le 15/03/2022

<https://www.cieau.com> consulté le 25/05/2022

<https://www.leparisien.fr/economie/le-grand-defi-de-l-acces-a-l-eau-potable-09-122018-7963866.php> consulté le 15 mars 2022

<https://www.services.eaufrance.fr/gestion/services/eau-potable/le-traitement> consulté le 1<sup>er</sup> mars 2022

<https://www.futura-sciences.com> consulté le 15/04/2022

<https://www.unicef.org/fr> consulté le 03/07/2022

<https://www.afdb.org/fr> consulté le 01/03/2022

## **LOIS ET REGLEMENTATIONS :**

Loi N° 98-005 du 14 Avril 1998 portant régime de l'eau

Norme Camerounaise NC 207 : 2018 sur l'eau potable

Norme OMS sur l'eau potable

**ANNEXES**


**ANNEXE 1: NORMES DE L'OMS POUR L'EAU POTABLE**

<b>Élément</b>	<b>Symbole</b>	<b>Lignes directrices fixées par l'OMS</b>
<b>Substance</b>	<b>Formule</b>	
<b>Aluminium</b>	Al	0,2 mg/l
<b>Ammonium</b>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Pas de contraintes
<b>Antimoine</b>	Sb	0.02 mg/l
<b>Arsenic</b>	As	0,01 mg/l
<b>Amiante</b>		Pas de valeur guide
<b>Baryum</b>	Ba	0,7 mg/l
<b>Béryllium</b>	Be	Pas de valeur guide
<b>Bore</b>	B	0.5mg/l
<b>Cadmium</b>	Cd	0,003 mg/l
<b>Chlore</b>	Cl	Pas de valeur mais on peut noter un goût à partir de 250 mg/l
<b>Chrome</b>	Cr <sup>+3</sup> , Cr <sup>+6</sup>	Chrome total : 0,05 mg/l
<b>Couleur</b>		Pas de valeur guide
<b>Cuivre</b>	Cu <sup>2+</sup>	2 mg/l
<b>Cyanure</b>	CN <sup>-</sup>	0,07 mg/l
<b>oxygène dissous</b>	O <sub>2</sub>	Pas de valeur guide
<b>Fluorure</b>	F <sup>-</sup>	1,5 mg/l
<b>Dureté</b>	mg/l CaCO <sub>3</sub>	200 ppm
<b>Sulfure d'hydrogène</b>	H <sub>2</sub> S	0.05 à 1 mg/L
<b>Fer</b>	Fe	Pas de valeur guide
<b>Plomb</b>	Pb	0,01 mg/l
<b>Manganèse</b>	Mn	0,4 mg/l
<b>Mercure</b>	Hg	inorganique : 0,006 mg/l
<b>Molybdène</b>	Mb	0,07 mg/l
<b>Nickel</b>	Ni	0,07 mg/l

**ETUDE D'UNE SOLUTION ALTERNATIVE D'APPROVISIONNEMENT EN EAU POTABLE DE  
L'ENSTP PAR FORAGE**

<b>Nitrate et nitrite</b>	NO3, NO2	50 et 3 mg/l (exposition à court terme)
		0,2 mg/l (exposition à long terme)
<b>Turbidité</b>		Non mentionnée
<b>pH</b>		Pas de valeur guide mais un optimum entre 6.5 et 9.5
<b>Sélénium</b>	Se	0,01 mg/l
<b>Argent</b>	Ag	Pas de valeur guide
<b>Sodium</b>	Na	Pas de valeur guide
<b>Sulfate</b>	SO4	500 mg/l
<b>Etain inorganique</b>	Sn	Pas de valeur guide : peu toxique
<b>TDS</b>		Pas de valeur guide mais optimum en dessous de 1000 mg/l
<b>Uranium</b>	U	0,015 mg/l
<b>Zinc</b>	Zn	3 mg/l

ANNEXE 2: RÉSULTATS D'ANALYSE



LABORATOIRE D'ANALYSES

## LABORATOIRE LEAUCLEAN

Laboratoire agréé par ARRÊTE MINISTERIEL N° AR/00439/A/MINIMIDI/SG/DI/SDRI/SEC/MM du 17 juin 2019

Analyses des eaux  
Analyses de l'air & des sols  
Traitement de la pollution  
Etude - Conseil - Formation

infos@laboratoireleauclean.com  
www.laboratoireleauclean.com

☎ 658 23 21 06 - 676 49 77 71 - 655 22 35 26

RCCM – RC/YAO/2022/B / 292

N° contribuable – M02217053883J

N° 0906 /2022/LALC/CSP

Yaoundé, le 22 JUIL 2022

### BULLETIN D'ANALYSE

NATURE DE L'ECHANTILLON : EAU DE CAMWATER

PRELEVE LE : 20/07/2022

PAR : CLIENT

N° ECHANTILLON : LCAPC906

LOCALISATION : ENSTP

DEMANDEUR : BAYIHA MANANG S.

