

UNIVERSITE CADY AYYAD
FACULTE DE SCIENCE ET TECHNIQUE GUELIZ
Département des sciences de la Terre

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Licence Sciences et Techniques
EAU & ENVIRONNEMENT

Utilisation de logiciel EPANET pour la simulation
hydraulique du réseau d'alimentation en eau
potable du secteur Sidi Youssef Ben Ali
(Marrakech, Maroc)

Réalisé par : AIT SIDI MOHAMED Fatima
AIT ELMOUDDEN Zahra

Encadré par : M. JAFFAL Mohammed
M.ABBID Abdessatare

Soutenu le 24 Juin 2019 devant le jury :

M. JAFFAL Mohammed : (FSTG, MARRAKECH), Encadrant
M.AIT ADDI Abdellah : (FSTG, MARRAKECH), Examineur

Année universitaire 2018/2019

Dédicace

Nous dédions ce Modeste travail

Comme preuve de respect, de gratitude

*à nos chers parents qui sont pour nous une source
d'encouragement et de soutien, Aucun mot ne pourra
décrire vos dévouements et vos sacrifices. Nous les
remercions pour tout ce qu'ils ont fait, que Dieu les
récompense pour tous leurs bienfaits*

A nos chers frères et sœurs

A nos enseignants

A nos amis

*Et à toutes les personnes qui ont contribué de près ou
de loin à la réalisation de ce travail.*

Remerciements

*Au terme de ce travail, Nous tenons à adresser nos remerciements à **M. JAFFAL Mohammed** professeur à la FST de Marrakech et notre encadrant, Pour ses conseils et renseignements, pour sa disponibilité pour avoir accepté de nous encadrer.*

*Nous tenons à adresser nos remerciements à notre encadrant au sein de La RADEEMA et toutes nos expressions de reconnaissance sont présentées aussi à **M. ABBID Abdessatare** Chef de division «Gestion réseau» au département «Exploitation eau» pour son soutien et encouragement et ses conseils, **M. KONDAH Driss** Chef de Département « Exploitation eau » ainsi que **M. ELHOUDAIFI Mohtadi** et **Mme. GUENNOUNI Khadija** et **Mme. ERRAHOUANE Noura** qui n'ont jamais hésité à nous aider durant toute la durée de notre stage.*

Notre profonde gratitude envers les membres du jury, qui se sont libérés de leurs obligations pour juger ce travail, et à tous nos professeurs du département des sciences de la terre de la Faculté des Sciences et Techniques de Marrakech.

SOMMAIRE

| | |
|---|----|
| Liste des figures | 5 |
| Liste des tableaux..... | 6 |
| Liste des abréviations | 7 |
| Introduction générale : | 8 |
| Chapitre 1 : présentation de l'organisme d'accueil :la RADEEMA..... | 9 |
| I. La Régie Autonome de la distribution de l'Eau et d'Électricité | 10 |
| 1. L'Histoire de la RADEEMA : | 10 |
| 2. Le contexte juridique et industriel de la RADEEMA..... | 11 |
| 3. Engagements de la RADEEMA | 11 |
| 4. Synthèse des réalisations de la RADEEMA en 2017..... | 12 |
| 5. L'organisation de la Régie | 12 |
| 6. Département Exploitation Eau..... | 14 |
| Chapitre 2 : Étude bibliographique..... | 17 |
| I. Introduction | 18 |
| II. La simulation hydraulique..... | 18 |
| 1. Intérêts de la simulation dans les réseaux d'AEP | 18 |
| 2. Modèle hydraulique..... | 19 |
| 3. Logiciel Epanet | 19 |
| 3.1 Historiques | 19 |
| 3.2 Définition d'EPANET | 19 |
| 3.4 Spécialités de logiciel | 19 |
| 3.5 Caractéristique principales du logiciel | 20 |
| 3.6 Les étapes de l'utilisation d'Epanet | 20 |
| III. Conclusion..... | 29 |
| Chapitre 3 : Système d'alimentation en eau potable la ville de Marrakech..... | 30 |
| I. Introduction | 31 |
| II. Système d'alimentation | 32 |
| 1. La classification de réseau de distribution : | 34 |
| 2. Les modes de distribution : | 35 |
| 3. Les principaux ouvrages d'un réseau d'alimentation en eau potable | 35 |
| Chapitre 4 : Simulation Hydraulique..... | 38 |

| | | |
|------|---|----|
| I. | Présentation de la zone d'étude..... | 39 |
| 1. | Situation géographique :..... | 39 |
| 2. | Topographie :..... | 39 |
| 3. | La situation démographique..... | 40 |
| 4. | Ressource hydraulique..... | 40 |
| II. | La méthodologie de travail..... | 40 |
| 1. | Méthodologie pour la construction du modèle..... | 40 |
| 1.1 | Réalisation du schéma du réseau..... | 40 |
| 1.2 | Collecte et préparation des données..... | 41 |
| 2. | Spécification des options de simulation..... | 46 |
| 2.1 | Options hydrauliques de simulation..... | 46 |
| 2.2 | Options de temps..... | 46 |
| 3. | Simulation de la consommation..... | 47 |
| 4. | Exécution de la simulation :..... | 48 |
| 5. | Paramètres d'analyse de comportement de réseau..... | 50 |
| 6. | Calage du modèle..... | 51 |
| a. | <i>Fichier de calage</i> | 51 |
| c- | Calage de débits :..... | 52 |
| b. | Calage de pression..... | 53 |
| III. | Conclusion :..... | 54 |
| | Conclusion générale..... | 55 |
| | Annexe..... | 56 |
| | Bibliographie..... | 57 |

Liste des figures

| | |
|--|----|
| Figure 1: Évolution historique de la RADEEMA..... | 10 |
| Figure 2: Organigramme de la RADEEMA..... | 13 |
| Figure 3: Organisation de département d'exploitation d'eau..... | 16 |
| Figure 4: Barre d'outils de dessin du logiciel Epanet..... | 20 |
| Figure 5: Exemple du réseau dessiné sur Epanet..... | 21 |
| Figure 6: Localisation de la ville de Marrakech par rapport à la chaîne du Haut-Atlas..... | 31 |
| Figure 7: Les ressources en eau disponible..... | 33 |
| Figure 8: Schéma d'un réseau de distribution ramifié..... | 34 |
| Figure 9: Schéma d'un réseau de distribution maillé..... | 35 |
| Figure 10 : Délimitation de la zone étudiée sur une image Google Earth..... | 39 |
| Figure 11: Visualisation du réseau d'eau potable étudiée sur Epanet..... | 41 |
| Figure 12: Exemple de saisie des données des nœuds..... | 44 |
| Figure 13: Exemple de saisie des données des tuyaux..... | 44 |
| Figure 14: Exemple de saisie des données des réservoirs..... | 45 |
| Figure 15: Exemple de saisie des données de vanne..... | 45 |
| Figure 16: option hydraulique..... | 46 |
| Figure 17: option du temps..... | 47 |
| Figure 18: Courbe de modulation horaire..... | 47 |
| Figure 19: Excursions de la simulation hydraulique sur EPANET sans erreur..... | 48 |
| Figure 20 : Résultats de l'exécution de la simulation sur Epanet pour la zone de SYBALI..... | 49 |
| Figure 21: Variation de la vitesse au niveau du tronçon 90 sur une durée de 24 heures..... | 50 |
| Figure 22: Variation de la pression au niveau du nœud 64 sur une durée de 24 h..... | 50 |
| Figure 23: Répartition de pression dans les nœuds à l'heure de pointe (13 H)..... | 51 |
| Figure 24: fichier de calage de débit pour le tuyau 44..... | 52 |
| Figure 25: Comparaison des valeurs de débit obtenues par simulation et celles mesurées pour le tuyau 44..... | 52 |
| Figure 26: fichier de calage de pression pour le nœud 63..... | 53 |
| Figure 27: Comparaison des valeurs de pression obtenues par simulation et celles mesurées pour le nœud 63..... | 53 |

Liste des tableaux

| | |
|---|-----------|
| Tableau 1 : Chiffres-clés des réalisations de la RADEEMA d'après son rapport de gestion de 2017. [2] | 12 |
| Tableau 2: Paramètres d'entrée du logiciel Epanet pour les tuyaux..... | 42 |
| Tableau 3: Paramètres d'entrée du logiciel Epanet pour les nœuds..... | 43 |

Liste des abréviations

R.A.D.E.E.MA. : Régie Autonome de Distribution d'Eau et d'Électricité de la ville de Marrakech.

SMD : Société marocaine de distribution.

ONEE : Office National de l'Eau et d'Électricité.

AEP : Alimentation en Eau Potable.

NGM : Nivellement Général du Maroc.

SYBALI : Sidi Youssef Ben Ali.

PVC : Polychlorure de Vinyle.

BP : béton précontraintes

AC : Amiante Ciment.

DN : Diamètre nominal..

PE : Polyéthylène

EN : Européen Norme

ISO : Organisation International de Normalisation

Introduction générale :

L'eau est indispensable à la vie, elle représente une précieuse ressource qui se fait de plus en plus rare. Sa préservation est l'un des enjeux majeurs auquel fait face l'humanité de nos jours car sa durabilité et sa pérennité sont devenues sérieusement préoccupantes face à la demande accrue des populations en cette ressource.

Pour satisfaire, les besoins domestiques des populations dans les agglomérations urbaines et rurales, l'eau est acheminée à l'aide des réseaux d'alimentation en eau potable (AEP). Face à la croissance démographique et aux extensions incessantes de ces agglomérations, la structure initiale des réseaux d'AEP est en constante transformation et élargissement, ce qui complique son fonctionnement.

La simulation d'un réseau d'AEP est une étape préalable incontournable à sa conception. Le logiciel EPANET, développé par US Environmental Agency, permet de réaliser des modélisations des structures d'alimentation en eau potable, d'appréhender leur fonctionnement d'aider à identifier les causes de leurs dysfonctionnements. Les modèles EPANET sont souvent fiables et est capable de simuler les besoins actuelles et future en facilitant la gestion et les extensions des infrastructures hydriques et en minimisant le gaspillage et les abus.

Notre travail se base sur l'utilisation du logiciel EPANET pour réaliser une modélisation hydraulique du réseau d'AEP du secteur Sidi Youssef Ben Ali (SYBA) dont l'objectif est de caractériser certains paramètres (vitesse, pression, etc.).

Le présent mémoire de fin d'étude est subdivisé en quatre chapitres :

- Le premier chapitre est consacré à la présentation de l'organisme d'accueil, en l'occurrence, la Régie Autonome de la Distribution d'Eau et Électricité de Marrakech (RADEEMA).
- Le deuxième chapitre concerne une étude bibliographique sur la thématique abordée dans le cadre de ce stage de fin d'études.
- Le troisième chapitre porte sur l'alimentation de la ville de Marrakech en eau potable.
- Le quatrième et dernier chapitre porte sur la simulation hydraulique et la discussion des résultats réalisés.

Chapitre 1: Présentation de l'organisme d'accueil : La Radeema

Ce chapitre consiste à développer une vision générale sur la régie Autonome de Distribution de l'Eau et d'Électricité, notamment le département d'Exploitation de l'Eau.

I. La Régie Autonome de la distribution de l'Eau et d'Électricité

1. L'Histoire de la RADEEMA :

Avant la création de la RADEEMA la distribution de l'Eau et d'Électricité était gérée séparément. La distribution de l'Électricité a été assurée par la Société d'Électricité de Marrakech (SEM) qui a été créée en 27 juin 1922. Le 17 juillet 1964, la ville de Marrakech a signé un protocole pour le rachat de la concession, laquelle fut confiée à la Société Marocaine de Distribution (SMD). Le 26 Décembre 1970 et suite aux délibérations du conseil communal de la ville de Marrakech, il a été décidé de créer à partir du premier janvier 1971 la Régie Autonome de Distribution d'Eau et d'Électricité de Marrakech dénommée RADEEMA et ce en vertu du Décret n° 2-64-394 du 29 Septembre 1964 relatif aux Régies communales. Par la suite, en janvier 1998 la RADEEMA a pris en charge la gestion du service de l'assainissement liquide. Enfin, le 09 Juillet 2010 la RADEEMA est passée au contrôle d'accompagnement en substitution du contrôle préalable conformément aux dispositions de l'article 18 de la loi 69.00 (Fig. 1).[1]

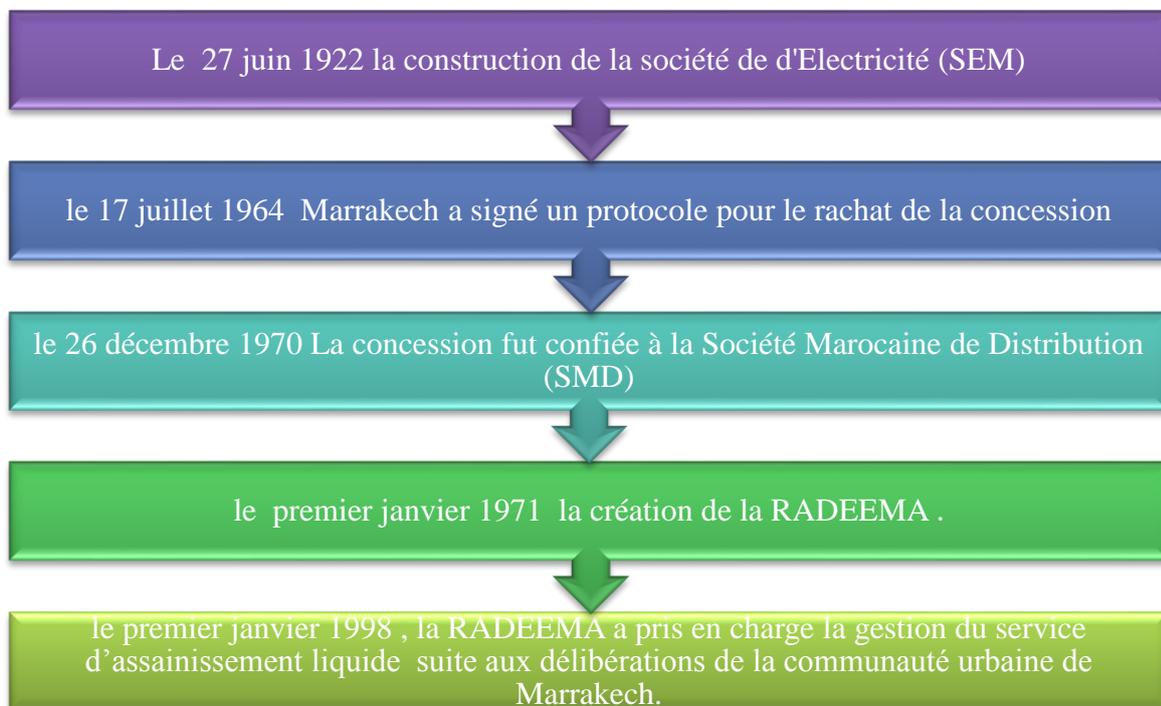


Figure 1: Évolution historique de la RADEEMA

2. Le contexte juridique et industriel de la RADEEMA

La R.A.D.E.E.M.A. est une société publique à caractère commercial, dotée de la personnalité civile et de l'autonomie financière. Son assise juridique repose principalement sur :

- Le Dahir n° 1-59-315 du 23 juin 1960 concernant les collectivités locales.
- Le décret n° 2-64-394 du 29 septembre 1964 relatif aux régies communales dotées de la p Le règlement intérieur en date du 31 décembre 197
- Le Dahir n° 1-03-195 du 11 novembre 2003 portant promulgation de la loi n° 69- 00 relative au contrôle financier de l'État sur les entreprises publiques et autre organismes.
- Le Dahir n° 1-02-124 du 13 juin 2002 portant promulgation de la loi n° 62-99 formant code des juridictions financière. [1]

3. Engagements de la RADEEMA

- ✚ Le maintien de la dynamique d'investissement pour accompagner les besoins en infrastructures de base favorisant le bien-être des citoyens et le développement économique durable ainsi que le soutien des politique de développement humain en facilitant l'accès des population démunies aux services de base.
- ✚ L'ancrage du positionnement de la régie dans le développement durable au niveau local de la réalisation de projet structurants dont l'extension de la capacité de la station de traitement des eaux usées, le séchage solaire des boues, la réutilisation des eaux usées épurées, les plans d'amélioration des rendements des réseaux...
- ✚ L'amélioration de la qualité de service envers les clients notamment (agence en ligne, multi-canal, diversification des canaux d'encaissement, enquête de satisfaction etc.) .
- ✚ L'amélioration de la gestion des services d'eau, d'électricité et d'assainissement liquide par l'optimisation de l'exploitation.
- ✚ Le développement de l'excellence opérationnelle est l'amélioration des processus de la régie, dans le cadre de son système de management intégré QSE.
- ✚ Le renforcement de la proximité avec l'ensemble des parties prégnantes et du positionnement en matière de responsabilité sociale et environnementale.

