



جامعة القاضي عياض
UNIVERSITÉ CADI AYYAD

كلية العلوم
والتقنيات - مراكش
FACULTÉ DES SCIENCES
ET TECHNIQUES - MARRAKECH



DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA TERRE
LICENCE SCIENCES ET TECHNIQUESEAU &
ENVIRONNEMENT

Mémoire de Projet de Fin d'Etudes

Pour l'obtention du diplôme de licence sciences
et techniques

**La simulation hydraulique du réseau d'eau potable
de la zone BELAAGUID (Marrakech)**

Réalisé par : KHLIFI SALMA, KARIMA LEGHZAL

Encadrant RADEEMA : Mr ABBID ABDESSATARE

Encadrant FST : Mr CHAFIKI DRESS

Soutenu: Le 01 juillet 2021

Devant le jury composé de :

M. CHAFIKI Driss

Encadrant

M. AZZIZI Abdelffatah

Examinateur

ANNEE UNIVERSITAIRE : 2020-2021

Dédicaces

A mon très cher papa,

Aucune dédicace ne peut exprimer ce que je ressens pour vous : A toute la tendresse et l'amour dont
m'avez généreusement entouré

A l'ampleur des sacrifices et des souffrances que vous avez endurées pour pouvoir m'éduquer et me voir
heureuse.

A ma très chère maman,

Aucun mot ne saurait exprimer tout mon amour et toute ma gratitude.

Merci pour tes sacrifices le long de ces années. Merci pour ta présence rassurante.

Merci pour tout l'amour que tu procures à notre petite famille...

Puisse Allah vous prêter longue vie et bonne santé afin que je puisse vous garder à mes côtés le plus
longtemps possible.

Je dédie ce travail à mes chers frères et sœurs et à ma meilleure amie, merci d'être part de ma vie

Remerciements

Tout d'abord, je tiens tout particulièrement à remercier la directrice générale de la RADEEMA **Mme HILALI NADIA** pour l'opportunité qu'il nous a donnée, en répondant favorablement à notre demande de stage au sein de l'entreprise.

Nos sincères remerciements à **Mr ABBID ABDESSATARE** chef de division conduites réseau, notre encadrant professionnel au niveau de la RADEEMA Sidi Youssef, on le remercie pour son aide, son indulgence, son attention de tout instant sur nos travaux et pour ses conseils avisés et son écoute. **Mr KONDAH DRISS** chef de département exploitation eau, ainsi que **Mr ELHOUDAIFI MOHTADI**, **Mme GUENOUNI KHADIJA**, **Mme ERRAHOUANE NOURA** et **Mr KARDOUS YOUSSEF** qui n'ont jamais hésité à nous aider durant la période de notre stage.

Nous remercions particulièrement notre professeur **BOURGOINI YAMINA**, Chef de la filière **LST EAU** et **ENVIRONNEMENT** pour sa disponibilité et ses conseils pertinents et son accueil chaleureux à chaque fois que nous avons sollicité son aide. Nous sommes profondément reconnaissantes pour son soutien et ses encouragements.

Nous saisissons aussi l'occasion pour adresser nos remerciements à l'ensemble du corps professoral de la FST et particulièrement la filière **LST EE** pour la richesse et la qualité de leur enseignement et pour les grands efforts déployés pour nous assurer une formation actualisée et digne d'un technicien de l'avenir.

Nous adressons nos vifs remerciements et notre profonde gratitude à notre professeur, **Mr CHAFIKI DRESS** de la faculté des sciences et techniques de nous avoir encadré dans notre stage de fin d'études.

Enfin, que tous ceux qui d'une manière ou d'une autre ont contribué à la réussite de notre travail trouvent ici l'expression de ma profonde gratitude

Sommaire

DEDICACES

REMERCIEMENT

ABREVIATIONS

LISTES DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

Introduction..... 1

Chapter I : Les informations générales sur RADEEMA.

I. Généralité sur RADEEMA	3
1. Historique	3
2. Contexte juridique et institutionnel	4
3. Activités de la RADEEMA.....	4
4. Organisation de la RADEEMA	4
II. Département Exploitation Eau	5
1. Présentation de département	5
2. Les services	6

Chapitre II: Alimentation en eau potable de la ville de Marrakech.