LOCALITE : YAOUNDE


ANALYSE LE : 20/07/2022

PARAMETRE	METHODE ANALYSE	RESULTAT	UNITE	REFERENCE (NC 207: 2018)
<b>PHYSICOCHIMIE</b>				
<b>ORGANOLEPTIQUES</b>				
Turbidité	ISO 7027-2: 2019	0	NTU	≤ 5
<b>NATURELS</b>				
pH	ISO 10523:2008	7,05		6,5-9
Magnésium	ISO 7980 : 1986	38	mg/l Mg	≤ 50
Calcium	ISO 6058 : 1984	12	mg/l Ca	-
<b>INDESIRABLES</b>				
Nitrates	ISO 6777: 1984	2,056	mg/l NO <sub>3</sub>	≤ 50
Chlore libre	ISO 7393-2 : 2017	0,01	mg/l Cl <sub>2</sub>	≤ 5
<b>MICROBIOLOGIE</b>				
Bactéries aérobies révivifiables à 37°C	ISO 6222 : 1999	98	UFC	< 20/ml

*Les paramètres analysés ont été comparés aux références de qualité des eaux destinées à la consommation humaine suivant la NC 207 : 2018-03.*

**APPRECIATION :** *Présence de nombreux germes.*

**CONCLUSION :** *il est fortement recommandé d'effectuer une désinfection de cette eau avant consommation.*



**ANNEXE 3: TABLEAU PERTES DE CHARGES LINEAIRES**

**Pertes de charge dans les tuyaux plastiques et les tuyaux en acier, H<sub>f</sub>**

Les valeurs du haut indiquent la vitesse de l'eau en m/s.

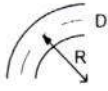

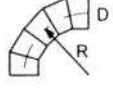

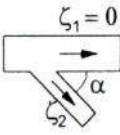
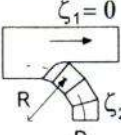
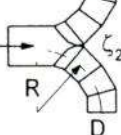
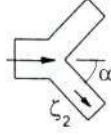
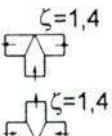
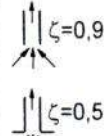
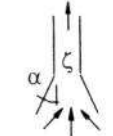
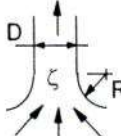
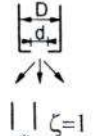
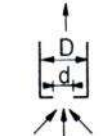
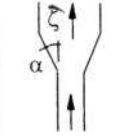
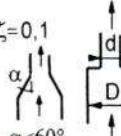
Les valeurs du bas indiquent les pertes de charge en mètres par 100 m de tuyauterie rectiligne.

Quantité d'eau			Tuyaux plastiques*(PELM/PEH PN 10 PELM)				Tuyauterie en acier**			
m <sup>3</sup> /h	Litres/min.	Litres/sec.	Diamètre nominal de la tuyauterie en pouces et diamètre interne en [mm]							
			25 20,4	32 26,2	40 32,6	50 40,8	½" 15,75	¾" 21,25	1" 27,00	1¼" 35,75
0,6	10	0,16	0,49	0,30	0,19	0,12	0,855	0,470	0,292	
			1,8	0,66	0,27	0,085	9,910	2,407	0,784	
0,9	15	0,25	0,76	0,46	0,3	0,19	1,282	0,705	0,438	0,249
			4,0	1,14	0,6	0,18	20,11	4,862	1,570	0,416
1,2	20	0,33	1,0	0,61	0,39	0,25	1,710	0,940	0,584	0,331
			6,4	2,2	0,9	0,28	33,53	8,035	2,588	0,677
1,5	25	0,42	1,3	0,78	0,5	0,32	2,138	1,174	0,730	0,415
			10,0	3,5	1,4	0,43	49,93	11,91	3,834	1,004
1,8	30	0,50	1,53	0,93	0,6	0,38	2,565	1,409	0,876	0,498
			13,0	4,6	1,9	0,57	69,34	16,50	5,277	1,379
2,1	35	0,58	1,77	1,08	0,69	0,44	2,993	1,644	1,022	0,581
			16,0	6,0	2,0	0,70	91,54	21,75	6,949	1,811
2,4	40	0,67	2,05	1,24	0,80	0,51		1,879	1,168	0,664
			22,0	7,5	3,3	0,93		27,66	8,820	2,290
3,0	50	0,83	2,54	1,54	0,99	0,63		2,349	1,460	0,830
			37,0	11,0	4,8	1,40		41,40	13,14	3,403
3,6	60	1,00	3,06	1,85	1,2	0,76		2,819	1,751	0,996
			43,0	15,0	6,5	1,90		57,74	18,28	4,718
4,2	70	1,12	3,43	2,08	1,34	0,86		3,288	2,043	1,162
			50,0	18,0	8,0	2,50		76,49	24,18	6,231