4. Synthèse des réalisations de la RADEEMA en 2017

La RADEEMA assure la distribution d'eau et d'électricité et la gestion du service d'assainissement liquide, l'épuration et la réutilisation des eaux usées pour environ 1 Million d'habitants de la ville de Marrakech et certaines communes rurales.

L'année 2017 a enregistré l'amélioration continue des performances économiques et financières permettant à la Régie de maintenir son équilibre financier à travers :

- L'amélioration des rendements des réseaux eau potable (77.13%) et d'électricité (94.5%)
- L'augmentation du linéaire des réseaux, il atteint à fin décembre 2017, 9 569 km réparti comme suit :
 - 3 825 km en électricité avec un taux de branchement de 98.7%,
 - 2 871 km en eau potable avec un taux de branchement de 98.35%,
 - 2 873 km en assainissement liquide avec un taux de branchement de 93.9%.
- L'augmentation du nombre de clients de 4% pour atteindre 619 000 à fin 2017 contre 595 000 à fin 2016.

Tableau 1 : Chiffres-clés des réalisations de la RADEEMA d'après son rapport de gestion de 2017. [2]

| | Eau | Électricité | Assainissement |
|---------------------|---------|-------------|----------------|
| Rendement | 77,13% | 95,5 | - |
| Linéaire de réseau | 2871 km | 3788 km | 2830 km |
| Nombre de client | 301766 | 313925 | 290313 |
| Taux de branchement | 98,35% | 98,7% | 93,9 % |

5. L'organisation de la Régie

La RADEEMA est composée de quatre directions : Ingénierie & investissements, Exploitation, Clientèle et Administration & finance et quatre départements Contrôle permanent, Qualité sécurité et environnement, Ressource humaine et Audit interne et management rattaché directement à la direction général (Fig. 2).

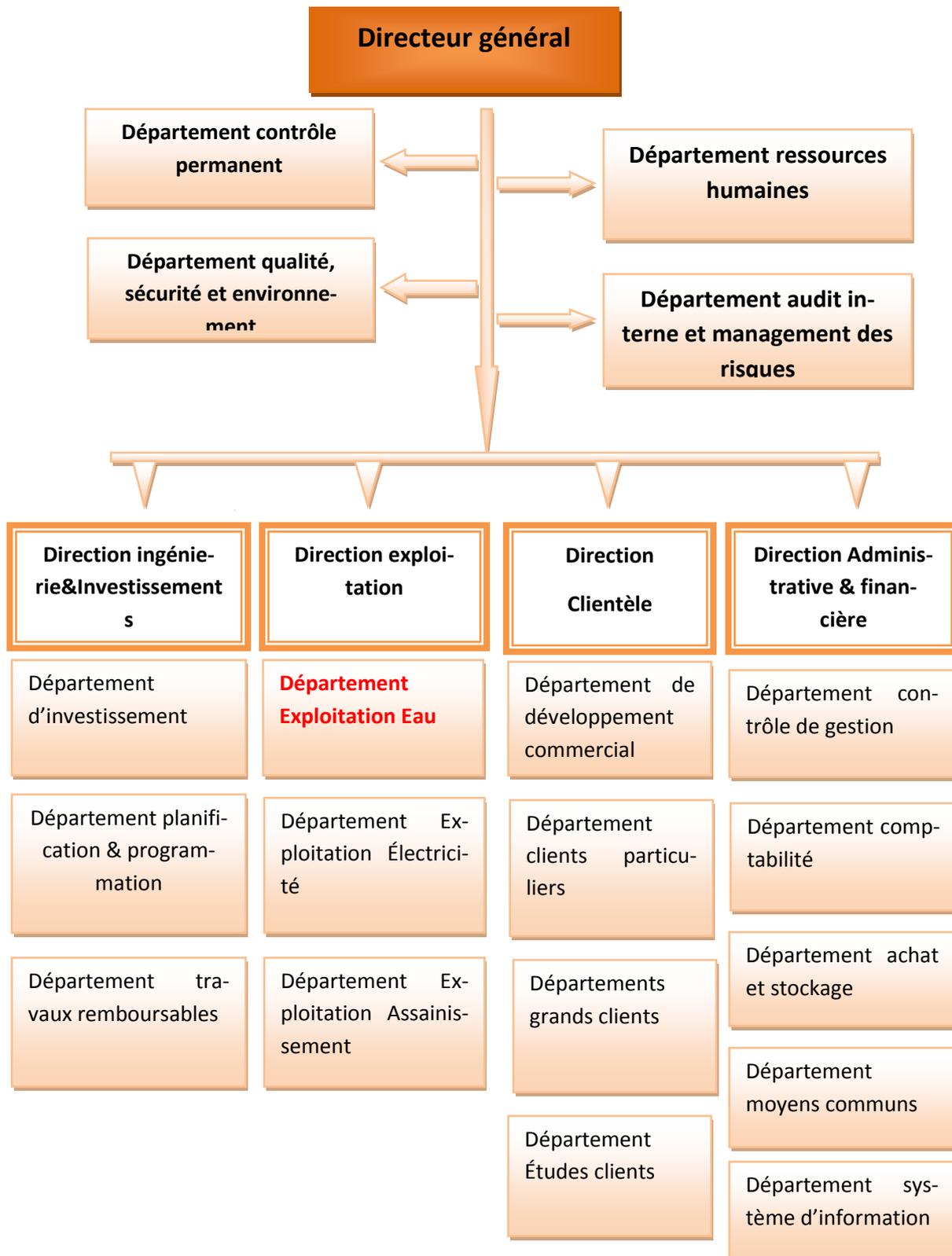


Figure 2: Organigramme de la RADEEMA

6. Département Exploitation Eau

Le présent stage de fin d'étude s'est déroulé au sein de la direction d'exploitation, au niveau du département Exploitation Eau. Ce dernier est subdivisé en deux divisions (Fig. 3) :

- Division Conduite et Réseau
- Division Mesure et Amélioration du rendement.

a. Division Conduite Réseau

La Division Conduite Réseau est subdivisée en trois principaux services : Service réseau de distribution d'eau, Service Exploitation Feeders et réservoirs et Service Entretien curatif et Normalisation du réseau.

➤ Service réseau de distribution d'eau

Ses principaux rôles :

- Réparation des fuites d'eau,
- Mise en exploitation des canalisations neuves,
- Suivi et contrôle du fonctionnement des canalisations (diagnostic réseau, proposition de renforcement, de réhabilitation et de renouvellement ...),
- Suivi de la situation du patrimoine des canalisations,
- Enquêtes réseau (localisations, coupures programmées...),
- Modélisation du réseau,

➤ Service Exploitation Feeders et réservoirs

Il assure les rôles suivants :

- Mise en exploitation des grands ouvrages,
- Suivi, contrôle de fonctionnement et entretien des réservoirs et des feeders,
- Entretien des équipements hydrauliques et électromécaniques,
- Calage et maintenance des stabilisateurs de pression,
- Entretien des ouvrages de stockage.

➤ Service Normalisation et mise à niveau

Il assure différents rôles :

- Établissement des états de performance,
- Accueil et réception des réclamations,
- Organisation et gestion de la performance hebdomadaire,
- Coordination entre intervention et réparation,

b. Division Mesures et Amélioration de rendement

La division Mesure et Amélioration de rendement est subdivisée en deux principaux services : Service Amélioration des Rendement et Service Mesure et détection des fuites.

Elle a pour objectif :

- Le suivi des équipes de recherche et détection des fuites,
- La réalisation des campagnes de mesure de débit et de pression,
- Le contrôle et la vérification du réseau d'eau potable.

➤ **Service Amélioration des Rendements**

Il assure les tâches suivants ;

- Sectorisation du réseau et suivi des volumes distribués par secteur,
- Contrôle des poteaux incendie,
- Suivi des compteurs généraux et résidences fermées,
- Suivi et contrôle des volumes livrés par L'ONEE,
- Mise en place et suivi de la sectorisation,
- Optimisation des niveaux de pression,
- Diagnostic des feeders et suivi et amélioration des performances.

➤ **Service mesure et détection des fuites**

Ce service assure les rôles suivants ;

- Travaux de recherche systématique et de pré-localisation des fuites,
- Campagnes de mesures de débits de nuit et des débits distribués,
- Mesures et métrologies,
- Surveillance des installations,
- Préparation des rapports d'activités mensuels et annuels.

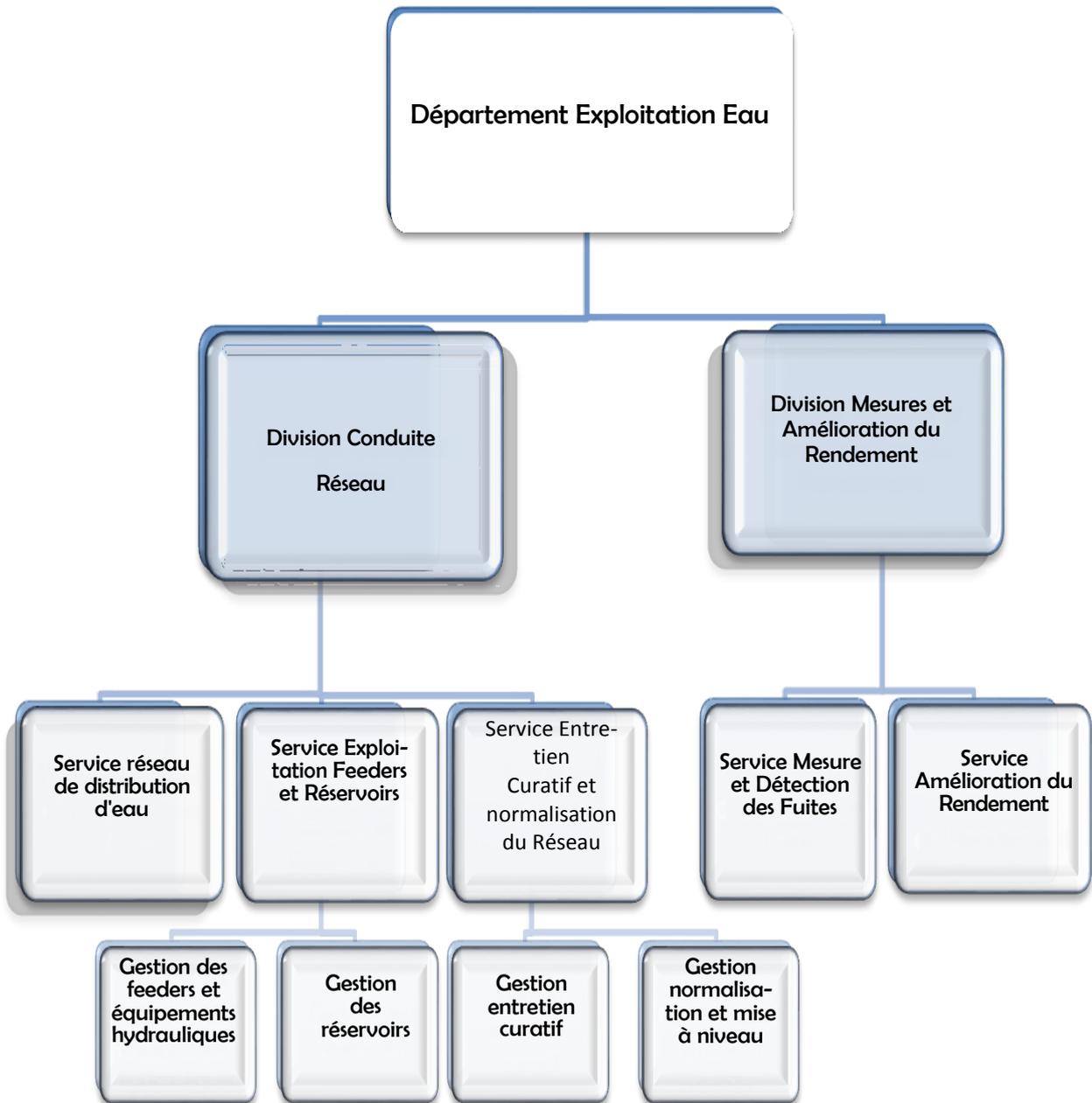


Figure 3: Organisation de département d'exploitation d'eau

Chapitre 2 : Etude bibliographique

I. Introduction

Ce chapitre est consacré à la présentation d'une étude bibliographique sur le sujet abordé dans le cadre du présent stage. L'objectif de cette étude est d'expliquer le principe de la modélisation hydraulique et son utilité dans la gestion des réseaux d'alimentation en eau potable. Un intérêt particulier a été donné au logiciel **Epanet** qui représente l'élément clé de cette modélisation et l'outil indispensable à sa mise en œuvre. L'analyse documentaire effectuée porte également sur l'ensemble des composantes d'un système de distribution.

II. La simulation hydraulique

La simulation est une représentation logique et mathématique du comportement du système réel dans un contexte donnée et une problématique donnée, le modèle prend dans la majorité des cas la forme d'une série d'hypothèse concernant le fonctionnement du système et qui sont exprimé à l'aide de la relation mathématique, logique ou symboliques entre les entités. Ces modèles sont dite analytiques. Lorsque le système est assez complexe à simuler de manière analytique, les praticiens utilisent un modèle descriptif qui détaille les différents événements et actions décrivant son comportement est un outil utilisé en recherche scientifique pour étudier les résultats d'une action sur un élément sans réaliser l'expérience sur l'élément réel, représenté dans le cas de la présente étude par le réseau d'alimentation en eau potable. Cette opération est assurée par une formulation mathématique de l'élément réel et de l'action qu'il subit. Elle nécessite la collecte d'une énorme quantité de données sur l'élément étudié.

1. Intérêts de la simulation dans les réseaux d'AEP

La simulation numérique est une étape fondamentale dans la conception des bases de données utiles pour la gestion du réseau d'eau potable .Elle permet de reproduire le monde réel avec un certain degré de fidélité dépendamment de sa complexité.

Dans le domaine des réseaux de distribution d'eau potable, les modèles hydrauliques accordent un rôle fondamental à la complexité topologique, à l'expansion incessante de ces réseaux et à leur comportement dynamique.

La simulation hydraulique permet de détermine les caractéristiques d'un réseau telles que la pression en chaque point de celui-ci, le sens d'écoulement, le débit aux points de fonctionnement de l'ouvrage (réservoir, pompe, régulateur, etc.).

2. Modèle hydraulique

Le modèle hydraulique se base sur les paramètres de fonctionnement d'un réseau, en particulier le débit, le sens d'écoulement, la perte de charge dans les canalisations ainsi que la pression en chaque point. Les logiciels permettent de modéliser tous les éléments d'un réseau : réservoirs, régulateurs, pompes, etc. La représentativité d'un modèle dépend de la qualité des informations qui y sont intégrées. La phase préalable de collecte des données est donc essentielle. La réalisation d'une campagne complète de mesures sur le terrain permet le calage du modèle et sa validation.

De nos jours, les outils de simulation sont devenus incontournables à la gestion des réseaux d'eau potable, de plus en plus. Les gestionnaires ont à leur disposition une large gamme de modèles pour mieux gérer, concevoir, suivre dans le temps, l'état du réseau et la qualité de l'eau qui transite dans ce dernier et de prévoir des réparations.

3. Logiciel Epanet

3.1 Historiques

Le logiciel Epanet est né suite à une initiative du Congrès des États-Unis qui visait à protéger les ressources naturelles du pays. Dès lors, l'EPA (Environmental Protection Agency) a été chargée de développer des techniques permettant de mieux appréhender les écoulements et les transformations de l'eau dans un réseau d'adduction d'eau potable.

Depuis 1993, le logiciel est disponible gratuitement pour tous les bureaux d'études et les sociétés d'affermage qui souhaitent l'utiliser. Enfin, le logiciel a connu des améliorations depuis sa création. La dernière version date de l'année 2001. [3]

3.2 Définition d'EPANET

EPANET est un logiciel de simulation du comportement hydraulique et de la qualité de l'eau sur de longues durées dans les réseaux sous pression. [3]

3.4 Spécialités de logiciel

Le logiciel possède les mêmes fonctionnalités et possibilités que les autres logiciels de simulation des réseaux d'eau potable. Il présente une convivialité au niveau de son interface qui permet de le rendre assez facilement accessible.

3.5 Caractéristique principales du logiciel

- ✚ Logiciel gratuit ;
- ✚ Dimensionnement de réseaux ;
- ✚ Taille de réseau illimitée ;
- ✚ Choix de différentes formules de calcul des pertes de charge ;
- ✚ Régulation des pressions dans le réseau ;
- ✚ Simulation de différents types de vannes et clapets ;
- ✚ Géométrie des réservoirs aux formes variées possible ;

3.6 Les étapes de l'utilisation d'Epanet

Les étapes classiques de l'utilisation d'Epanet pour simuler un système de distribution d'eau sont les suivantes (Fig. 4 et 5) : [4]

- ✚ Dessiner un réseau représentant le système de distribution.
- ✚ Saisir les propriétés des éléments du réseau.
- ✚ Décrire le fonctionnement système.
- ✚ Sélectionner un ensemble d'options de simulation.
- ✚ Lancer une simulation hydraulique ou une analyse de la qualité.
- ✚ Analyse de la qualité.
- ✚ Visualiser les résultats d'une simulation.