I. Le système d'alimentation en eau potable de la ville de Marrakech.....	9
1. Les ressources superficielles.....	9
2. Les ressources de secours	10
3. Des ressources de souterraines	10
II. Réseau de distribution d'eau potable de la ville de Marrakech.....	10
1. Réservoirs de stockage.....	10
2. Réseau de distribution.....	12
3. Conclusion.....	12

Chapitre III : Etude Bibliographie

I. Introduction.....	13
II. La simulation des réseaux d'AEP.....	13
1. Modèle hydraulique.....	13
2. Logiciel de modélisation.....	14
3. Logiciel EPANET.....	14
4. la simulation hydraulique sur EPANET.....	15

Chapitre IV : simulation hydraulique du secteur BELAAGUID

I. Introduction.....	23
II. Représentation de la zone d'étude.....	23
1. Situation géographique BELAAGUID.....	23
2. L'alimentation en eau du BELAAGUID.....	23
3. Présentation de la problématique BELAAGUID.....	24
III. La construction du model du réseau BELAAGUID.....	26
1. Tracé du réseau sur AUTOCAD.....	26
2. Collecte et préparation de données.....	27
3. Exécution de la simulation.....	30
4. Calage du module.....	33
5. Conclusion.....	36
6. Analyse globale du problème de secteur.....	36
7. Conclusion.....	37
8. Les solutions proposées.....	37
IV. Conclusion.....	39

ABREVIATIONS

AEP : alimentation en eau potable

RADEEMA : régie autonome de distribution d'eau et d'électricité de la ville de Marrakech

ONEE : office national d'eau et d'électricité

AC : amiante ciment

PVC : polychlorure de vinyle

BP : béton précontraint

FD : fonte ductile

PEHD : polyéthylène haute densité

FG : fonte grise

DN : diamètre nominal

DI : diamètre intérieur

ISO : organisation internationale de normalisation

HAB : habitant

HA : hectare

GC : grands consommateurs

NGM : nivellement général du Maroc

LISTE DE FIGURES

Figure 1 : L'agence de la RADEEMA	3
Figure 2 : Organigramme de la RADEEMA.....	5
Figure3 : Organigramme du Département Exploitation Eau.....	6
Figure 4 : carte des ressources d'eaux superficielles de la région de Marrakech.....	9
Figure 5 : logiciel EPANET.....	14
Figure 6: Organigramme de l'algorithme de simulation.....	16
Figure 7 : courbe de la variation de la consommation mensuelle du BELAAGUID.....	23
Figure 8 : Organigramme représentant la source d'alimentation de bas service.....	24
Figure 9 : Délimitation géographique du secteur BELAAGUID.....	24
Figure 10 : Visualisation du réseau d'eau potable étudié sur EPANET.....	26
Figure 11 : Exemple de saisie des données des tuyaux.....	28
Figure 12 : Exemple de saisie des données des nœuds.....	29
Figure 13 : Courbe de modulation BELAAGUID.....	30
Figure 14 : Schéma illustratif du résultat de la simulation hydraulique.....	31
Figure 15 : Variation de pression au niveau du nœud 670.....	31
Figure 16 : Variation de débit au niveau de tronçon 463.....	32
Figure17 : Répartition des points de mesure du débit et pression sur le réseau étudié.....	33
Figure 18 : appareil de débitmètre.....	34
Figure19 : fichier de mesure de débit pour le tuyau 23.....	34
Figure 20 : résultat de calage de débit.....	34
Figure 21 : appareil de mesure de pression (metrolog).....	35
Figure 22 : fichier mesures des pressions au niveau de secteur BELAAGUID.....	35
Figure 23 : résultat de calage de pression.....	36

LISTE DE TABLEAUX

Tableau 1 : Autonomie des réservoirs existants pour l’AEP de Marrakech.....	12
Tableau 2: nature des conduites du réseau d’AEP (RADEEMA, 2014).....	12
Tableau 3 : coefficient de perte de charge pour quelque gamme de tuyau.....	17
Tableau 4 : Les données de sortie de chaque élément.....	21
Tableau 5: Les caractéristiques techniques de la région BELAAGUID(2020).....	24
Tableau 6: les consommations mensuelles d’entrée du secteur BELAAGUID 2019/2020.....	25
Tableau 7 : Consommation journalière d’eau potable 12/08/2019.....	26
Tableau 8: débit horaire	26
Tableau 9 : Dimensions PVC et AC.....	27
Tableau 10 : Caractéristiques techniques des canalisations du réseau.....	27
Tableau 11 : Guide des dotations des besoins en eau.....	28
Tableau 12 : superficie partielle de quelques zones.....	29
Tableau 13 : Caractéristique technique des nœuds du réseau et leurs élévations.....	29
Tableau 14: débit horaire et coefficient de modulation.....	30
Tableau 15 : Exemple de donnée de sortie de quelques tuyaux du réseau	32
Tableau16: Exemple des données de sortie de quelques nœuds du réseau	32
Tableau 17: Nœuds et tuyaux choisis pour effectuer les mesures de pression et de débit.....	33
Tableau 18 : Les solutions retenues et non retenues.....	38