**ANNEXE 4: TABLEAU PERTES DE CHARGES SINGULIERES**

Conduits à section circulaire (diamètre = D)											
	R/D	$\zeta$		R/D	$\zeta$		R/D	$\zeta$		$\alpha$	$\zeta$
	0,5	0,9		0,5	1,3		0,5	1,1		15°	0,1
	0,75	0,45		0,75	0,8		0,75	0,6		30°	0,2
	1,0	0,35		1,0	0,5		1,0	0,4		45°	0,5
	1,5	0,25		1,5	0,3		1,5	0,25		60°	0,7
2,0	0,2	2,0	0,25	2,0	0,2	90°	1,3				
	$\alpha$	$\zeta_2$		R/D	$\zeta_2$		R/D	$\zeta_2$		$\alpha$	$\zeta_2$
	15°	0,1		0,5	1,3		0,5	1,2		15°	0,1
	30°	0,3		0,75	0,9		0,75	0,6		30°	0,3
	45°	0,5		1,0	0,8		1,0	0,4		45°	0,7
	60°	0,7		1,5	0,6		1,5	0,25		60°	1,0
90°	1,3	2,0	0,5	2,0	0,2	90°	1,4				
			$\alpha$	$\zeta$		R/D	$\zeta$		d/D	$\zeta$	
			0°	0,9		0,2	0,2		0,1	2,5	
			15°	0,5		0,5	0,1		2,5		
			30°	0,3		0,8	0,05		2,5		
			45°	0,3		0,6	0,05		2,3		
60°	0,4	0,4	0,05	1,9							
90°	0,5	0,2	0,05	1,5							
	d/D	$\zeta$		$\alpha$	$\zeta$		d/D	$\zeta$	diaphragme	d/D	$\zeta$
	0,1	1,0		5°	0,15		0,1	0,6		1	0
	0,2	0,9		10°	0,25		0,2	0,5		0,9	0,1
	0,4	0,7		15°	0,4		0,4	0,4		0,8	1
	0,6	0,4		30°	0,8		0,6	0,3		0,7	2
	0,8	0,2		45°	0,9		0,8	0,2		0,6	5
				90°	1,0		0,8	0,2		0,6	8

**ANNEXE 5 : CATALOGUE DES CONDUITES**

	<i>Tubes PVC pression</i>			<i>Tubes PE 100 Systèmes Eau</i>		
	<i>DIN 8062 / ISO 161</i>			<i>Din 8074 / ISO 4427</i>		
DN (mm)	D <sub>int</sub> (mm)			D <sub>int</sub> (mm)		
	PN6	PN10	PN16	PN6	PN10	PN16
50	46.4	45.2	42.6	-	-	40.8
63	59.2	57.0	53.6	-	-	51.4
75	70.6	67.8	63.8	69.2	66.0	61.4
90	84.6	81.4	76.6	83.2	79.2	73.6
110	103.6	99.4	93.6	101.6	96.8	90.0
125	117.8	113.0	106.6	115.4	110.2	102.2
140	131.8	126.6	119.2	129.2	123.4	114.6
160	150.6	144.6	136.2	147.8	141.0	130.8
180	----- 188.2	----- 180.8	----- 170.2	166.2	158.6	147.2
200	211.8	203.4	191.6	184.6	176.2	163.6
225	235.4	226.2	212.8	207.8	198.2	184.0
250	----- 296.2	----- 285.0	----- 267.4	230.8	220.4	204.4
280	----- 376.6	----- 361.8	----- 340.6	258.4	246.8	229.2
315	-----	-----	-----	290.8	277.6	257.8
355	-----	-----	-----	327.6	312.8	290.6
400	-----	-----	-----	369.2	352.6	327.2
450			-----	415.4	396.6	368.2
500				461.8	440.8	409.0
560				517.2	494.0	458.2
630				582.0	555.8	515.4