Le dessin du réseau d'AEP sous Epanet se fait à l'aide de la barre d'outils suivante :

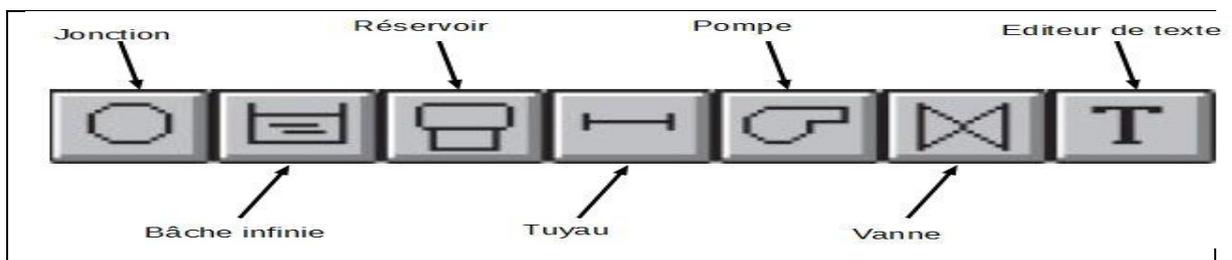


Figure 4: Barre d'outils de dessin du logiciel Epanet

Les outils de cette barre permettent d'assurer les fonctions suivantes :

Jonction : (ou Nœud de demande) Ce sont des points du réseau où les arcs se rejoignent. Il s'agit des points d'entrée ou de sortie d'eau et peuvent ne pas avoir de débit.

Bâche infinie : Ce sont des nœuds représentant une source externe de capacité infinie permettant de modéliser des lacs, des couches d'aquifère ou encore des arrivées d'eau extérieures.

Réservoir : Ce sont des nœuds avec une capacité de stockage, dont le volume d'eau stocké peut varier au cours du temps. Les données de base pour les réservoirs sont : l'altitude du radier, le diamètre, le niveau initial, minimal et maximal de l'eau et la qualité initiale de l'eau.

Tuyau : Ce sont des arcs qui transportent l'eau d'un point du réseau à un autre. L'eau s'écoule alors de l'extrémité qui a la charge hydraulique la plus élevée vers celle où cette charge est la plus faible.

Pompe : Les pompes sont des arcs qui ajoutent de l'énergie à un fluide et augmentent ainsi sa charge hydraulique.

Vanne : Les vannes sont des arcs qui limitent la pression ou le débit en un point précis du réseau.

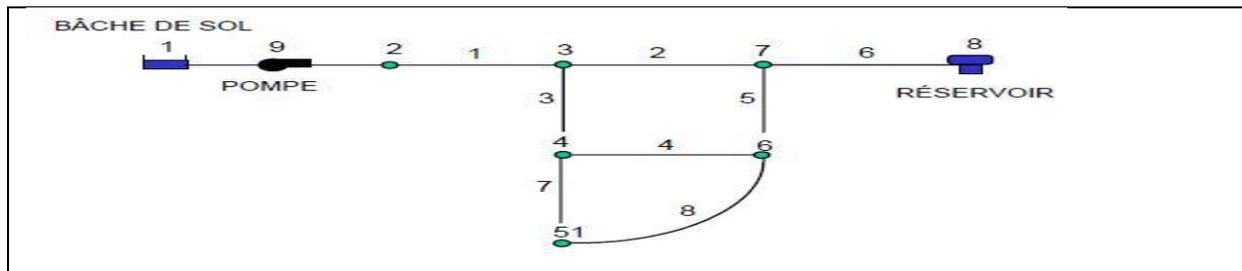


Figure 5: Exemple du réseau dessiné sur Epanet

Une fois, le dessin du réseau est terminé, on passe à l'étape de saisie des données.

- Saisir les propriétés des éléments de réseau.

Cette étape est menée par la collecte de différentes données physiques descriptives et dynamiques relatives aux éléments du réseau. [4]

a. Conduites (les tuyaux) :

Les conduits sont des arcs qui assurent l'écoulement de l'eau d'un point à un autre de réseau. Il existe plusieurs types de conduites qu'ils sont différenciés selon le matériau principal qui constitue leur structure. [5], [8]

- **La nature des conduites :**

Fonte : La fonte est un produit sidérurgique à base de fer et de carbone.

- ✓ On distingue la fonte grise dont les conduites sont coulées ou centrifugées.
- ✓ Les effets de flexion sont difficilement supportés par ces tuyaux, d'où la limitation de leur longueur (6m max).
- ✓ Un autre type de fonte a été développé grâce à l'introduction du magnésium dans la fonte en fusion. Il est connu sous le nom de fonte ductile.

Acier : L'acier est un produit sidérurgique à base de fer et de carbone

- ✓ Les conduites en acier se font en tout diamètre par soudure.
- ✓ L'épaisseur des parois varie en fonction de la pression de service envisagée
- ✓ L'acier étant très sensible à la corrosion, des revêtements intérieurs et extérieurs de bonne qualité sont indispensables pour assurer une longévité acceptable.
- ✓ Dans les terrains agressifs, il faut prévoir une protection cathodique (qui maintient la canalisation à un potentiel qui empêche l'attaque chimique des agents extérieurs ou intérieurs)

Béton : Suivant le mode de fabrication, il existe plusieurs types de tuyaux :

- Tuyau en béton armé (centrifugé ou vibré) : utilisé pour des pressions de service faibles.
- Tuyau à âme tôle en acier: possède des caractéristiques mécaniques beaucoup plus élevées et il se prête à des variations très larges pour tenir compte des contraintes de pression
- Tuyau en BP (béton précontraint)

Amiante ciment : Les tuyaux en amiante ciment sont fabriqués par enroulement sous forte pression autour d'un manchon d'acier à partir d'un mélange humidifié de ciment et de fibres d'amiante. Ces tuyaux étaient très utilisés essentiellement pour les diamètres (≤ 500 mm).

Ils représentent près de 70 % des réseaux de distribution d'eau potable au Maroc.

- ✓ L'intérêt principal des tuyaux en amiante ciment réside dans la rugosité très faible des parois internes qui assure des pertes de charge plus faibles. Les pièces de raccord utilisées sont celles des tuyaux en fonte.
- ✓ Les avantages de l'amiante ciment est sa haute résistance à l'agressivité des eaux et du sol (sauf en terrain acide).

Les Matières plastiques synthétiques :

Les types de tuyaux en matière plastique les plus utilisés sont le **polychlorure de vinyle (PVC)** et le **polyéthylène (PE)**.

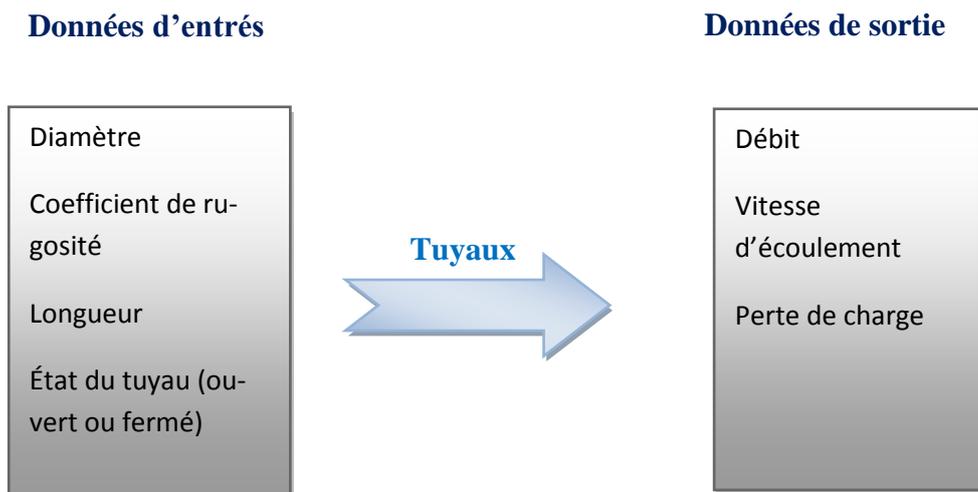
- **Polychlorure de vinyle(PVC) :**

- ✓ Canalisation idéalement lisse qui permet une perte de charge en moyenne 40% plus faible que celle en fonte
- ✓ Plus résistant à la corrosion et présente une forte inertie électrique.
- ✓ Les canalisations en PVC les plus utilisées ont un diamètre compris entre 50 et 400 mm.

- **Polyéthylène (PE) :**

- Le PE est un polymère thermoplastique, non cassant, plus ou moins souple, résistant aux chocs, et fortement inerte chimiquement.
- Pour l'eau potable, on utilise du PE pur (non recyclé),.

Les données saisies pour les tuyaux :



- **Diamètre Nominal des conduites :**

Le diamètre nominal est la première donnée physique des conduites à saisir dans Epanet. Ce paramètre désigne le diamètre intérieur d'un tube. Selon la norme EN ISO 6708, le diamètre nominal est indiqué par les lettres DN suivies d'un nombre sans unité correspondant au diamètre intérieur en millimètres.

- **Rugosité des conduites :**

La rugosité est la deuxième donnée physique à saisir pour les conduites, elle renseigne sur l'état des parois en contact avec le fluide. Elle agit sur les frottements de surface et dépend du diamètre des conduites. [7]

- **La rugosité absolue (e) :** est la hauteur moyenne des aspérités en (mm).
 - Pour le Béton $e=1\text{ mm}$ pour les conduites de diamètre de 600
 - Pour PVC $e=0.5\text{ mm}$ pour les conduites de diamètre de 315, 225 et 160
 - Pour AC $e=1.5\text{ mm}$ pour les conduites de diamètre 300, 200 et 150.

- **Longueur des conduites :**

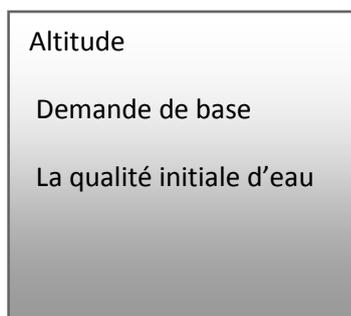
Le troisième paramètre à introduire pour les conduites est leur longueur en mètre.

b. Les nœuds

Ce sont des points de réseaux où les arcs (les tuyaux) se rejoignent, ce sont des points d'entrée ou de sortie d'eau.

Les données à saisir pour les nœuds sont :

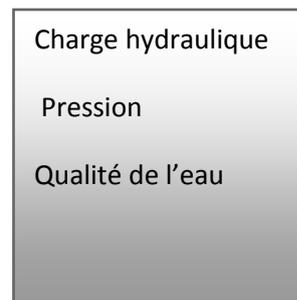
Les données d'entrées



Nœuds



Données de sorties



- **Altitudes des nœuds :**

Son unité est le mètre, c'est la première caractéristique à saisir pour un nœud. C'est l'élévation verticale d'un lieu par rapport à un niveau de base.

- **Demande de base :** paramètre propre aux nœuds, il s'agit d'insérer la demande en eau dans chacun d'eux en l/s. La détermination de la demande de base des nœuds nécessite la réalisation d'une sectorisation et délimitation commerciale des consommations.

Avant de calculer demande de base il faut d'abord calculer le besoin en eau.

Besoins en eau : les besoins sont délicats, car ils peuvent varier d'une région à une autre ou même au sein de la même agglomération en fonction du temps, les besoins en eau son lies au type de dotation [9]

Dotation

+ Dotation domestiques :

$$\text{Dotation de populations branchées} = \frac{\text{Consommation population branchée}}{\text{population branchée (habitant)}}$$

On peut admettre une dotation de 30 à 60 litres/jour/habitant pour les petites agglomérations et 100 à 120 l/j/hab pour les agglomérations importantes.

$$\text{Dotation de population non branchées} = \frac{\text{Consommation des bornes fontaines}}{\text{Population non branchée hab}}$$

+ Dotation industrielle :

La dotation industrielle = la consommation industrielle /la population totale de l'agglomération (l/j/hab).

+ Dotation administrative et communale administratifs :

$$\text{Dotation administratif et communale} = \frac{\text{Consommation administrative et communale (l/j)}}{\text{Population totale (hab)}}$$

Consommation

$$\text{La consommation (m}^3\text{/s)} = \frac{(\text{population}) \cdot \text{Dot}}{1000}$$

La consommation totale (ct) est la somme de la consommation des deux populations (branchée et non branchée) :

$$\text{Ct} = \text{CPB} + \text{CPNB}$$

Avec :

$$\text{CPB : consommation de population branchée} = \frac{\text{P.Db.Tb}}{1000}$$

CPNB : consommation de population non branchée

DB : dotation de population (L/hab/J)

Tb : taux de branchement

Besoin à la distribution :

✚ Besoin moyen à la distribution :

$$Bm = \frac{Ct}{(3,6.24.Rr)}$$

Avec Rr : le rendement du réseau (%) = 77,13%

Ct : la consommation totale (m³ /J)

✚ Besoin du nœud de distribution :

$$Bnd = kp. Bm$$

Kp : coefficient de pointe

La consommation n'est pas constante tous les jours de l'année ; elle subit des fluctuations selon les mois de l'année, selon les semaines du mois, selon les jours de semaine et selon les heures de la journée. Cette variation reflète dans le temps le rythme des activités humaines.

C'est pour cela qu'on a le coefficient de pointe

Coefficient de pointe journalier : Kpj est le rapport du volume moyen des trois journées successives les plus chargées de l'année sur le volume moyen annuel.

Généralement il varie entre 1,3 et 1,6

Le coefficient de pointe horaire : Kph est le rapport du volume moyen de l'heure la plus chargée d'une journée par le volume moyen de cette journée.

c. Les réservoirs

Sont des nœuds avec une capacité de stockages, dont le volume d'eau stocké varie au cours du temps.

Les données de bases pour les réservoirs sont :

Les données d'entrées

- l'altitude du radier (où le niveau d'eau est zéro).
- le diamètre (ou sa forme s'il n'est pas cylindrique).
- niveaux initial, minimal et maximal de l'eau.
- la qualité initiale de l'eau.



Les données de sortie

- la charge (altitude de l'eau)
- la pression (niveau de l'eau)
- la qualité de l'eau

- **L'altitude du radier :**

Ce champ correspond à la hauteur à laquelle se situe la base de réservoir qui constitue une référence pour les autres points.

d. Les pompes

Les pompes sont des arcs qui ajoutent de l'énergie à un fluide et augmentent ainsi sa charge hydraulique.

Données d'entrées

- Les nœuds d'aspiration et de décharge
- La courbe caractéristique



données de sorties

- le débit
- le gain de charge hydraulique.

- **Les nœuds d'aspiration** correspondent aux points d'entrée de l'eau dans la pompe.
- **Les nœuds de décharge** représentent les points de refoulement d'eau par la pompe.

- **La courbe caractéristique** est la courbe principale qui permet de comprendre comment fonctionnent une pompe, elle représente le rapport entre la charge et le débit qu'une pompe fournit à sa vitesse nominale.

e. Les bâches :

Sont des nœuds représentant une source externe de capacité infinie. Elles sont utilisées pour modéliser des éléments tels que les lacs, les fleuves, les couches aquifères souterraines ou les arrivées de réseaux extérieurs.

Données d'entrées

-La charge totale
(égale au niveau de la surface de l'eau si la bâche infinie n'est pas sous pression)

-la qualité initiale



Données de sorties

Aucune propriété n'est calculée dans la simulation.

f. Les vannes

Les vannes sont des arcs qui contrôlent, arrêtent ou modifient la pression ou le débit en un point précis du réseau.

Les données d'entrées

- Le diamètre

-La consigne de fonctionnement et l'état de la vanne



Les données de sortie

-Le débit

-La perte de charge hydraulique

Les différents types de vannes qu'offre EPANET sont :

- Vanne stabilisatrice Aval

- Vanne Stabilisatrice Amont
- Vanne Brise-Charge ou Réducteur de Pression
- Vanne Régulatrice de Débit ou Limiteur de Débit
- Vanne Diaphragme
- Vanne d'Usage Général

Chaque type de vanne a une consigne de fonctionnement différente décrivant son point de fonctionnement (la pression pour les Vannes Stabilisatrices Aval et Stabilisatrices Amont ; la chute de pression pour les Vannes Réducteurs de Pression ; le débit pour les Vannes Régulatrices de Débit.