Introduction :

L'eau est nécessaire à la vie, elle représente une précieuse ressource qui se fait de plus en 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.

Nous savons tous que le Maroc est situé dans une zone semi-aride à aride, ce qui fait de lui un pays où le risque de pénurie d'eau est très présent.

A Marrakech, la RADEEMA a ciblé le secteur de distribution d'eau et d'électricité et la gestion d'assainissement, elle a fait de gros efforts pour moderniser de ce secteur visant la généralisation du service sur la ville. Ainsi elle a accompagné la forte dynamique urbaine et touristique de la ville en assurant la continuité des services et en répondant aux besoins de tous les nouveaux projets par la réalisation des extensions nécessaires à l'aboutissement des investissements.

En fait, cela nous amène à utiliser des outils de modélisation et de simulation hydraulique.

Ces outils jouent un rôle important pour assurer la continuité et la qualité de distribution d'eau potable à de grandes populations.

Ce projet réalisé durant la période de stage de 17/05/2021 à 17/06/2021, consiste à réaliser un diagnostic du problème constaté de chute de pression d'eau au niveau de la zone BELAAGUID (douar DRAA), pour ce faire la démarche adoptée consiste à réaliser dans un premier lieu le modèle hydraulique du réseau d'AEP du BELAAGUID, situé au nord de Marrakech, qui a connu un développement spectaculaire ces dernières années. En raison de la croissance démographique, cette évolution a entraîné une augmentation rapide de la demande en eau. La simulation est faite pour vérifier le comportement hydraulique du réseau d'eau potable et de proposer un plan d'action afin de statuer sur la solution la plus optimale pour corriger les anomalies constatées.

Le moyen utilisé pour la modélisation du réseau d'AEP du secteur BELAAGUID est le logiciel EPANET, le logiciel est utilisé pour analyser les réseaux de distribution d'eau potable, l'analyse comprend la simulation du comportement hydraulique et qualitatif de l'eau à long terme dans les réseaux sous pression. La démarche adoptée pour faire la simulation hydraulique est la suivante :

- La numérisation du réseau
- La vérification des données saisies
- La simulation
- Calage du modèle
- analyse de résultat
- proposition des solutions

Ce mémoire comporte ainsi quatre chapitres :

- Le premier chapitre est consacré à la présentation de l'organisme d'accueil (RADEEMA) « ses objectifs et ses activités».
- Le deuxième chapitre aborde l'alimentation en eau dans la ville de Marrakech.
- Le troisième chapitre concerne une étude bibliographique sur la thématique abordée dans le cadre de ce stage de fin d'études.
- Le quatrième et dernier chapitre porte sur la simulation hydraulique du réseau d'AEP du secteur BELAAGUID et la discussion des résultats réalisées

CHAPITRE I : Les informations générales sur RADEEMA.

I. Généralité sur RADEEMA.

1. Historique de la RADEEMA.

La RADEEMA ou régie autonome de distribution de l'eau, d'électricité et d'assainissement a été créée le premier janvier 1971. Le premier janvier 1998, la RADEEMA a pris en charge la gestion du service de l'assainissement liquide suite aux délibérations de la communauté urbaine de Marrakech. (Figure : 1)



Figure 1 : L'agence de la RADEEMA

La Régie est chargée d'assurer à l'intérieur du périmètre urbain et des zones limitrophes de la ville, le service public de distribution d'eau et d'électricité, et d'assainissement liquide. Pour le service assainissement, après la prise en charge de la gestion de ce service en 1998, La RADEEMA a déployé des efforts considérables pour la mise à niveau de ce secteur visant la généralisation du service sur le territoire de desserte, l'amélioration des conditions sanitaires et le respect de l'environnement.