## ANNEXE 6 : FICHES TECHNIQUES POMPES



Agrandir  
l'image

### Pompe Immergée 4" Grundfos SP 5A 44T de 1 à 6 m3/h entre 260 et 130 m HMT Tri 400 V 4 kW

Référence : BA3560TEC

État : Nouveau produit

Pompe Immergée 4" Grundfos SP 5A 44T de 1 à 6 m3/h entre 260 et 130 m HMT Tri 400 V 4 kW

**4 287,20 € HT 5 144,64 € TTC**

1

AJOUTER AU PANIER

AJOUTER POUR COMPARER

Débit de référence	4 m3/h
HMT de référence	208 m
Tension	Triphasé 400 volts
Fréquence	50 Hz
Puissance	4,0 kW

## ANNEXE 7 : FICHES TECHNIQUES GROUPE ELECTROGENE

– **Consommation (charges : 75% ; 50%)** : 1,5 L/h ; 1 L/h  
Capacité du réservoir d'huile : 1.6 L

– **Dimensions : (L x L X P)** : 56,5 cm x 95 cm x 73 cm

– **Poids** : 162.00 kg

– **Garantie**: 6 mois

-3%

5KVA



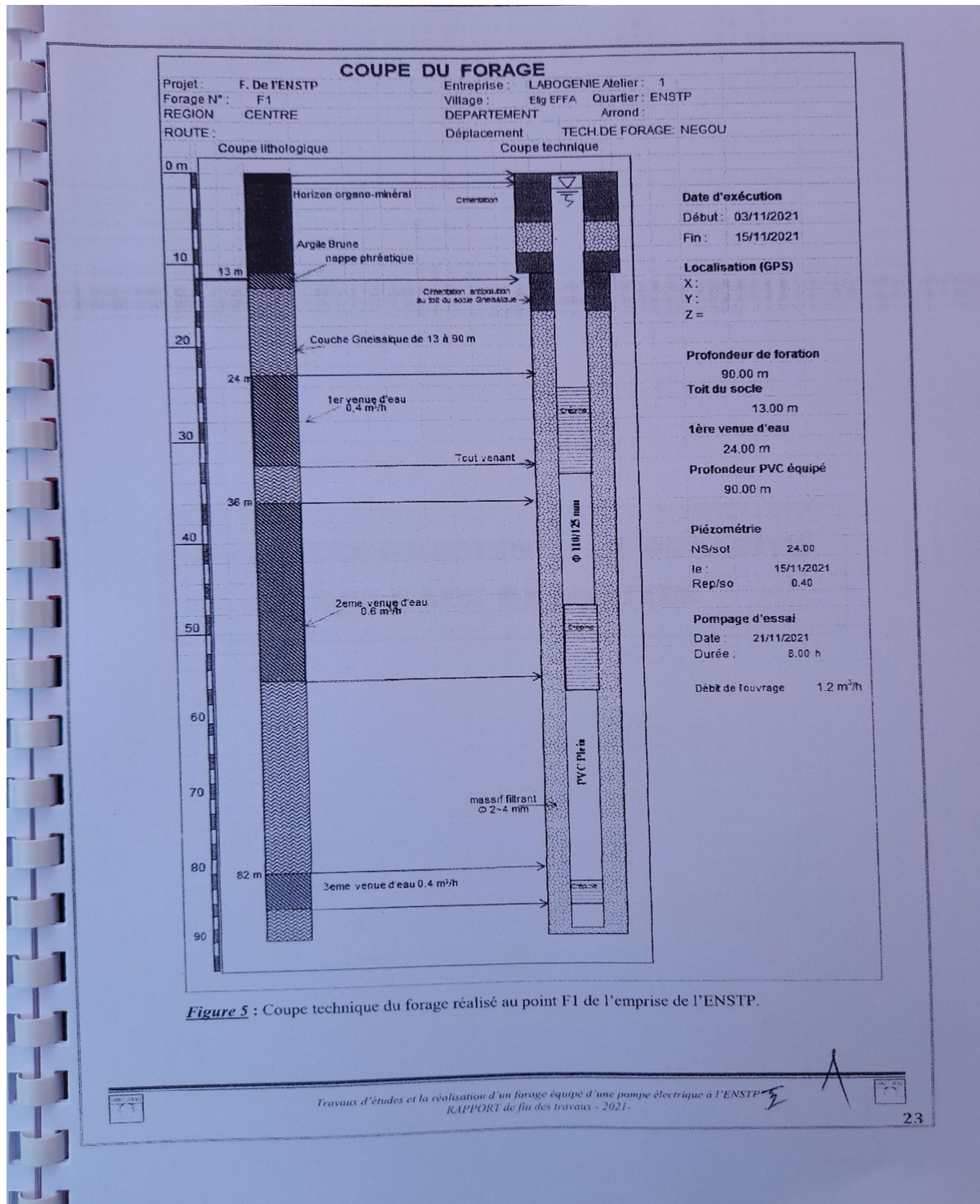
Groupes Electrogènes, Electronique, Électricité