Lors de notre visite aux réservoirs de la RADEEMA nous avons observé d'autres types des vannes à savoir, telles que la vanne à opercule, la vanne papillon, la vanne de régulation.

g- Courbe de modulation

Pour lancer la simulation du comportement du système, il faut créer une courbe de modulation. A chaque intervalle de temps (variation d'une heure pendant 24h), nous avons attribué une valeur multiplicative ou coefficient de modulation qui se calcule par la relation suivante :

$$\text{Coefficient de modulation} = \frac{\text{débit horairel}}{\text{moyenne de tout les débits horaire}}$$

➡ Une fois les données nécessaires sont toutes intégrées à la base de données, on peut lancer la simulation.

III. Conclusion

La simulation hydraulique un outil de simulation numérique des réseaux d'AEP. Il est doté d'un module de calcul puissant qui permet la résolution d'équations complexe relative au réseau d'AEP modélisé et à son mode de fonctionnement. Le logiciel disposer également d'une interface graphique permet à l'utilisateur de mener les différentes étapes de la simulation de façon interactive et de visualiser les résultats de la modélisation hydraulique.

Chapitre 3 :
Système d'alimentation en eau potable
de la ville de Marrakech

I. Introduction

La ville de Marrakech est située au pied de la chaîne montagneuse du Haut-Atlas qui joue un rôle primordial dans son approvisionnement en eau potable (Fig. 6). En effet, les eaux issues de fonte des quantités importantes de neige qui s'accumulent sur les reliefs de cette chaîne contribuent significativement aux remplissages des barrages qui abritent la majeure partie des ressources hydriques mobilisées pour subvenir aux besoins de la cette ville. Marrakech est le chef-lieu d'une région dont la superficie est de l'ordre de 230 kilomètres-carrés avec pour une population de 1 330 468 habitants. Pour desservir cette population en eau potable, un réseau de canalisations a été mis en place. Ce dernier est sous règlementation provinciale.

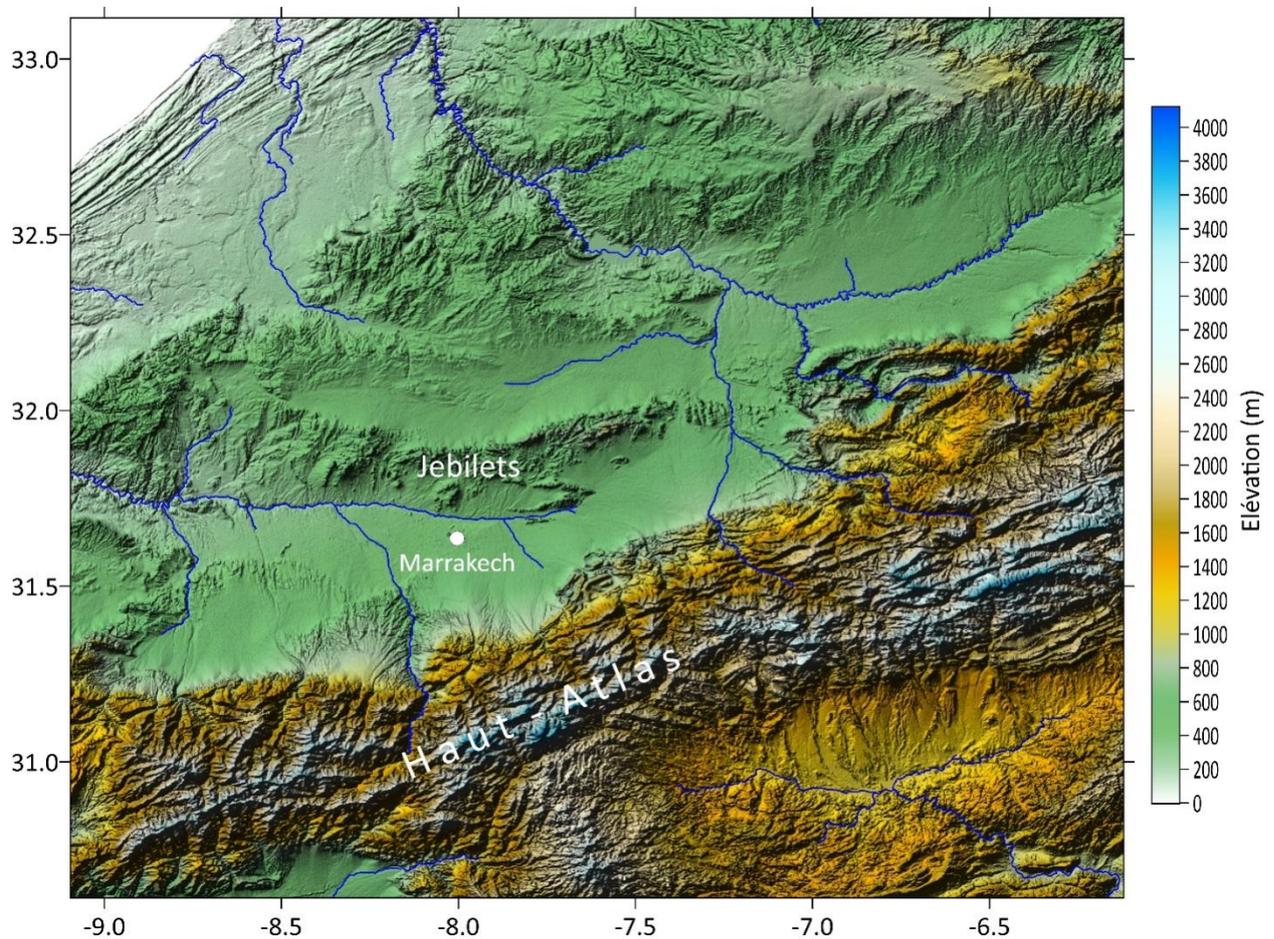


Figure 6: Localisation de la ville de Marrakech par rapport à la chaîne du Haut-Atlas

II. Système d'alimentation

Les ressources hydriques mobilisées pour l'AEP de la ville Marrakech englobent des eaux de surface, des souterraines et des eaux de secours (Fig. 7) (RADEEMA, 2017). [1]

Les eaux de surfaces

Les eaux de surface sont mobilisées à partir du barrage Sidi Driss qui est lui-même alimenté par le barrage Hassan Premier. Elles sont acheminées à partir du canal Rocate (118 km de longueur et 12 m³/s de capacité de transit) et sont traitées au niveau de la station de traitement de l'ONEE. La prise en eau brute de la station de traitement est située dans la partie aval du canal, au kilomètre 112 à une distance de 1,7 km de la station de traitement de l'ONEE dont la capacité de production est de 3300 l/s.

Les eaux souterraines

Elles proviennent de 35 captages, forages et drains dispersés géographiquement de l'Est à l'Ouest de la ville, sur un rayon maximal de 35 km.

Les captages d'eau souterraine se situent à Agdal, Issil, Ourika, Ménara I et Ménara II. Le débit total équipé s'élève à 1 734 l/s.

Les eaux souterraines sont acheminées à partir de 3 champs captant : Issil, Agdal et Ourika et de trois injections directes sur le réseau actuel (Issil et Ménara 1 et 2).

Les ressources de secours

Les eaux de l'Oued N'Fis sont mobilisées à partir du barrage Lalla Takerkoust. La prise d'eau pour l'alimentation de la station de traitement est réalisée sur le bassin du puits de chute situé à la sortie de la Galerie de transfert des eaux du barrage vers les périmètres irrigués de Marrakech. Elle est utilisée en cas de problème au niveau du canal de rocade (baisse du niveau d'eau dans le canal ou pollution accidentelle, fortes charges en suspension, etc.).

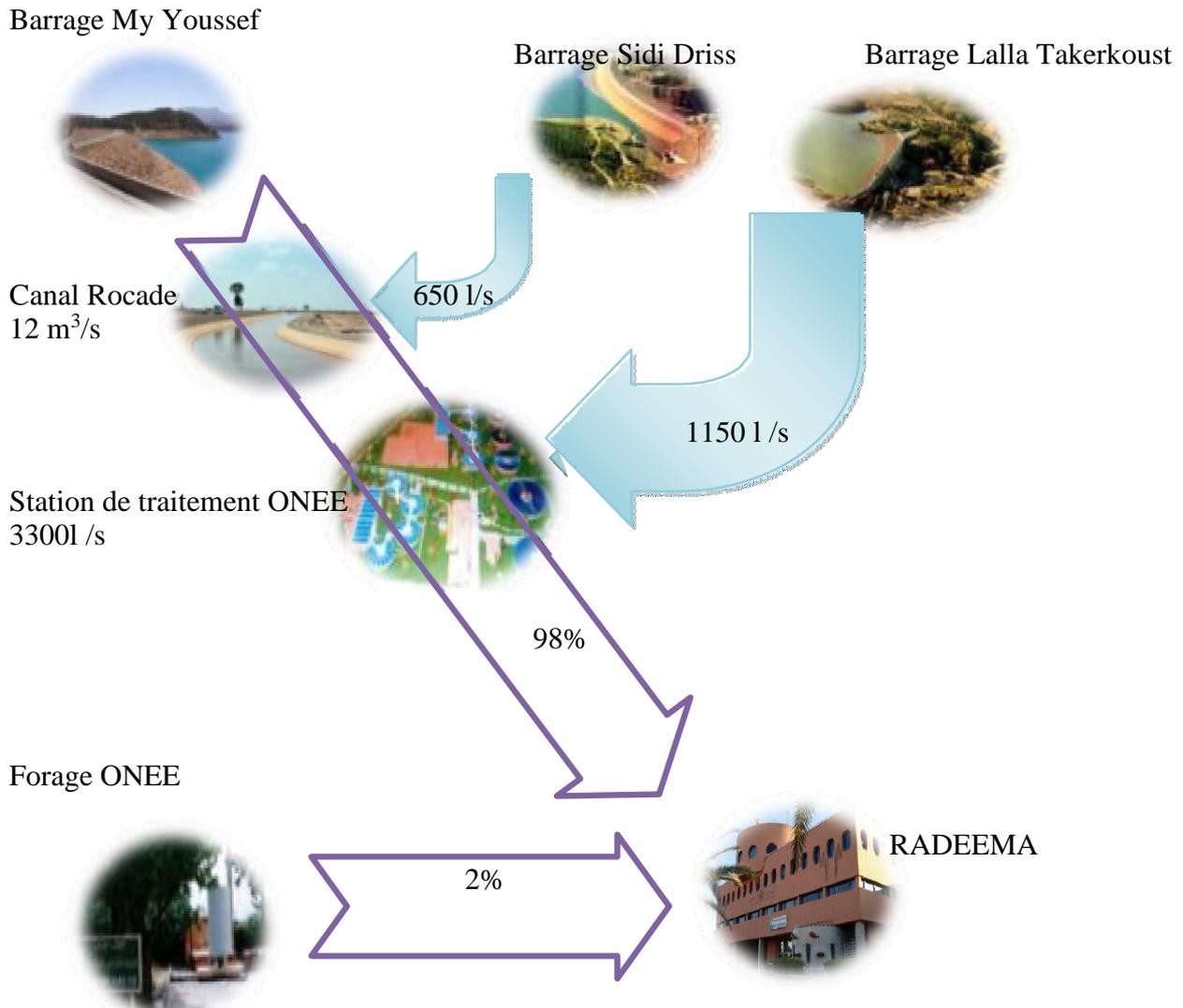


Figure 7: Les ressources en eau disponible.

Le réseau de distribution de la RADEEMA totalise un linéaire de 2871 kilomètres en 2017(rapport de gestion 2017) de conduites de différentes natures (béton précontraint, amianté ciment, fonte grise, fonte ductile, PVC et polyéthylène) de diamètres allant jusqu'à 1200 mm. Il est subdivisé en trois étages de pression : l'étage très haut service, l'étage haut service et l'étage bas service, organisés en plusieurs secteurs stabilisés.

- **L'étage haut service** : est alimenté à partir du réservoir Sidi Moussa 50000 m³. Il est décomposé en quatre secteurs hydrauliques : Medina sud, Sidi Youssef Ben Ali, M'Hamid et la zone touristique Agdal.

- **L'étage très haut service** : est alimenté à partir du château sur élevée Sidi Moussa de capacité 500m^3 . ce reservoir alimente les zone hors influence de deux complexe hydraulique Sidi Moussa et Route Ourika.
- **L'étage bas service** : est alimenté à partir du réservoir l'Ourika 55000 m^3 . Il est décomposé au secteurs hydraulique suivant : Massira ,Gueliz ,Daoudiate ,Medina nord et route de FES et les secteur de route targua ,zone industrielle et route de Casablanca.

1. La classification de réseau de distribution :

- **Réseau ramifié**

Un réseau ramifié est un réseau tel que tous les points du réseau ne peut être alimenté que d'une seule façon. Ainsi, la caractéristique d'un réseau ramifié est que l'eau circule dans toute la canalisation dans un seul sens (des conduites principales vers les conduites secondaires, vers les conduites tertiaires...). En d'autres termes. Un réseau ramifié ne peut comporter qu'un seul nœud référence amont. (Fig : 8)

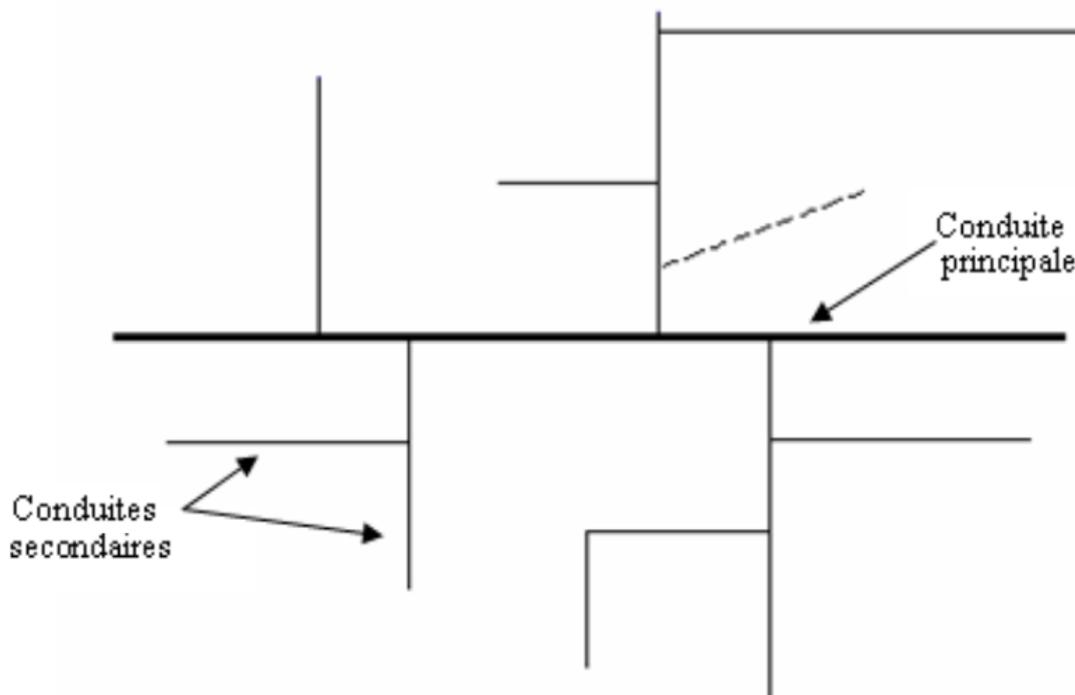


Figure 8: Schéma d'un réseau de distribution ramifié

- **Réseau maillé**

Un réseau maillé est un réseau de conduites dont la plupart des extrémités des tronçons sont connectées pour former des mailles. Les points de rencontre des conduites sont des nœuds. Le sens de l'écoulement de l'eau à l'intérieur des mailles dépend fortement de la demande. Il

n'y a pas de zones mortes tant qu'il y a un minimum de consommation, ce qui contribue à préserver la qualité de l'eau. Chaque point du réseau maillé peut être alimenté par deux nœuds. Le réseau de distribution le mieux adapté pour la RADEEMA est le type maillé (Fig. 9).

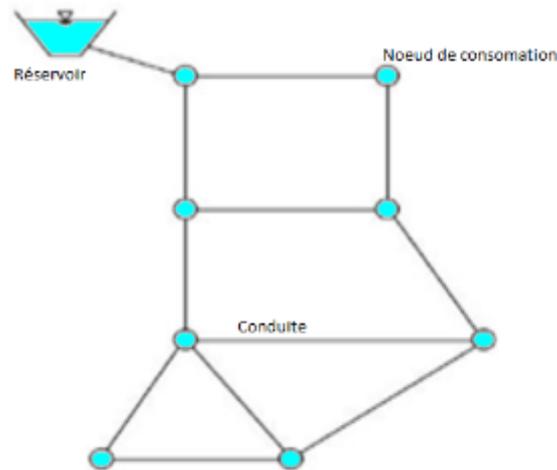


Figure 9: Schéma d'un réseau de distribution maillé.