Dix années après, la RADEEMA s'est lancée dans une nouvelle expérience, il s'agit du traitement complet et de la réutilisation des eaux usées épurées pour l'irrigation des espaces verts. A l'heure actuelle le projet est déjà exploité, il s'inscrit dans la stratégie de la gestion intégrée des ressources en eau et permettra à son achèvement de mobiliser une ressource alternative et renouvelable pour l'irrigation des espaces verts notamment des golfs par les eaux usées épurées, Contribuant ainsi au développement urbanistique et touristique de la cité ocre et ses environs.

En perspective, la régie continuera son programme d'assainissement liquide en renforçant son réseau et en s'équipant d'une nouvelle station d'épuration et d'étendre le réseau de réutilisation.

2. Contexte juridique et institutionnel.

La R.A.D.E.E.M.A. est une société publique à caractère commercial, doté 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 personnalité civile et de l'autonomie financière.
- Le règlement intérieur en date du 31 décembre 1970.
- Le Dahir n° 1-03-195 du 11 novembre 2003 portant promulgation de la loi n° 69- 00 relative au contrôle financier de l'Etat 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 financières. La Régie est administrée par un Conseil d'Administration et un Comité de Direction. Outre les relations avec les clients, les Communes Urbaines, le Ministère de l'Intérieur, le ministère des finances, la RADEEMA est en relation avec les autres acteurs et institutions du secteur.

3. Activités de la RADEEMA.

Depuis son arrivée, des efforts supplémentaires ont été consentis pour assurer les services publics de distribution d'eau et d'électricité et la gestion d'un service d'assainissement liquide dans son périmètre d'intervention. Ces trois missions couvrent une zone d'exploitation de 24 000 ha. Les agents de la RADEEMA sont mobilisés pour desservir environ 1 198 688 habitants sur une population totale de 1 229 284 dans leur zone d'intervention, avec un taux de raccordement de 98%. Ses objectifs principaux sont :

- Sauvegarder les ressources en eau potable.
- Améliorer le système de distribution d'eau et d'électricité au sein de la ville de Marrakech.
- Assurer la sécurité de l'approvisionnement et la bonne gestion des services assainissement.

4. Organisation de la RADEEMA.

L'organisation générale de la Régie est articulée autour de quatre directions et quatre départements rattachés directement à la direction générale.

Ci-joint l'organigramme de l'organisme RADEEMA « Figure 2 ».