Groupe Electrogène – TOTAL – 5KVA –  
Inverseur – Garantie 6 mois

\*Caractéristiques:

- **Produit**: Groupe Electrogène
- **Référence** : TP250003-1
- **Marque** : TOTAL
- **Puissance nominale** : 4.5 kVA
- **Puissance maximale** : 5 kVA
- **Tension** : 380 V
- **Nombre de phases** : 3
- **Fréquence** : 50 Hz
- **Autonomie** : 8 h en continu
- **Détails moteur** : Diesel / 4 temps / monocylindre / refroidi par air / avec inverseur
- **Tour moteur** : 3 600 rpm
- **Capacité du réservoir de carburant** : 16 L
- **Consommation (charges : 75% ; 50%)** : 1,5 L/h ; 1 L/h  
Capacité du réservoir d'huile : 1.6 L

**ANNEXE 8: COUPE DU FORAGE**



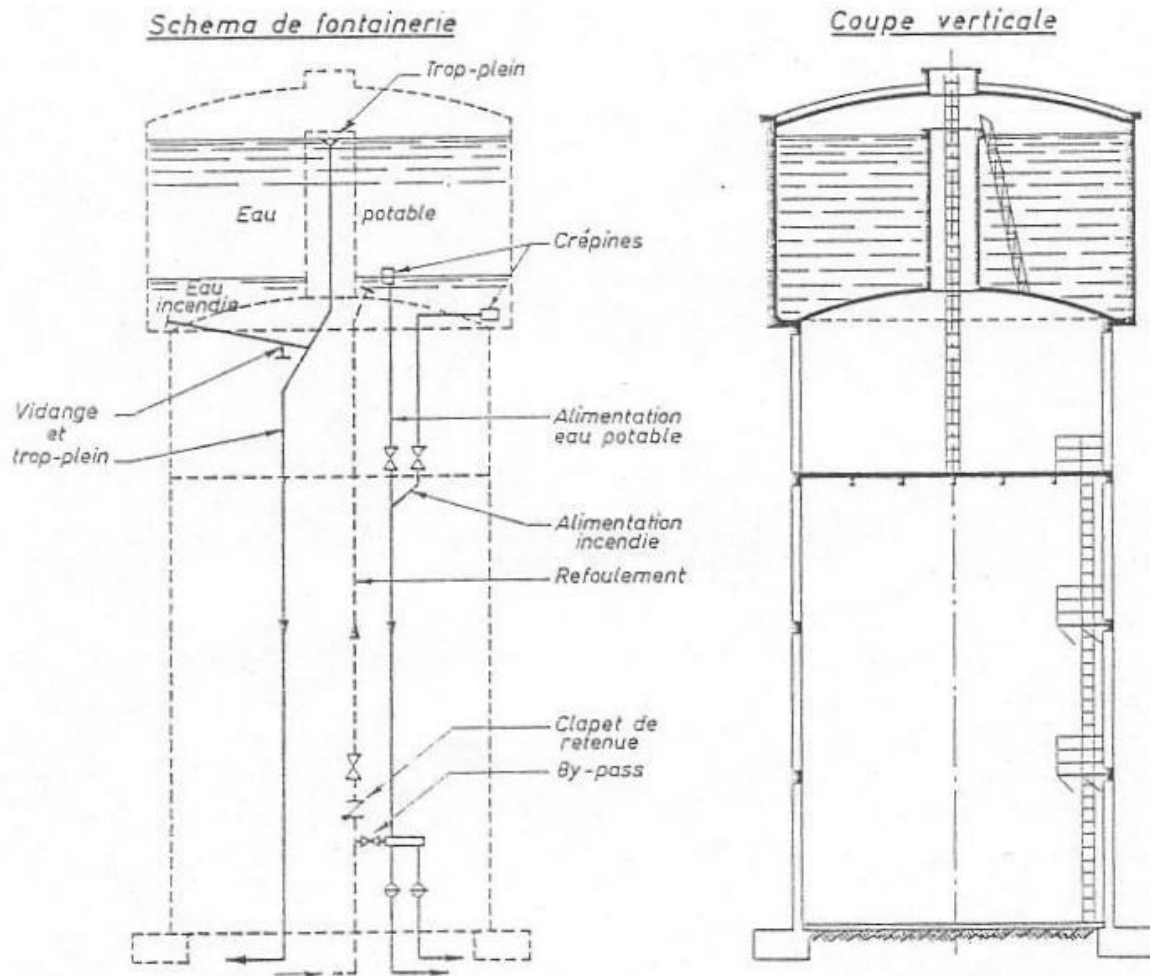
**ANNEXE 9 : CONSTRUCTION DU FORAGE**

**Tableau 5** : récapitulatif des travaux de construction du forage

<b>SITE :ENSTP</b>	<b>Date : 02/11/2021</b>
<b>OUVRAGE</b>	<b>FORAGE</b>
<b>COORDONNEES DU POINT DE FORAGE</b>	<b>Y : 0777320</b>
	<b>X : 0428064</b>
	<b>Z = 758 m</b>
<b>FORATION ET EQUIPEMENT</b>	
<b>1-FORATION</b>	
Les travaux de foration et d'équipement se sont déroulés du 03/11 au 15/11/2021.	
- Foration au rotary ( $\Phi$ 10 1/4") et à l'air comprimé de 0 à 10 m/sol ;	
- Foration au MFT ( $\Phi$ 8 1/2") dans le socle de 10 à 90 m/sol.	
<b>2-NIVEAUX AQUIFERES</b>	
- Arène granitique 10 m/sol, débit à l'air lift 0.2 m <sup>3</sup> /h ;	