2. Les modes de distribution :

Distribution gravitaire

La distribution est entièrement gravitaire lorsqu'elle se fait à partir d'un réservoir de stockage qui domine hydrauliquement tout le réseau. La pression de service est atteinte ou dépassée sur l'ensemble des zones sans l'intervention d'une machine élévatoire.

Refoulement distributif

Le refoulement distributif est adopté dans le cas où le stockage serait inexistant ou qu'il se situe à l'opposé de la source d'eau potable, obligeant à traverser toute la localité pour joindre les deux installations. Ce sont les pompes qui assurent les pressions de service.

3. Les principaux ouvrages d'un réseau d'alimentation en eau potable

Les réservoirs sont des ouvrages qui permettent le stockage de l'eau. Ils sont en général placés sur un sommet géographique pour permettre une distribution gravitaire de l'eau.[3]

Les réservoirs qui alimentent la ville de Marrakech

- ✚ **Le réservoir de 50 000 m³ Sidi Moussa** : située dans le complexe hydraulique Sidi Moussa sur la route d'OURIKA. Il alimente l'étage haut service de Marrakech. La passerelle, sur laquelle le réservoir est construite comprend actuellement 3 cuves semi-enterrées indépendantes en béton armé de capacités de 12 500 m³ et 25000 m³.
- ✚ **Le réservoir surélevé de 500 m³ de Sidi Moussa** : Il s'agit d'un château alimenté par une station de pompage.
- ✚ **Le réservoir de 30 000m³ de la route d'OURIKA** : ce réservoir est situé sur la route d'OURIKA, dans la zone touristique de MARRAKECH, la cuve de ce réservoir est constituée de trois cellules indépendantes.
- ✚ **Réservoir 55000m³ de la route d'OURIKA** : le réservoir 55000m³ est situé sur la route d'OURIKA, dans la zone touristique de Marrakech. La cuve de ce réservoir est constituée de sept cellules indépendantes. A partir de ce réservoir partent les deux conduites principales de distribution de l'étage bas service.

Les composants de réseau de distribution d'eau potable

Les conduites : Assemblage de tuyaux, de leurs pièces de raccord et des ouvrages annexes qui permettent le transport de l'eau entre deux points. Il en existe deux types :

- **Conduite d'adduction** (de transport, de transfert) : C'est une conduite qui relie les ressources aux usines de traitement, réservoirs et/ou les zones de consommation, normalement sans desserte aux abonnés.
- **Conduite de distribution** : est une conduite assurant la desserte de l'eau potable aux abonnés.

Les conduits utilisés dans la RADEEMA :

Conduites de diamètre inférieur à 400 mm

- PE (20, 25, 32,40, 50,63, 75)
- AC (60, 80, 100, 150,200, 300)
- PVC (63, 75, 90, 110, 160, 225, 315)

Conduites pour la gestion de feeder (les conduites de diamètres supérieur à 400 mm) :

- ✓ PVC (400 et 500),
- ✓ BP (600,1200 ,400),
- ✓ AC (500, 800)

- **Branchement** : Conduite et accessoires mis en œuvre pour amener l'eau du réseau de desserte jusqu'au point de livraison de l'eau à l'utilisateur abonné, à l'exception des conduites et accessoires privés des immeubles collectifs.
- **Vannes** : Sont des dispositifs destinés à contrôler, à stopper ou à modifier le débit de l'eau. La vanne est équivalente au robinet. Il existe plusieurs types de vannes : **à opercule, à clapet, papillon, de gravitation.**
- **Ventouses** : Équipements placés sur les points hauts du réseau, ont une triple fonction :
 - Évacuation d'air à haut débit lors de la mise en eau des canalisations.
 - Admission d'air à grand débit lors de la vidange des canalisations.
 - Dégazage à faible débit en exploitation
- **Vidanges** : Dispositifs réalisés sur les points bas du réseau, permettent de vidanger les conduites pour la réparation des fuites ou bien pour le nettoyage.
- **Regards** : Sont des ouvrages maçonnés rond ou rectangulaires qui se situent au-dessus d'une canalisation et dont le but est de permettre la visite et l'entretien d'une conduite souterraine ainsi le démontage de divers appareils (débit mètre, stabilisateur de pression, compteur...)
- **Stabilisateurs de pression** : Ou régulateurs de pression, appareils à deux fonctions :
 - Réducteurs de pression en période de forte consommation (jour)
 - Modulateur pour compenser les pertes de charge en période de faible consommation

Les stabilisateurs de pression de la RADEEMA

Stabilisateur de pression DN 250 sur la DN400 de Douar Dlane

Stabilisateurs de pression DN500 sur la DN600 d'AGDAL (SYBA et Hivernage)

Stabilisateur de pression DN250 sur la DN 500 de la Medina sud

Chapitre 4 : Simulation hydraulique

I. Présentation de la zone d'étude

1. Situation géographique :

La présente étude concerne la zone de Sidi Youssef Ben Ali qui est l'un des cinq arrondissements de la ville de Marrakech et qui se situe au Sud-est de celle-ci. Cette zone couvre une superficie de 34km². Elle fait partie du domaine desservi par le réseau d'alimentation en eau potable de la RADEEMA et plus particulièrement celle alimentée par le réservoir Sidi Moussa (Fig. 10).

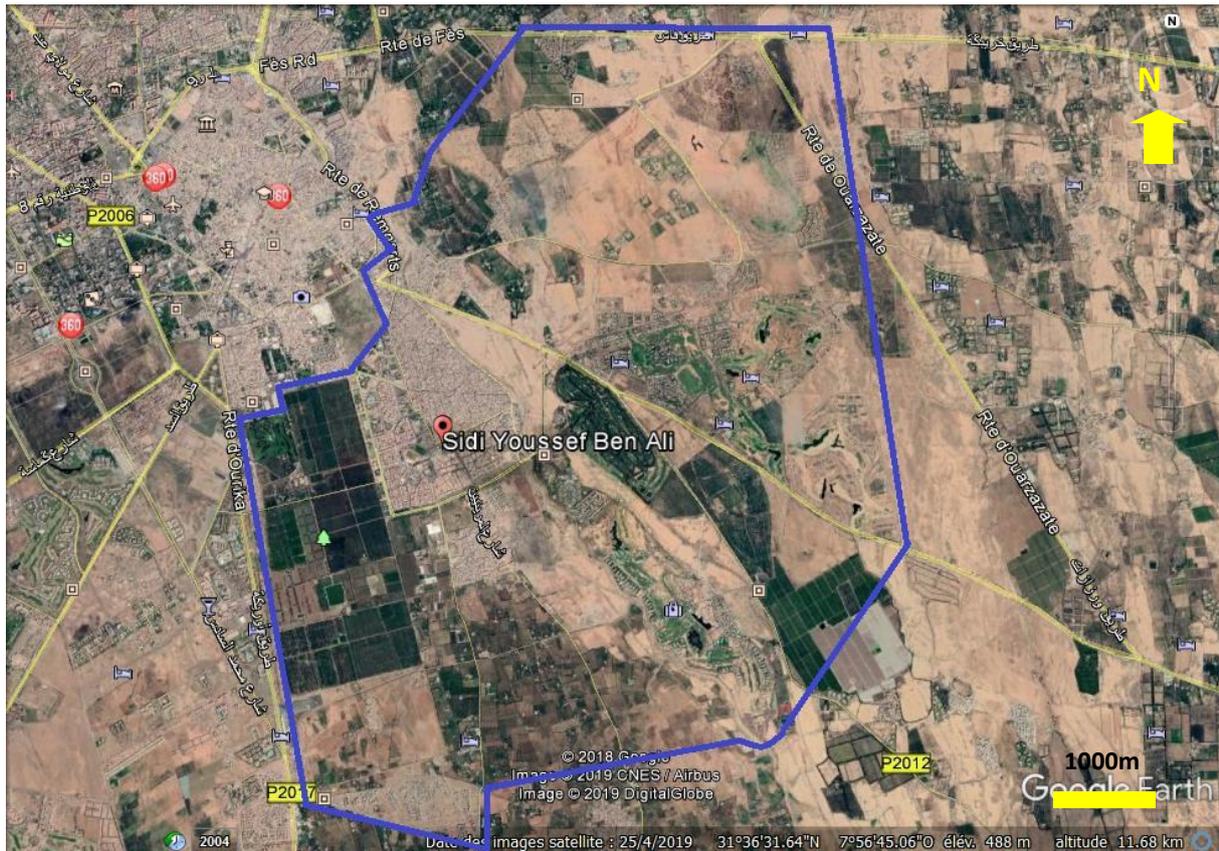


Figure 10 : Délimitation de la zone étudiée sur une image Google Earth

2. Topographie :

De point de vue topographique, la zone d'étude fait partie de la plaine du Haouz qui représente un vaste domaine caractérisé par de faible variation des élévations. A l'échelle de la zone qui nous intéresse, ces valeurs varient entre 464m et 511 m.

3. La situation démographique

Pour sécuriser l'approvisionnement des besoins en eaux, il est nécessaire d'estimer la croissance démographique et de connaître l'évolution de la consommation par habitant. Selon le dernier recensement national, la population du secteur de Sidi Youssef Ben Ali est estimée à 180 000habitants.

4. Ressource hydraulique

La zone étudiée appartient à l'étage de haut service de Marrakech alimenté par le réservoir de Sidi Moussa dont la capacité est 50000m³. Ce réservoir se situe Sud-ouest de la zone de SYBA à 31.3521° de latitude nord et 7.5658° de longitude ouest.

II. La méthodologie de travail

Les étapes suivies pour la réalisation de la modélisation hydraulique de la zone de Sidi Youssef Ben Ali sont les suivantes :

- a. La conversion du plan du réseau d'AEP du format PDF en fichier AutoCAD DXF
- b. La conversion du fichier DXF en format EPANET à l'aide du programme EPACAD
- c. L'importation du plan sous EPANET et tracé du réseau.
- d. La saisie des données relatives aux différentes composantes du réseau.
- e. Exécution de la simulation.
- f. Calage Hydraulique

1. Méthodologie pour la construction du modèle

La méthodologie adoptée consiste à schématiser manuellement le modèle sous Epanet puis à introduire toutes les données afférentes au réseau à simuler.

1.1 Réalisation du schéma du réseau

Le tracé du réseau d'AEP à modéliser peut se faire par tracé direct sur Epanet ou par dessin sous AutoCAD et importation dans Epanet.

Tracé direct sous Epanet

On peut tracer notre réseau directement sous Epanet. Cette opération nécessite le géoréférencement du plan du réseau à l'aide des coordonnées géographiques extraites lors de la délimitation de la zone d'étude sur Google Earth.

✚ Tracé du réseau sur Autocad

Dans ce cas, le réseau est dessiné sous AutoCAD qui permet des managements plus précis en termes de longueur et de positionnement des conduites. Ensuite, il est exporté vers Epanet où il suffit de saisir les caractéristiques avant d'exécuter la simulation. Le transfert d'un fichier AutoCAD en fichier Epanet se fait en utilisant le format DXF qui est converti par EpaCAD fichier (.INP) Epanet.

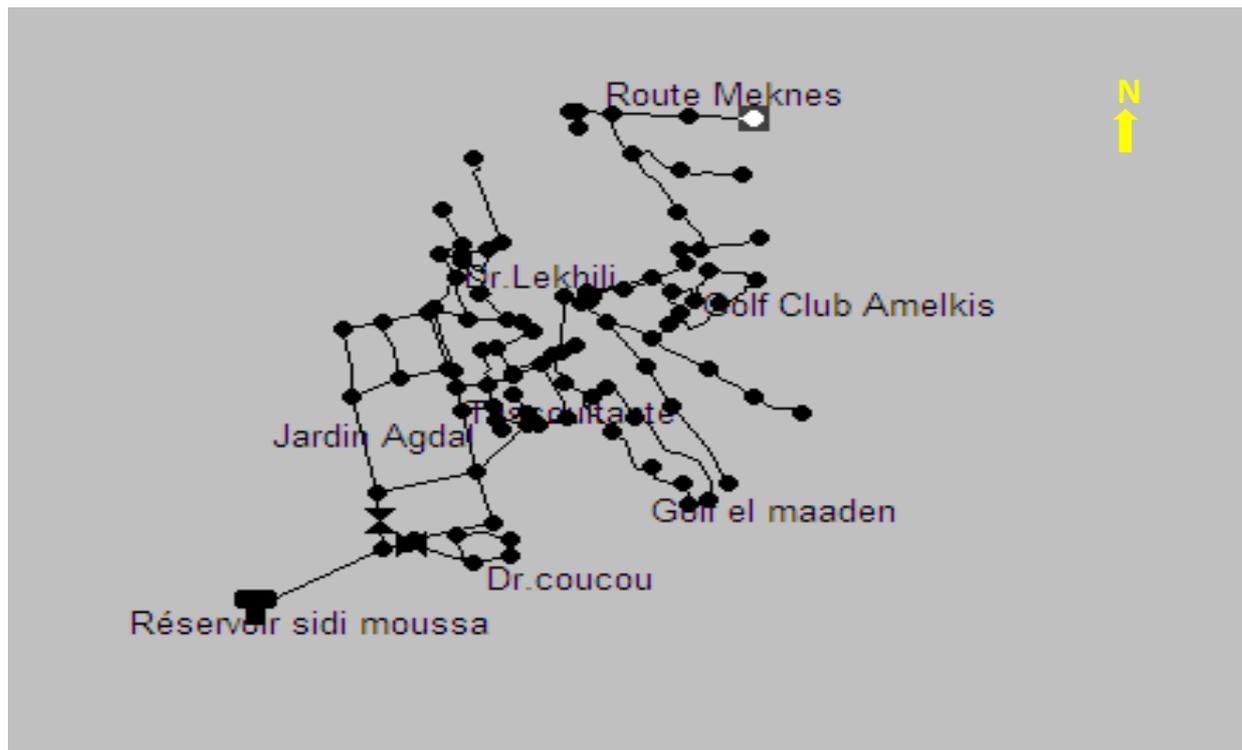


Figure 11: Visualisation du réseau d'eau potable étudié sur Epanet

1.2 Collecte et préparation des données

Une fois le tracé du réseau d'AEP terminé, l'étape qui suit consiste à introduire dans EPANET les caractéristiques de tous les éléments du réseau, à savoir : les longueurs des conduites, les altitudes des nœuds de demande, la rugosité des canalisations, paramètres du réservoir, etc. Les figures 16 à 19 illustrent cette importante étape qui précède la modélisation proprement dite.