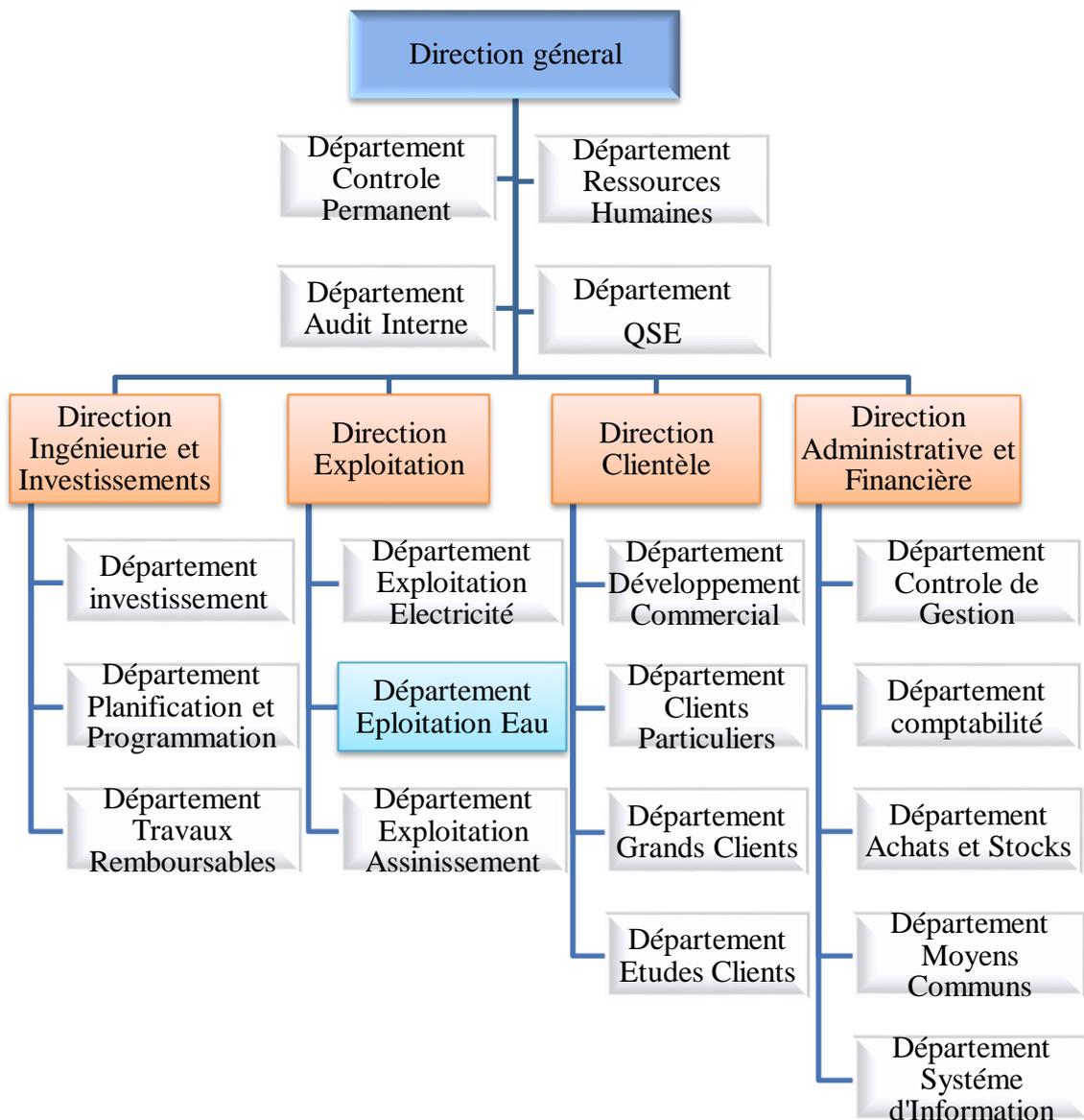


Figure 2 : Organigramme de la RADEEMA

La partie suivante est dédiée à la présentation du département exploitation eau, où nous avons effectué notre stage.

II. Département Exploitation Eau :

1. Présentation de département:

Le stage de fin d'étude a été réalisé au niveau du département exploitation eau de la direction exploitation dont sa mission est d'assurer la production et la distribution de l'eau potable et surveiller sa quantité et sa qualité. Ce dernier est subdivisé en deux services (Fig. 3).

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

L'organigramme suivant présente l'organisation du département exploitation eau potable :