- Socle fracturé de 24 m/sol, débit à l'air lift 0,4 m <sup>3</sup> /h ;	
- Socle fracturé de 51 m/sol, débit à l'air lift 0.6 m <sup>3</sup> /h ;	
- socle fracturé à 82 m/sol, débit à l'air lift 0.4 m <sup>3</sup> /h.	
<b>3-EQUIPEMENT</b>	
- Massif de gravier 75 m/sol ;	
- Sabot fond 89.60 m/sol ;	
- PVC crépiné $\Phi$ 110-125, 24-36m, 50-60 et 82-85 m/sol ;	
- PVC plein de pour tout le reste m/sol ;	
- Cimentation couvre de 9,40 à 0 m/sol avec une double couche constitué d'orogonite de 9.40 à 8.60 mètres de profondeur et d'un béton hydraulique de 1,60 à 0 m/sol.	
<b>DEVELOPPEMENT ET ESSAI DE POMPAGE</b>	
<b>1-DEVELOPPEMENT</b>	
Le nettoyage et le développement de l'ouvrage ont été effectués d'abord au train de tiges et ensuite à l'air-lift et de manière systématique. L'eau s'est éclaircie après 25 minutes. Cependant, le développement a duré 1h de temps après une journée de repos de l'ouvrage.	
<b>2-ESSAI DE POMPAGE</b>	
Profondeur pose pompe d'essais 53 et 85 m/sol. Débit constant de pompage de 1.2 m <sup>3</sup> /h	
NS= 24 m/sol, Z= 0,00 m	

Ci-après, la coupe technique du forage réalisé. Elle présente trois schémas dont, le profil lithologique des horizons de sol, la courbe du suivi des vitesses de foration et le schéma technique d'équipement de l'ouvrage.