Tableau 2: Paramètres d'entrée sur logiciel Epanet pour les tuyaux

| Numéro de Tuyau | Longueur(m) | Rugosité | Diamètre (mm) | Numéro de Tuyau | Longueur (m) | Rugosité | Diamètre (mm) |
|-----------------|-------------|----------|---------------|-----------------|--------------|----------|---------------|
| 1 | 688 | 0,5 | 315 | 49 | 238.17 | 0,5 | 225 |
| 2 | 564 | 1,5 | 300 | 50 | 750.34 | 0,5 | 225 |
| 3 | 200 | 1,5 | 300 | 51 | 309.67 | 1 | 600 |
| 4 | 256 | 0,5 | 225 | 52 | 946.28 | 1 | 600 |
| 5 | 833,38 | 0,5 | 225 | 53 | 380.10 | 1 | 600 |
| 6 | 1115,65 | 0,5 | 315 | 54 | 108.84 | 1,5 | 200 |
| 7 | 818,28 | 0,5 | 225 | 55 | 523.17 | 0,5 | 225 |
| 8 | 100 | 0,5 | 225 | 56 | 481.3 | 1,5 | 200 |
| 9 | 1308.67 | 0,5 | 225 | 57 | 126.54 | 1,5 | 300 |
| 10 | 864.21 | 0,5 | 225 | 58 | 1156.41 | 1,5 | 300 |
| 11 | 614.4 | 0,5 | 225 | 59 | 483 | 1,5 | 200 |
| 12 | 210.3 | 0,5 | 225 | 60 | 494.49 | 1,5 | 300 |
| 13 | 904.33 | 0,5 | 225 | 61 | 245.02 | 0,5 | 225 |
| 14 | 303.97 | 1,5 | 200 | 62 | 408.6 | 1,5 | 200 |
| 15 | 386.7 | 0,5 | 225 | 63 | 478.78 | 1,5 | 300 |
| 16 | 597.77 | 0,5 | 225 | 64 | 329.23 | 1,5 | 300 |
| 17 | 1147.47 | 0,5 | 225 | 65 | 1448 | 1,5 | 300 |
| 18 | 422.4 | 0,5 | 225 | 66 | 623.03 | 1 | 800 |
| 19 | 708.28 | 0,5 | 225 | 67 | 603 | 1,5 | 300 |
| 20 | 260.15 | 1,5 | 200 | 68 | 292.51 | 1,5 | 300 |
| 21 | 260.14 | 1,5 | 200 | 69 | 55 | 1,5 | 300 |
| 22 | 252 | 1,5 | 200 | 70 | 378.18 | 1,5 | 300 |
| 23 | 579 | 1,5 | 200 | 71 | 74.21 | 1,5 | 300 |
| 24 | 899.26 | 1,5 | 300 | 72 | 266.4 | 1,5 | 300 |
| 25 | 130 | 1,5 | 300 | 73 | 264.42 | 1,5 | 300 |
| 26 | 112.14 | 1,5 | 300 | 74 | 423.02 | 0,5 | 225 |
| 27 | 315.33 | 1,5 | 300 | 75 | 378.18 | 0,5 | 315 |
| 28 | 224 | 1,5 | 300 | 76 | 441.25 | 1,5 | 200 |
| 29 | 653 | 0,5 | 225 | 77 | 220.38 | 1,5 | 300 |
| 30 | 931.46 | 0,5 | 315 | 78 | 198.97 | 0,5 | 315 |
| 31 | 291.23 | 0,5 | 315 | 79 | 234.82 | 0,5 | 315 |
| 32 | 916 | 0,5 | 315 | 80 | 367.67 | 1 | 800 |
| 33 | 1200.6 | 1,5 | 300 | 81 | 363.93 | 0,5 | 225 |
| 34 | 1328 | 1,5 | 300 | 82 | 388.2 | 1,5 | 200 |
| 35 | 857 | 1,5 | 300 | 83 | 153.93 | 1,5 | 200 |
| 36 | 231 | 1,5 | 300 | 84 | 1658.78 | 1,5 | 200 |
| 37 | 1030 | 1,5 | 300 | 85 | 1135.11 | 0,5 | 315 |
| 38 | 318.5 | 1,5 | 200 | 86 | 615.59 | 1,5 | 300 |
| 39 | 100.45 | 1,5 | 300 | 87 | 794.84 | 1,5 | 200 |
| 40 | 442.3 | 0,5 | 315 | 88 | 599.63 | 1,5 | 200 |
| 41 | 259 | 0,5 | 315 | 89 | 832.72 | 1,5 | 300 |
| 42 | 259.22 | 0,5 | 315 | 90 | 744.84 | 1 | 800 |
| 43 | 866 | 0,5 | 315 | 91 | 1123.7 | 1,5 | 200 |

Simulation hydraulique de réseau d'alimentation d'eau potable par logiciel EPANET

| Numéro de Tuyau | Longueur(m) | Rugosité | Diamètre (mm) | Numéro de Tuyau | Longueur (m) | Rugosité | Diamètre (mm) |
|-----------------|-------------|----------|---------------|-----------------|--------------|----------|---------------|
| 44 | 3824 | 0,5 | 225 | 92 | 1490 | 0,5 | 315 |
| 45 | 326 | 0,5 | 225 | 93 | 2699.58 | 0,5 | 315 |
| 46 | 202.2 | 0,5 | 225 | 94 | 168.9 | 1 | 400 |
| 47 | 308.46 | 0,5 | 225 | 95 | 457.71 | 1 | 400 |
| 48 | 426.23 | 0,5 | 225 | 96 | 247.71 | 0,5 | 315 |
| 97 | 927 | 1 | 600 | 106 | 1100.13 | 1 | 800 |
| 98 | 609.99 | 1 | 400 | 107 | 814.85 | 1 | 800 |
| 99 | 1255.8 | 1 | 600 | 108 | 44.3 | 1 | 800 |
| 100 | 1580 | 0,5 | 315 | 109 | 2058 | 0,5 | 225 |
| 101 | 554.69 | 0,5 | 225 | 112 | 81 | 1 | 600 |
| 102 | 473.91 | 0,5 | 225 | 113 | 600 | 0,5 | 300 |
| 103 | 247.86 | 0,5 | 225 | 114 | 200 | 0,5 | 300 |
| 104 | 156.86 | 0,5 | 225 | | | | |

Tableau 3: Paramètres d'entrée du logiciel Epanet pour les nœuds

| N° de nœuds | Altitudes |
|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|
| 1 | 466 | 30 | 481 | 58 | 489 | 86 | 470 |
| 2 | 511 | 31 | 482 | 59 | 491 | 87 | 465 |
| 4 | 477 | 32 | 492 | 60 | 492 | 88 | 467 |
| 5 | 464 | 33 | 497 | 61 | 492 | 89 | 549 |
| 6 | 461 | 34 | 499 | 62 | 491 | 90 | 490 |
| 7 | 463 | 35 | 484 | 63 | 480 | 91 | 510 |
| 8 | 468 | 36 | 489 | 64 | 482 | 92 | 511 |
| 9 | 468 | 37 | 500 | 65 | 478 | 93 | 517 |
| 10 | 471 | 38 | 507 | 66 | 481 | 94 | 512 |
| 11 | 472 | 39 | 478 | 67 | 480 | 95 | 515 |
| 12 | 472 | 40 | 483 | 68 | 476 | 96 | 519 |
| 13 | 476 | 41 | 485 | 69 | 485 | 97 | 519 |
| 14 | 473 | 42 | 482 | 70 | 471 | 98 | 486 |
| 15 | 476 | 43 | 489 | 71 | 475 | 99 | 474 |
| 16 | 476 | 44 | 488 | 72 | 472 | 100 | 492 |
| 17 | 479 | 45 | 496 | 73 | 480 | 101 | 508 |
| 18 | 481 | 46 | 503 | 74 | 501 | 101 | 464 |
| 19 | 477 | 47 | 503 | 75 | 500 | 102 | 488 |
| 20 | 479 | 48 | 510 | 76 | 474 | | |
| 21 | 477 | 49 | 509 | 77 | 477 | | |
| 22 | 478 | 50 | 506 | 78 | 472 | | |
| 23 | 481 | 51 | 503 | 79 | 478 | | |
| 24 | 485 | 52 | 505 | 80 | 474 | | |
| 25 | 483 | 53 | 492 | 81 | 470 | | |
| 26 | 484 | 54 | 488 | 82 | 469 | | |
| 27 | 481 | 55 | 487 | 83 | 472 | | |
| 28 | 482 | 56 | 491 | 84 | 469 | | |
| 29 | 479 | 57 | 494 | 85 | 471 | | |

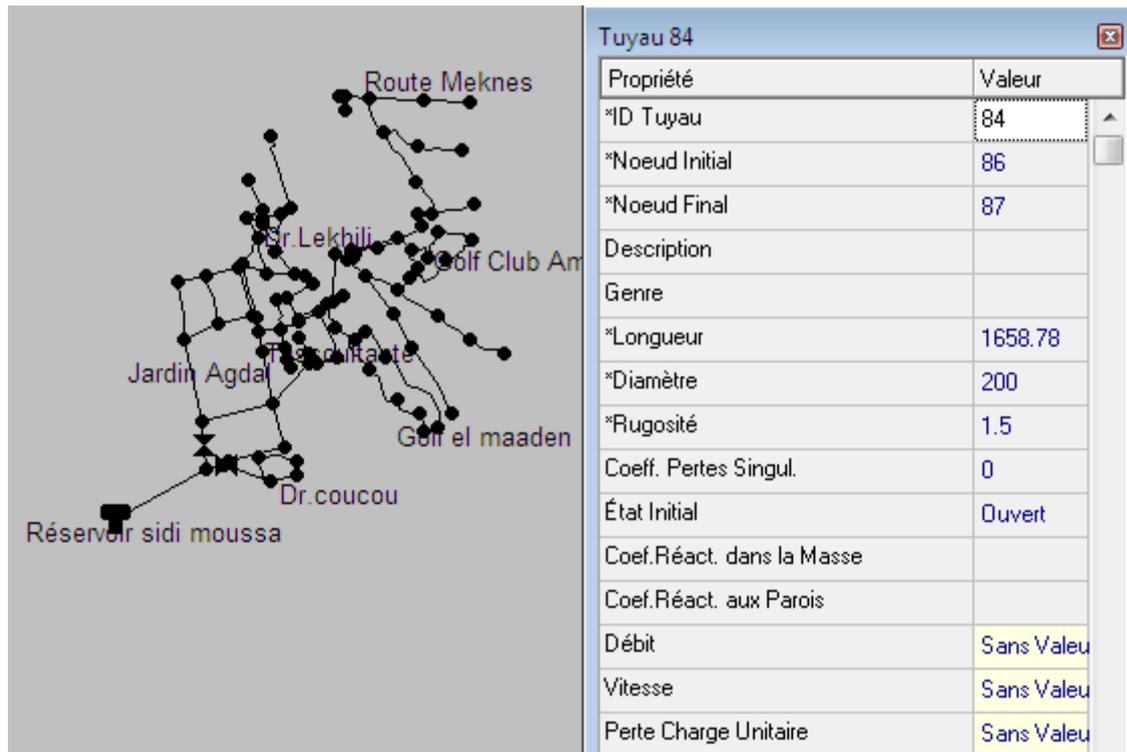


Figure 12: Exemple de saisie des données des tuyaux

Les altitudes et les demande de base sont les données d'entrées pour les nœuds (fig.13) représente l'exemple de saisie des propriétés du nœud 1

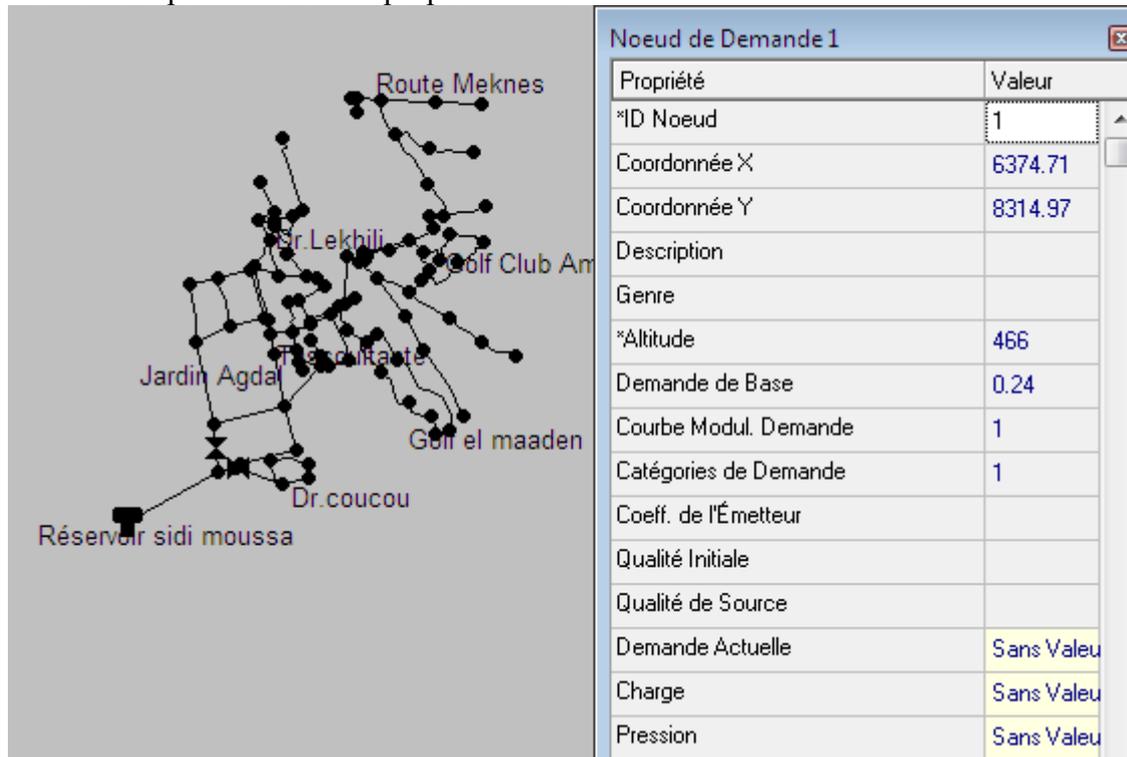


Figure 13: Exemple de saisie des données des nœuds .

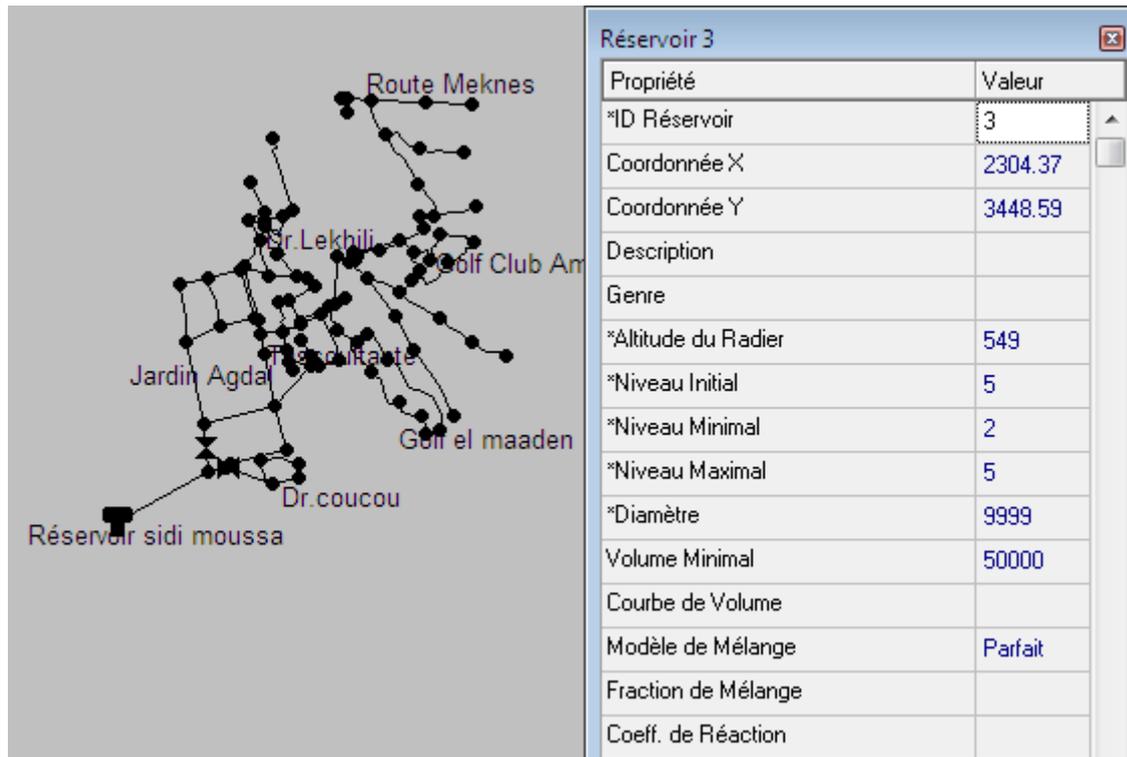


Figure 14: Exemple de saisie des données des réservoirs

Les vannes permettent de régler la pression et le débit dans un point de réseau (fig.15) représente les propriétés saisies pour les vannes