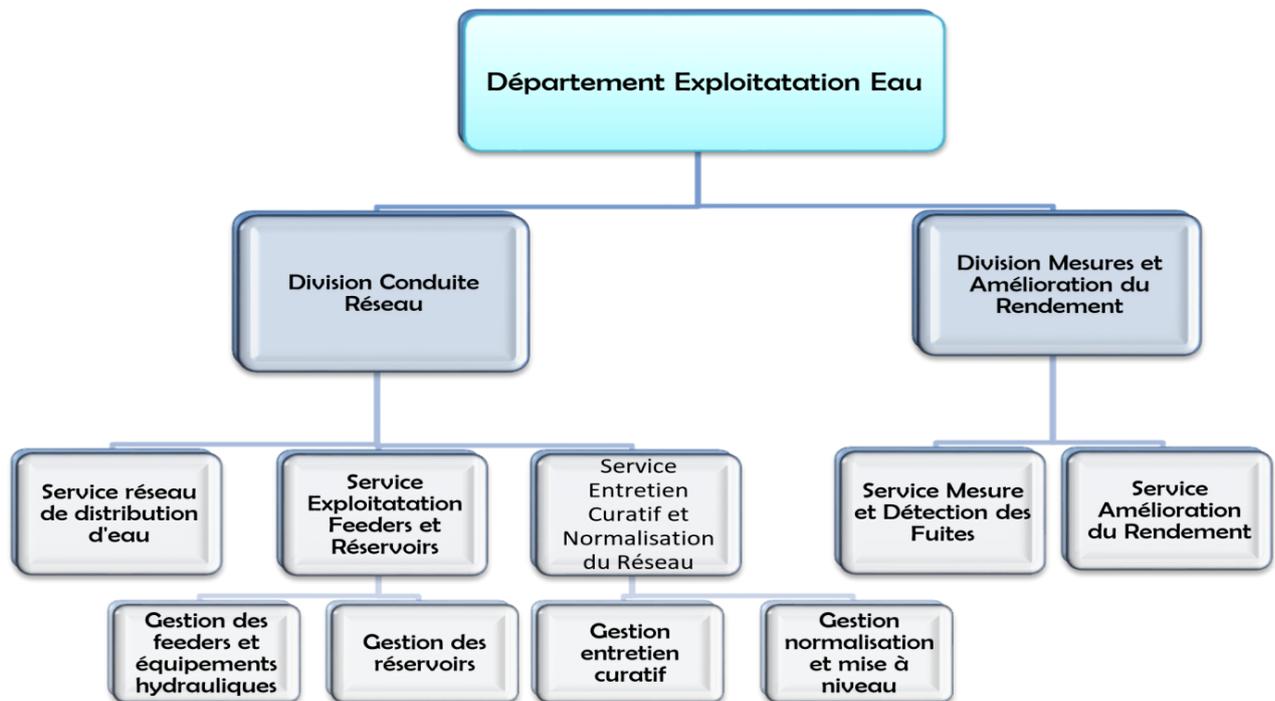


Figure3 : Organigramme du Département Exploitation Eau.

2. Les divisions :

A. Division Conduite Réseau :

La Division Conduite Réseau est subdivisée en trois services : Service réseau de distribution d'eau, Service Exploitation Feeders et réservoirs et Service Normalisation et mise à niveau.

➤ 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 et traitement des réclamations 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 d'eau potable.

➤ **Service Normalisation et mise à niveau**

Il assure différents rôles, à savoir:

- Assure des travaux d'exploitation d'eau potable
- Accueil et réception des réclamations.
- Coordination entre intervention et réparation.
- Assure le suivi des chantiers

A. 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 suivant :

- 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.

CHAPITRE II: Alimentation en eau potable de la ville de Marrakech.

L'alimentation en eau potable de Marrakech est assurée par l'office national de l'eau potable ONEE en tant que producteur exclusif, et par la régie RADEEMA en tant qu'organisme de distribution.

I. Le système d'alimentation en eau potable de la ville de Marrakech.

L'alimentation de Marrakech est garantie par les ressources en eau potable, ils sont constitués de 2% d'eaux souterraines du volume mobilisé et 98% d'eaux superficielles. Ces 98% sont secouées elles même par d'autres ressources de secours :

1. Les ressources superficielles :

Elles sont mobilisées à partir du barrage sidi Driss qui lui-même alimenté par le barrage Hassan premier. Elles sont véhiculées par le canal de Rocade d'une longueur de 118 km et capacité de transit de $12 \text{ m}^3 / \text{s}$. La prise d'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 branche eau. Cette alimentation est sécurisée partiellement grâce aux ressources de l'oued N'FISS, qui sont mobilisées à partir du barrage LALLA TAKERKOUST pour alimenter la station de traitement en eau brute en cas de problèmes au niveau du canal Rocade.

La carte ci-dessous montre les différentes ressources d'eaux superficielles dans la région de Marrakech