ANNEXE 10: RESERVOIR EN BETON ARME



## TABLE DES MATIERES

<b>DEDICACE</b> .....	<b>i</b>
<b>REMERCIEMENTS</b> .....	<b>ii</b>
<b>RESUME</b> .....	<b>iii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>iv</b>
<b>SOMMAIRE</b> .....	<b>v</b>
<b>LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS</b> .....	<b>vi</b>
<b>LISTE DES FIGURES</b> .....	<b>vii</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX</b> .....	<b>viii</b>
<b>LISTE DES ANNEXES</b> .....	<b>ix</b>
<b>INTRODUCTION GENERALE</b> .....	<b>1</b>
<b>CHAPITRE I : REVUE DE LITTERATURE ET ETAT DES LIEUX</b> .....	<b>3</b>
<b>INTRODUCTION</b> .....	<b>4</b>
I.1. Généralités sur l'eau potable.....	<b>4</b>
I.1.1. Accès à l'eau potable dans le monde.....	<b>4</b>
a. Définition de l'accès à l'eau potable.....	<b>4</b>
b. Répartition mondiale de l'accès à l'eau potable.....	<b>4</b>
c. Le cas du Cameroun.....	<b>5</b>
I.1.2. Critères de l'eau potable.....	<b>6</b>
I.1.3. Traitement de l'eau potable.....	<b>7</b>
I.1.3.1- Procédés physiques.....	<b>7</b>
a- Le dégrillage.....	<b>7</b>
b- Le tamisage.....	<b>7</b>
c- La décantation simple.....	<b>8</b>
d- La filtration.....	<b>8</b>
e- La flottation.....	<b>8</b>
I.1.3.2- Procédés chimiques.....	<b>8</b>
I.1.3.3- Procédés physico chimiques.....	<b>8</b>
a. La coagulation.....	<b>8</b>



<b>b.</b>	La floculation .....	9
I.1.3.4-	Procédés biologiques .....	9
I.2.	Généralités sur les forages à eau .....	10
I.2.1.	Types de formation géologiques .....	10
a.	Aquifères perchés .....	10
b.	Aquifères libres peu profonds .....	10
c.	Aquifères captifs .....	10
d.	Les zones fracturées .....	11
e.	Socle hydrogéologique .....	11
I.2.2.	Méthodes de forage .....	11
a.	Le forage à la tarière manuelle .....	12
b.	Forage au jet .....	12
c.	« Sludging » .....	12
d.	Forage par battage (forage à percussion) .....	12
e.	Forage rotary et marteau fond de trou .....	12
I.3.	Réseau d'alimentation en eau potable .....	13
I.3.1.	Éléments du réseau d'alimentation en eau potable .....	14
a.	La source .....	14
b.	L'unité de traitement .....	14
c.	La conduite d'amenée .....	14
d.	Le réservoir ou stockage .....	14
e.	Le réseau de distribution .....	15
I.3.2.	Ossature des réseaux de distribution .....	15
I.3.2..1.	Réseaux ramifiés .....	15
I.3.2..2.	Réseau maillé .....	16
I.3.2..3.	Réseaux mixtes .....	17
I.3.3.	Éléments constitutifs d'un réseau de distribution d'eau potable .....	17
I.3.4.	Pression dans le réseau .....	21
I.3.5.	Problèmes rencontrés dans un réseau d'alimentation en eau potable (AEP) ..	21
I.4.	Etat des lieux .....	22
I.4.1.	Environnement de l'étude .....	22

I.4.1.1.	Situation géographique .....	22
I.4.1.2.	Géologie du site .....	24
I.4.1.3.	Hydrologie et climat du site.....	24
I.4.2.	Etats des lieux .....	24
I.4.2.1.	Ouvrages hydrauliques existants.....	24
I.4.2.2.	Conduites .....	25
I.4.2.3.	Qualité de l'eau fournie .....	26
I.4.2.4.	Défaillances recensées .....	26
I.4.2.5.	Propositions d'amélioration.....	26
	<u>Conclusion</u> :.....	26
<b>CHAPITREII : APPROCHE METHODOLOGIQUE.....</b>		<b>27</b>
	<u>Introduction</u> .....	28
2.1.	Matériels.....	28
2.1.1.	Ordinateur et accessoires .....	28
2.1.1.1.	Google Earth .....	28
2.1.1.2.	EPANET version 2.00.....	28
2.1.1.3.	Microsoft Excel .....	29
2.2.	Méthodes .....	29
2.2.1.	Recherche documentaire.....	29
2.2.2.	Visites de terrain .....	30
2.2.3.	Bases de dimensionnement.....	30
2.2.3.1.	Estimation des besoins en eau.....	30
a.	Données démographiques .....	30
b.	Evaluation des besoins d'eau .....	30
2.2.3.2.	Volume de stockage .....	31
2.2.3.3.	Débit de pointe .....	31
2.2.4.	Tracé du réseau .....	32
2.2.4.1.	Conduite d'adduction .....	33
a.	Tracé de la conduite d'adduction .....	33
b.	Dimensionnement.....	34
c.	Vérification du coup de bélier.....	35