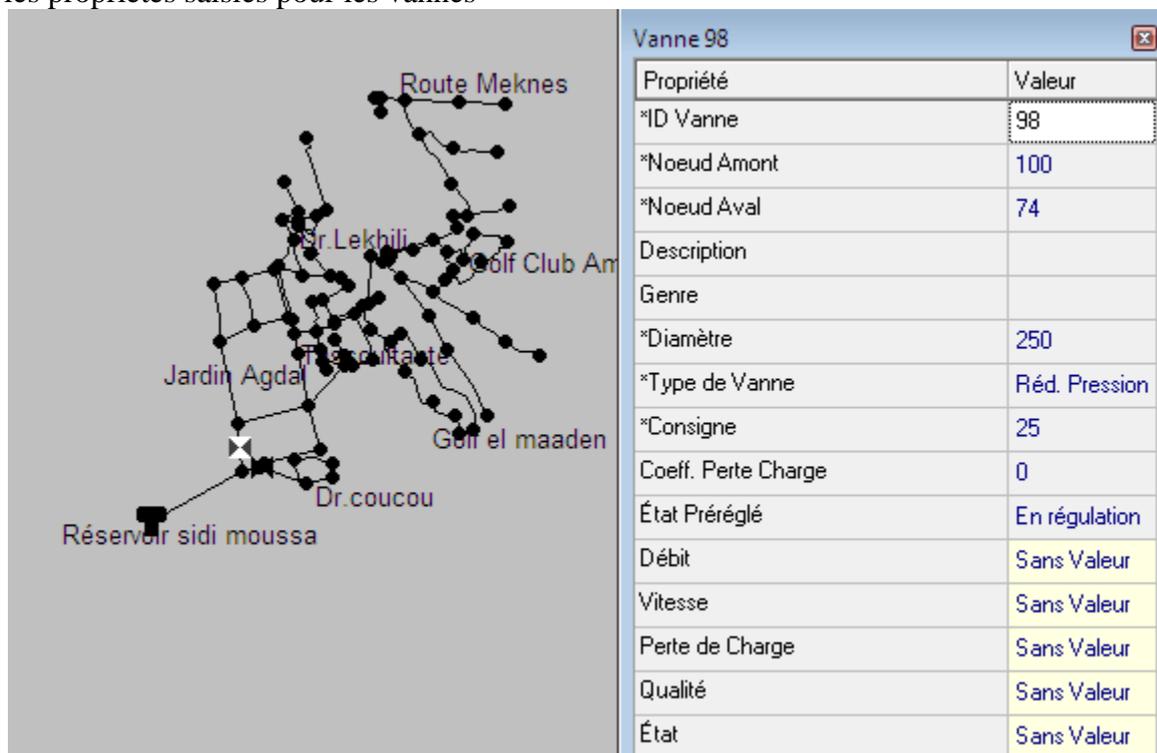


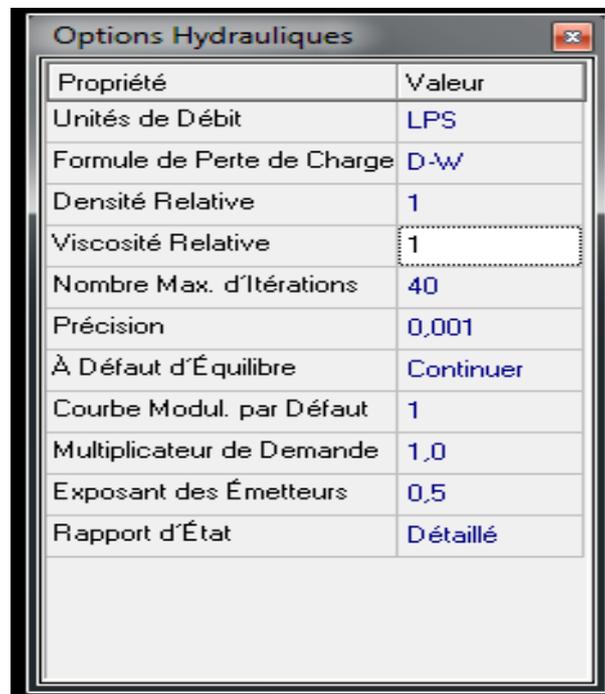
Figure 15: Exemple de saisie des données de vanne

2. Spécification des options de simulation

Il existe cinq catégories d'options spécifiant le type de calcul effectué par Epanet : Hydrauliques, Qualité, Réactions, Temps et Énergie. Dans le cas de la présente étude, on s'est limité aux options qui ont un impact direct sur la modélisation des paramètres hydrauliques du réseau d'AEP de SYBALI, à savoir les options Hydrauliques et Temps.

2.1 Options hydrauliques de simulation

Les Options Hydrauliques déterminent la manière dont les calculs hydrauliques sont effectués. Elles concernent entre autres les paramètres suivants : l'unité de Débit, la Formule de Perte de Charge (Fig. 16).



| Propriété | Valeur |
|----------------------------|-----------|
| Unités de Débit | LPS |
| Formule de Perte de Charge | D-W |
| Densité Relative | 1 |
| Viscosité Relative | 1 |
| Nombre Max. d'itérations | 40 |
| Précision | 0,001 |
| À Défaut d'Équilibre | Continuer |
| Courbe Modul. par Défaut | 1 |
| Multiplicateur de Demande | 1,0 |
| Exposant des Émetteurs | 0,5 |
| Rapport d'État | Détaillé |

Figure 16: option hydraulique

2.2 Options de temps

Les Options de Temps définissent les valeurs des différents intervalles des simulations de longues durées. Les paramètres de ces options peuvent être introduits formats heure décimale (Fig .17)



Figure 17: option du temps

3. Simulation de la consommation

La connaissance de la consommation d'eau d'un réseau d'AEP sur une journée entière est très importante. Elle a une grande influence sur le comportement de celui-ci. Epanet nous permet de choisir un modèle de consommation prédéfini ou de définir notre propre modèle de consommation.

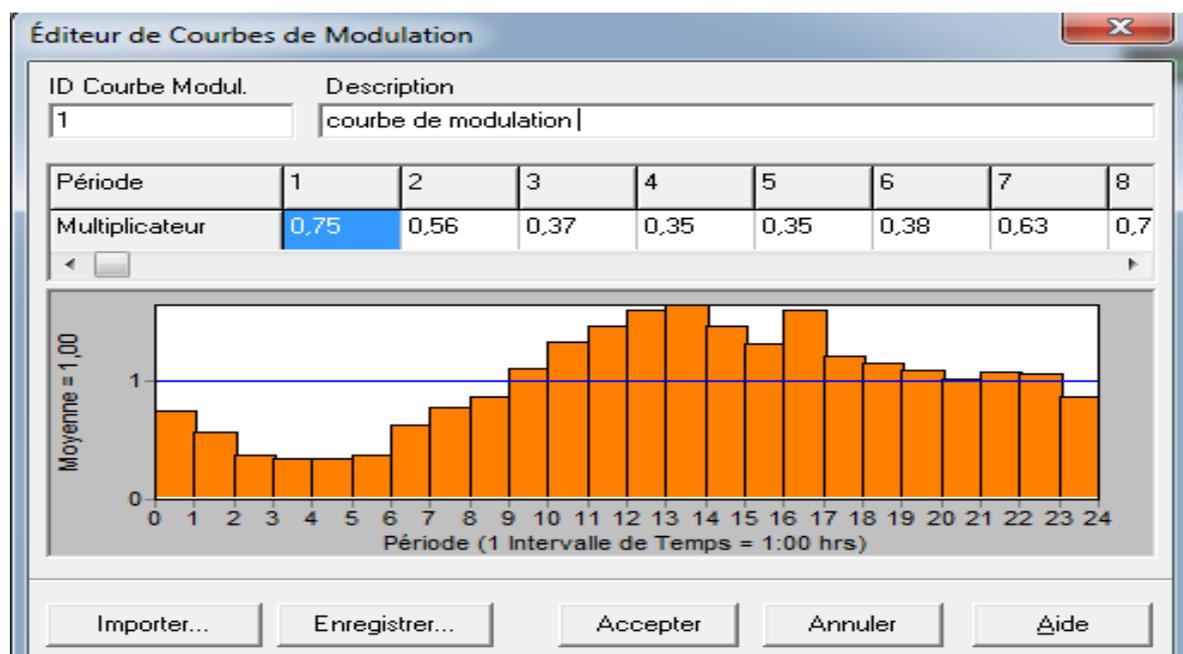


Figure 18: Courbe de modulation horaire

4. Exécution de la simulation :

Après la saisie de tous les paramètres du réseau, on peut lancer la simulation. Une fois le calcul terminé, si le modèle ne comporte pas d'erreurs, le logiciel affiche le message suivant « **La simulation a Réussi** » (Fig.18)

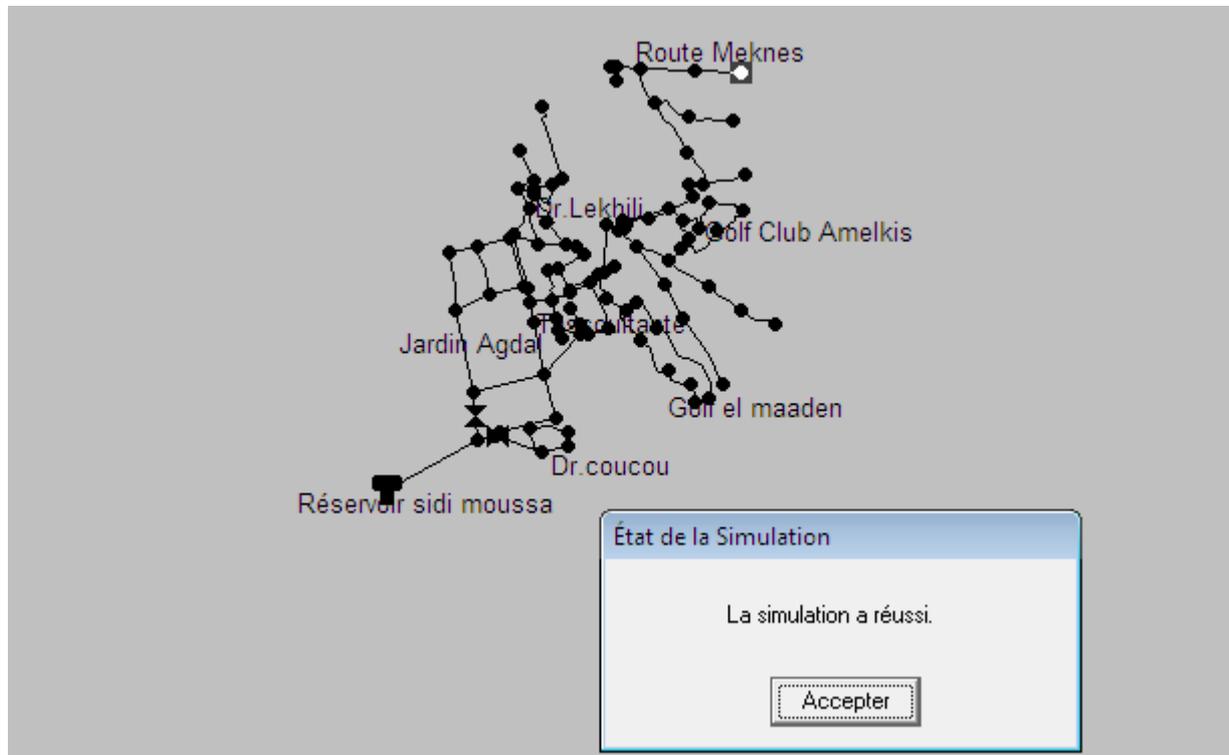


Figure 19: Exclusions de la simulation hydraulique sur EPANET sans erreur.

Le résultat final de la simulation hydraulique du réseau d'alimentation en eau potable de la zone de Sidi Youssef Ben Ali est illustré sur la figure20.

La réussite de simulation dépend de bon saisie des données d'entrées de chaque élément de réseau et de dessin de réseau qui doit être proche à la réalité

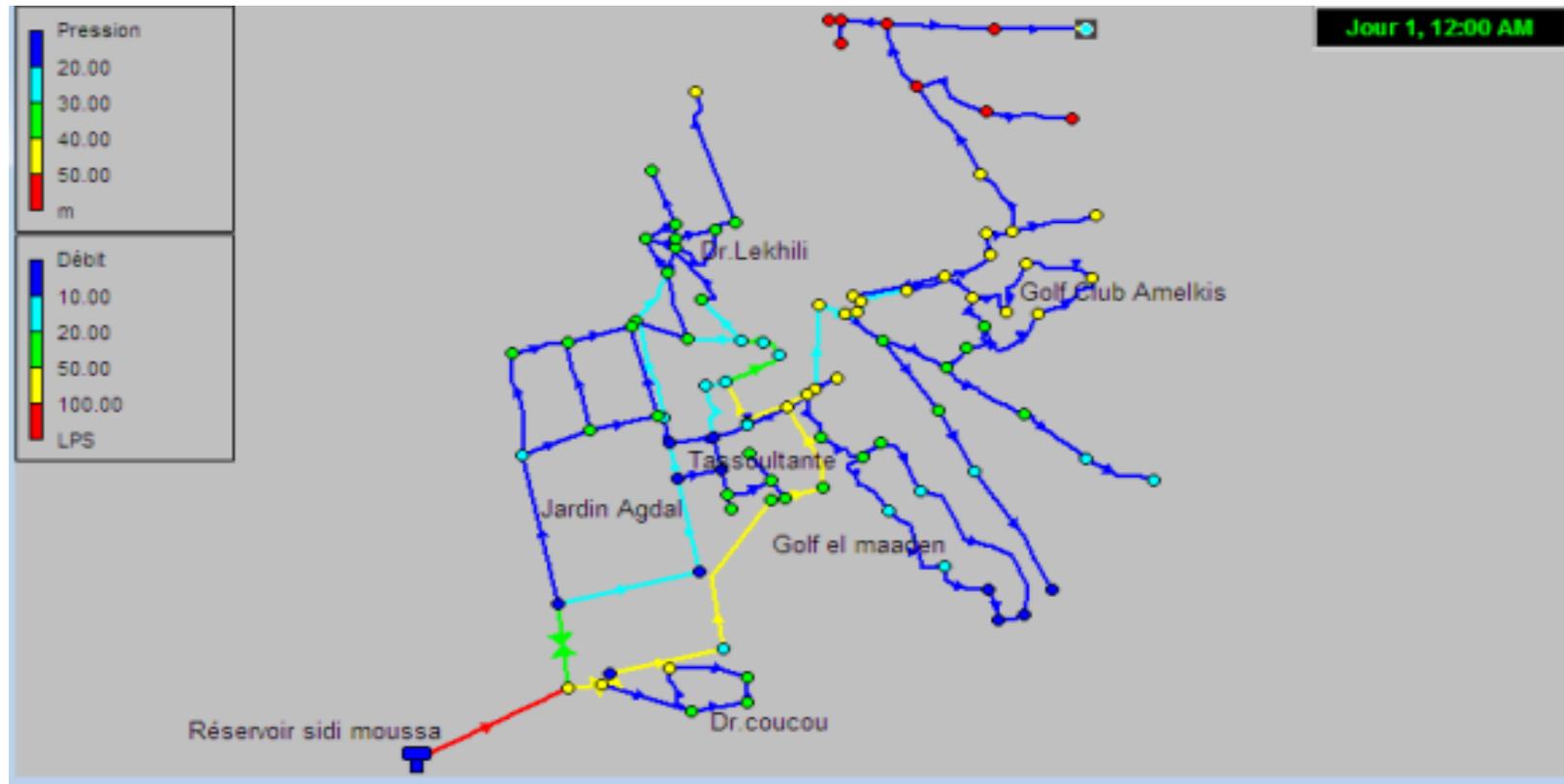


Figure 20 : Résultats de l'exécution de la simulation sur Epanet pour la zone de SYBALI.

5. Paramètres d'analyse de comportement de réseau

Les paramètres considérés pour l'analyse du fonctionnement du réseau sont : le débit et la pression. Les variations de ces deux paramètres sur une journée entière pour le nœud 64 et pour le tuyau 100 sont illustrées sur les figures 21 et 22 ci-dessous.



Figure 21: Variation de la vitesse au niveau du tronçon 90 sur une durée de 24heures

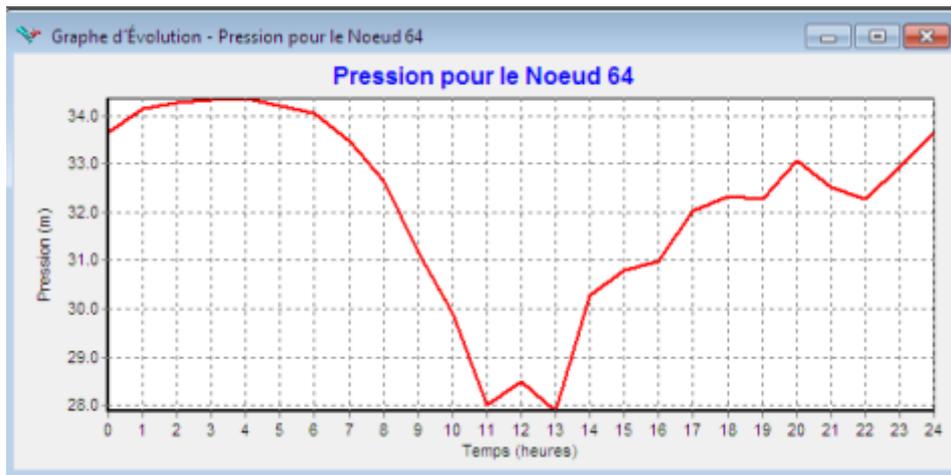


Figure 22: Variation de la pression au niveau du nœud 64 sur une durée de 24 h.

Ces résultats montrent que les variations de la pression au niveau du nœud 64 sont marquées par un minimum observé à 13 heures. Celles du débit affichent un maximum à la mi-journée (entre 11 H et 13 H).