2.2.4.2.	Dimensionnement du réseau de distribution .....	36
a.	Conduite de distribution .....	36
b.	Vitesse et pression .....	37
c.	Les pertes de charges .....	37
d.	Rugosité .....	38
e.	Diamètre nominal .....	38
f.	<b>Dimensionnement</b> .....	38
2.2.4.3-	Calcul des débits nodaux .....	40
a.	Détermination du débit spécifique .....	40
b.	Détermination des débits en route .....	41
c.	Détermination des débits aux nœuds .....	41
2.2.4.4-	Paramètres de dimensionnement .....	41
2.2.4.5-	Simulation du fonctionnement du réseau .....	42
2.2.4.5.1.	Nœuds .....	42
2.2.4.5.2.	Conduites .....	42
2.2.4.5.3.	Réservoir .....	43
2.2.5.	Dimensionnement de la pompe et du groupe électrogène .....	43
2.2.5.1.	Dimensionnement de la pompe .....	43
a.	Le débit d'exploitation du forage .....	43
b.	La Hauteur Manométrique Totale (HMT). .....	43
2.2.5.2.	Dimensionnement du groupe électrogène .....	44
2.2.6.	Dimensionnement et construction du forage. ....	45
2.2.6.1.	Choix du point de forage .....	45
a.	Reconnaissance de la zone d'étude .....	45
b.	Reconnaissance géophysique du sous-sol .....	45
2.2.6.2.	Construction du forage .....	46
a.	Foration .....	46
b.	Équipement de l'ouvrage .....	46
c.	Développement .....	46
d.	Essai de débit .....	47
<u>Conclusion</u>	.....	47

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION .....	48
<u>Introduction</u> .....	49
<b>3.1. Résultats du dimensionnement</b> .....	49
3.1.1. Bases du dimensionnement.....	49
3.1.2. Dimensionnement de la conduite d'adduction.....	49
3.1.2.1. Calcul du coup de bélier.....	50
3.1.3. Réseau de distribution.....	50
3.1.3.1. Répartition de la demande aux nœuds.....	51
3.1.3.2. Paramètres de dimensionnement.....	53
3.1.3.3. Dimensionnement du château d'eau .....	55
a- site.....	55
b- Calage du radier .....	56
c- Caractéristiques du réservoir .....	56
3.1.3.4. Résultats de la simulation.....	56
3.1.3.4.1. Après simulation .....	56
a. Les vitesses.....	56
b. Les pressions .....	56
3.1.3.4.2. Rapports de la simulation.....	56
a. Avant correction des diamètres .....	56
b. Après correction des diamètres .....	58
3.1.4 Résultats du Dimensionnement et de la construction du Forage .....	58
3.1.4.1. Le point du Forage .....	58
3.1.4.2. Résultats de la foration.....	59
3.1.4.3. Schéma de captage et mise en place de la colonne de captage .....	59
3.1.4.4. Résultats des essais de pompage .....	60
3.1.4.5. Qualité des eaux .....	60
3.1.5 Choix de la pompe .....	60
3.1.6 Groupe électrogène .....	60
3.2. Discussion des résultats .....	61
3.3. Entretien et accessoires du réseau .....	61
3.3.1 La vidange.....	61

3.3.1.1	Robinet vanne .....	61
3.3.1.2	Purges et désinfection après chaque interruption du service .....	61
3.3.1.3	Lavage du réservoir de stockage.....	61
3.3.2	Compteurs.....	61
3.3.3	Protection de la qualité de l'eau.....	62
3.4.	Evaluation des couts .....	62
3.4.1.	Installation et exploitation du réseau de distribution et de ses accessoires....	62
3.4.2.	Installation de la conduite d'adduction .....	64
3.4.3.	Installation et exploitation de la pompe .....	65
3.4.4.	Installation et exploitation du groupe électrogène .....	65
	<u>Conclusion</u> .....	67
	<b>CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES .....</b>	<b>68</b>
	<b>CONCLUSION GÉNÉRALE.....</b>	<b>69</b>
	<b>PERSPECTIVES .....</b>	<b>69</b>
	<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....</b>	<b>70</b>
	<b>ANNEXES .....</b>	<b>74</b>