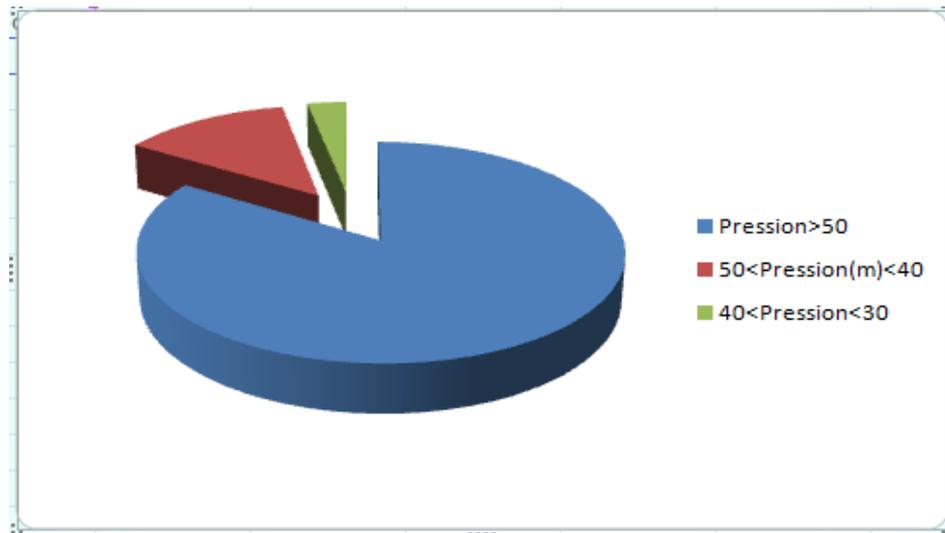


Figure 23: Répartition de pression dans les nœuds à l'heure de pointe (13 H).

- 3% des nœuds de consommation ont une pression comprise entre 30 et 40 m ;
- 13% des nœuds de consommation ont une pression compris entre 40 et 50 m ;
- 84% des nœuds de consommation leurs pression est supérieure à 50 m.

6. Calage du modèle

Le calage consiste à ajuster le modèle afin de corriger les erreurs causant des différences entre les observations et les simulations. Le logiciel **Epanet** permet l'étalonnage des résultats de la simulation avec les graphes d'évolution de certaines grandeurs au cours du temps au niveau de certains points particuliers du réseau ou avec les rapports de calage qui représentent les résultats globaux de pour plusieurs points de réseau. 1 /04/2019

a. Fichier de calage

Le fichier de calage est document texte qui contient les mesures de certains paramètres effectuées au niveau d'un (ou de plusieurs) point(s) du réseau.

| Fichier | Edition | Format | Affichage ? |
|---------|---------|--------|-------------|
| 44 | | 00:00 | 127.333 |
| | | 01:00 | 110.3333 |
| | | 02:00 | 103.333 |
| | | 03:00 | 101.4444 |
| | | 04:00 | 105.777 |
| | | 05:00 | 129.777 |
| | | 06:00 | 126.7777 |
| | | 07:00 | 154.7778 |
| | | 08:00 | 196.55556 |
| | | 09:00 | 196.556 |
| | | 10:00 | 233 |
| | | 11:00 | 255.1111 |
| | | 12:00 | 266.1111 |
| | | 13:00 | 273.5556 |
| | | 14:00 | 285.667 |
| | | 15:00 | 246.556 |
| | | 16:00 | 232.667 |
| | | 17:00 | 217.111 |
| | | 18:00 | 212.333 |
| | | 19:00 | 194 |
| | | 20:00 | 202.8889 |
| | | 21:00 | 169.7777 |
| | | 22:00 | 171.8889 |
| | | 23:00 | 168.222 |

Figure 24: fichier de calage de débit pour le tuyau 44

c- Calage de débits :

Pour effectuer le calage des débits, nous nous sommes basées sur les mesures que nous avons réalisées au niveau du tronçon 44.

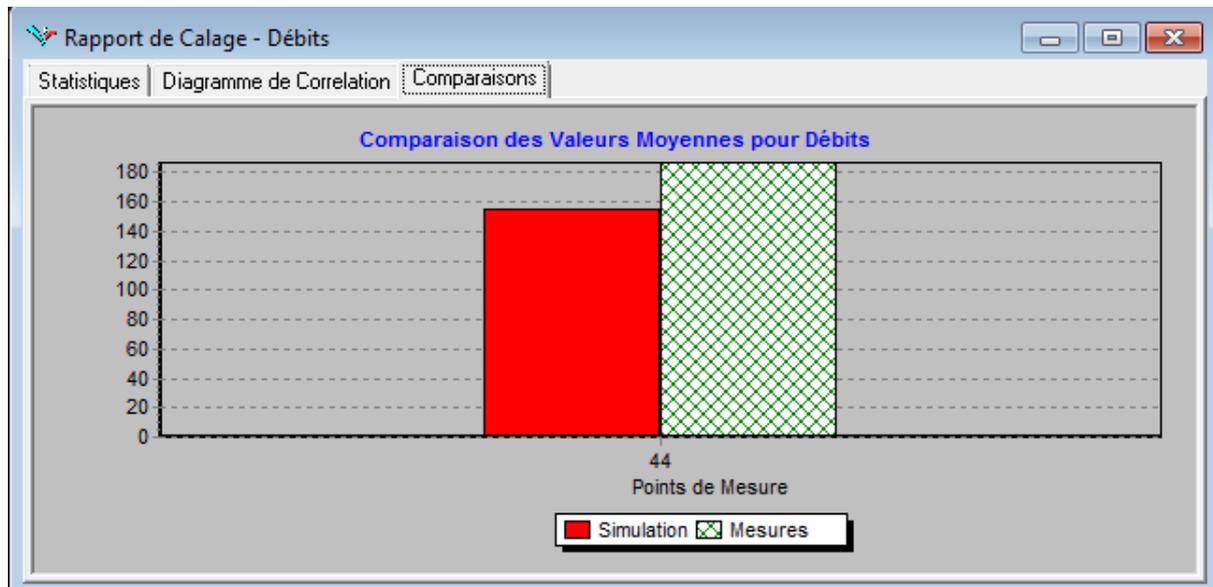


Figure 25: Comparaison des valeurs de débit obtenues par simulation et celles mesurées pour le tuyau 44

Les résultats de calage pour le débit sont proche de la réalité avec une moyenne d'erreur ($\pm 10\%$) donc le réseau est fiable et reflète la réalité.

b. Calage de pression

Le calage des pressions a été effectué en utilisant les valeurs que nous avons recueillies par des mesures au niveau du nœud 63 du réseau d'AEP de SYBA (Tableau 5).

| Fichier | Edition | Format | Affichage ? |
|---------|---------|--------|-------------|
| 63 | | 00:00 | 31 |
| | | 01:00 | 22 |
| | | 02:00 | 23 |
| | | 03:00 | 23 |
| | | 04:00 | 22 |
| | | 05:00 | 28 |
| | | 06:00 | 29 |
| | | 07:00 | 31 |
| | | 08:00 | 29 |
| | | 09:00 | 28 |
| | | 10:00 | 28 |
| | | 11:00 | 27 |
| | | 12:00 | 26 |
| | | 13:00 | 27 |
| | | 14:00 | 27 |
| | | 15:00 | 29 |
| | | 16:00 | 28 |
| | | 17:00 | 29 |
| | | 18:00 | 29 |
| | | 19:00 | 28 |
| | | 20:00 | 27 |
| | | 21:00 | 29 |
| | | 22:00 | 29 |
| | | 23:00 | 29 |
| | | 24:00 | 29 |

Figure 26: fichier de calage de pression pour le nœud 63

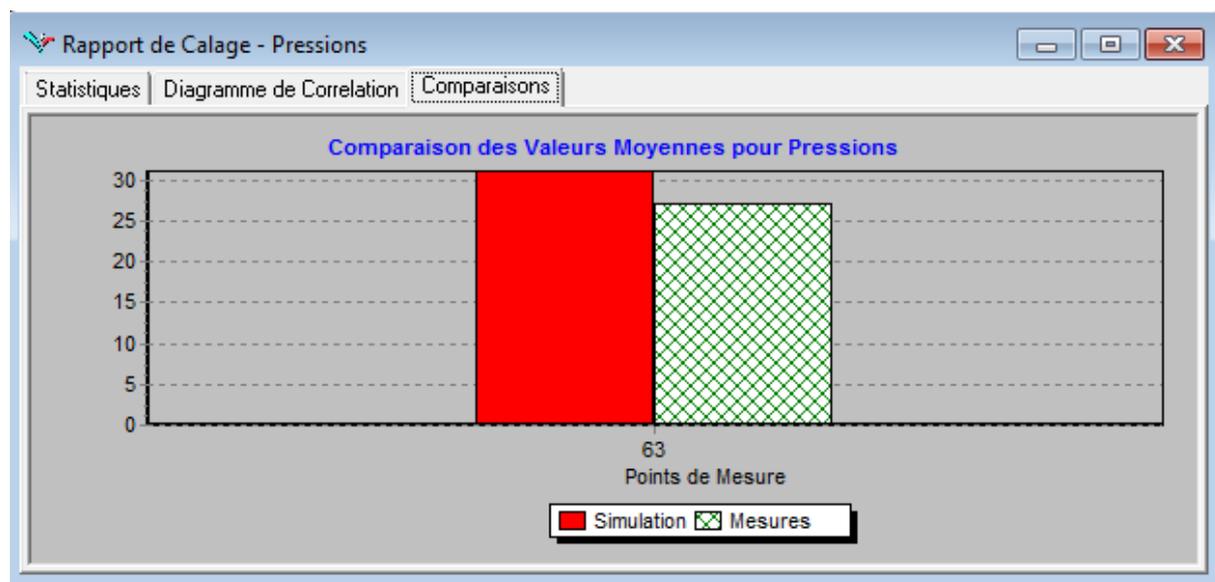


Figure 27: Comparaison des valeurs de pression obtenues par simulation et celles mesurées pour le nœud 63.

La valeur moyenne d'erreur pour la pression dans le point Chouhada entre les moyennes simulées et mesurées est de 4 m, alors que la valeur d'erreur relative ne doit pas dépasser 5m.

III. Conclusion :

Au terme de cette étude, nous avons établi un modèle hydraulique du réseau d'alimentation en eau potable de la zone de Sidi Youssef Ben Ali en utilisant le logiciel Epanet. Ce modèle permet de simuler les variations de la pression et du débit en n'importe quel point du réseau. Les faibles différences entre les données observées sur le terrain et celles calculées par Epanet montrent que le calage de ce modèle a été effectué avec succès et que celui-ci peut être considéré comme représentatif de la réalité du réseau et qu'il peut être utilisé pour le diagnostic de son fonctionnement.

Conclusion générale

Le présent stage de fin d'études a eu lieu au sein de la Régie Autonome de la Distribution d'Eau et Électricité de Marrakech (RADEEMA) et a porté sur l'utilisation du logiciel Epanat pour la réalisation d'une modélisation hydraulique d'un réseau d'alimentation en eau potable. Ce stage a été pour nous une occasion pour la prise en main et la découverte de cet important logiciel qui permet simuler le comportement hydraulique et qualitatif de l'eau dans les réseaux d'eau potable et de diagnostiquer leurs fonctionnement. Il représente un outil d'aide à la conception du réseau idéal offrant les débits, les pressions et les vitesses les plus convenables possible. Le logiciel présente également un module qualité qui permet de calculer les concentrations en substances chimiques et les temps de séjour de l'eau dans différentes parties du réseau.

Notre travail consistait à modéliser un réseau existant et déjà en exploitation. Le secteur choisi pour mener cette étude est la portion du réseau de distribution d'eau potable desservie par la RADEEMA couvrant le secteur de Sidi Youssef Ben Ali de Marrakech. Ce secteur fait partie de l'étage haut service alimentée par le réservoir Sidi Moussa, Il s'agissait donc de faire une analyse pour décrire au mieux le comportement du réseau à modéliser.

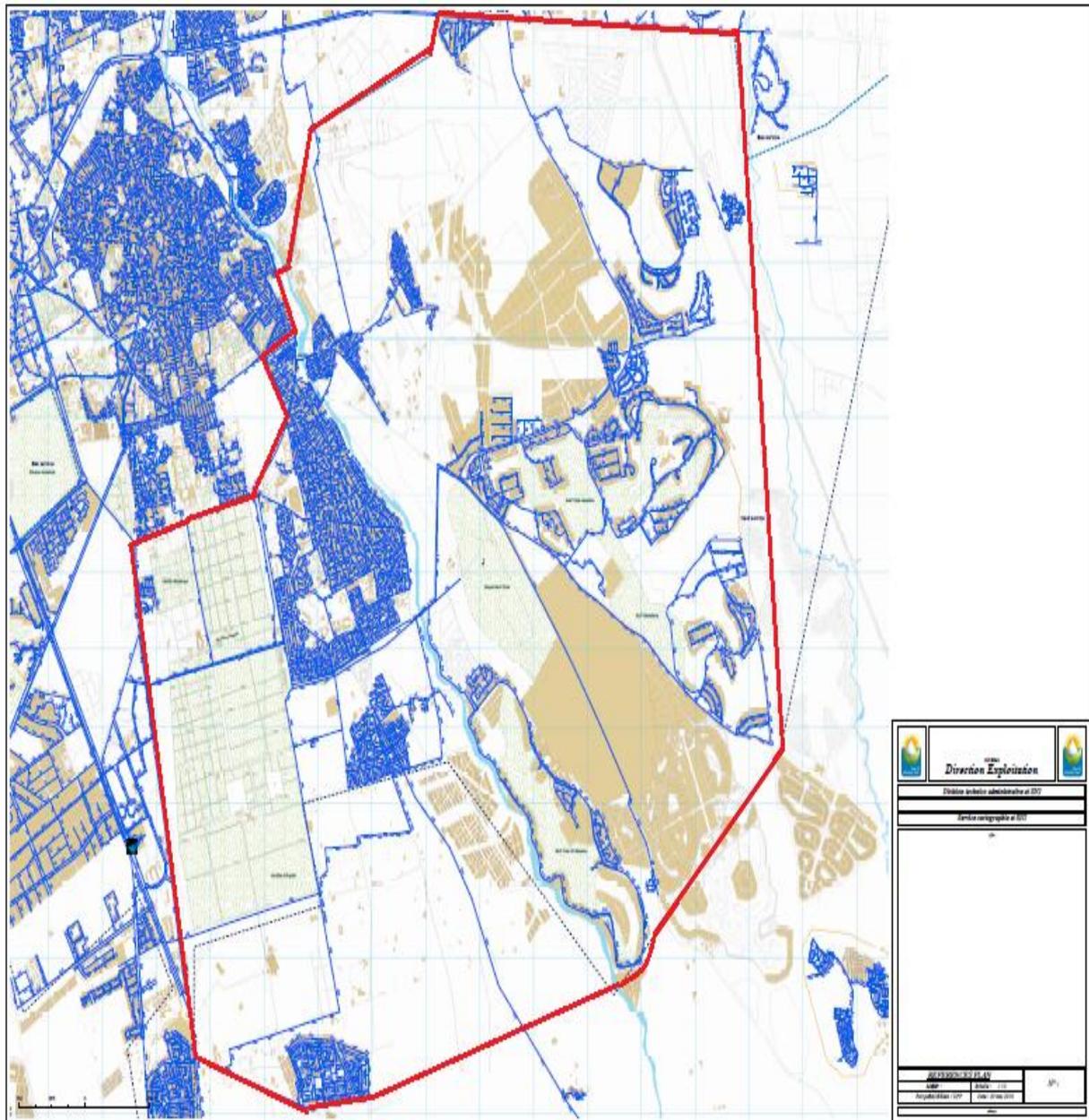
Cette étude a été menée en respectant les étapes suivantes :

- Recherche de données auprès de l'entreprise ou nous avons effectué le stage ;
- Exploitation des données ;
- Simulation du réseau ;
- Création et calage du modèle à l'aide du logiciel Epanet.

La simulation du modèle à été exécuté avec succès ce qui nous a permet d'établir un état des lieux des paramètres hydraulique sur tout le réseau et nous aidé à comprendre le fonctionnement de notre système.

On remarque de ces résultats de notre zone d'étude concernant les pressions et les débits dans tous les points de réseau sont logiques cela veut dire que le réseau est en bon fonctionnement.

Annexe



Carte du réseau hydraulique de la zone de Sidi Youssef Ben Ali (Échelle : 1/3125)

(Source : RADEEMA)

Bibliographie

[1] **RADEEMA**. Historique de la RADEEMA.

[2] **Rapport de Gestion de la RADEEMA, 2017**, p4, 5.

[3] **Lewis A. ROSSMAN(2003)** EPANET 2.0 Simulation Hydraulique et Qualité pour les réseaux d'Eau sous pression P35-48.

[4] **RADEEMA** les ressources d'alimentation de la ville de Marrakech. RADEEMA.

[5] **GUIDE D'APPLICATION DE LA REGLEMENTATION version 2**, décembre 2016 types de canalisations.

[6] **DINEPA (2013)** Réalisation d'une modélisation hydraulique d'un réseau d'eau potable **Guide technique**.

[7] Laboratoire de Constructions Hydraulique (**Cours Hydraulique des ouvrages**)

[8] **GUYLAIN D.** Cours HYDRAULIQUE DES METIER DE L'EAU, P24.

[9] **ZONGRANA D. (2003)** Cours d'approvisionnement en eau potable. Novembre 2003 P15-23.