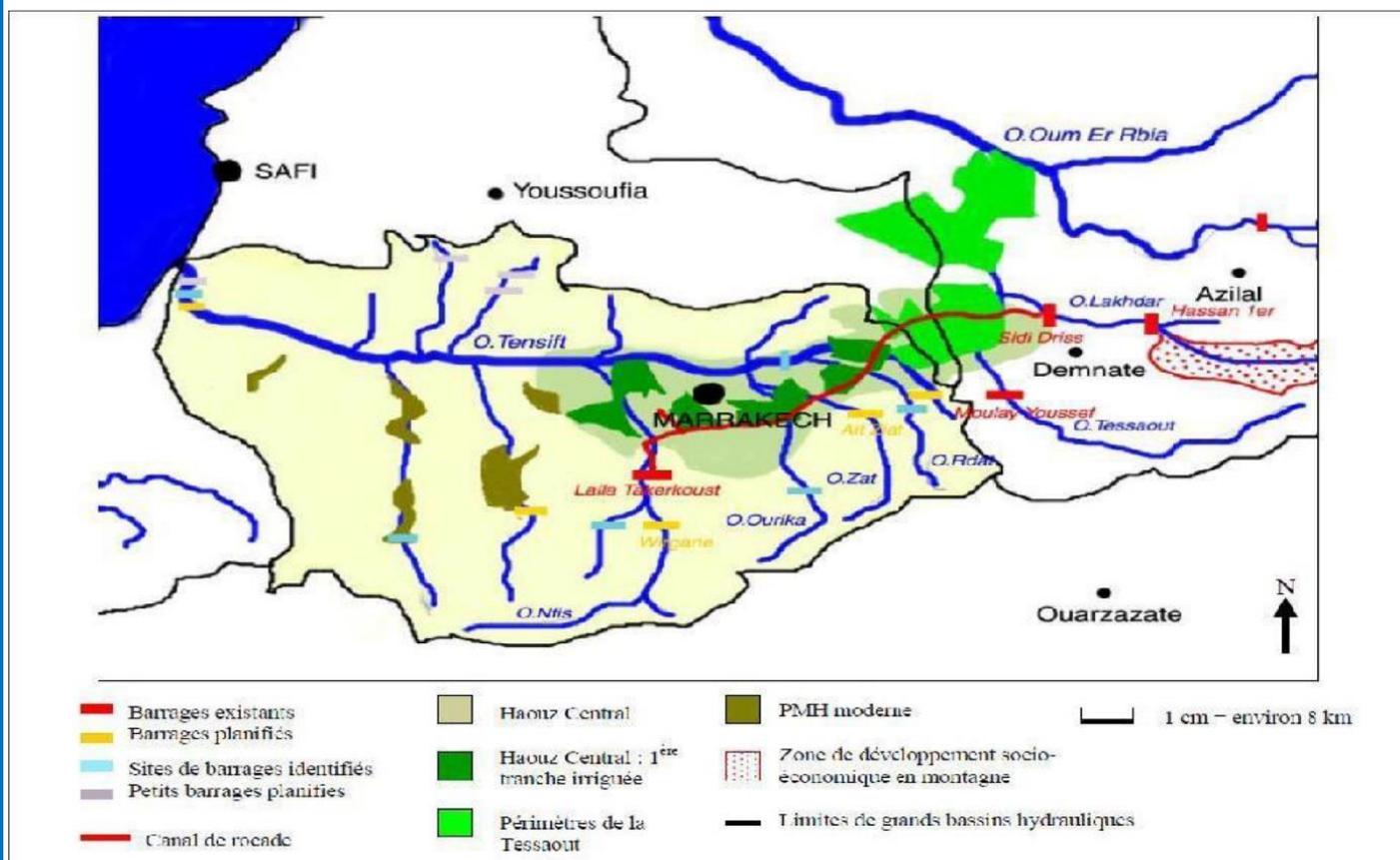


Figure 4 : carte des ressources d'eaux superficielles de la région de Marrakech

2. Des 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 précité vers les périmètres irrigués de Marrakech.

Elle est utilisée en cas de problème au niveau du canal de rocade (canal en chômage, baisse du niveau d'eau dans le canal ou pollution accidentelle, fortes charges en suspension).

3. Les ressources 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, MENARA I** et **MENARA II**.

Le débit total équipé s'élève à 1 734 l/s, alors que le débit exploitable atteint à peine 114 l/s. En effet, la capacité des ressources souterraines a connu une chute importante au fil des années.

II. Réseau de distribution d'eau potable de la ville de Marrakech :

Le réseau de distribution régi par la RADEEMA est subdivisé en trois étages de pression : l'étage très haut service (THS), l'étage haut service (HS) et l'étage bas service (BS) organisés en plusieurs secteurs stabilisés :

- L'étage très haut service est alimenté par le réservoir 50 000 m³ du haut service moyennant un réservoir surélevé de capacité 500 m³, il alimente la commune **TASOULTANTE** et les projets touristiques **CHRIFIA** et Argan.
- L'étage haut service est alimenté à partir du réservoir 50 000 m³ (Radier à 549 m N.G.M) il alimente la zone Sud de la ville et la zone Ain SLIM et subdivisé en neuf secteurs hydrauliques.
- L'étage bas service est alimenté à partir des réservoirs de Sidi Moussa (réservoir 500 m³ et 50 000 m³, radier à 490 m N.G.M).il alimente la zone Nord de la ville et subdivisé en quatorze secteurs hydrauliques.

1. Réservoirs de stockage :

Un réservoir est une construction en génie civil destinée à entreposer l'eau, et placée en général sur un sommet géographique pour permettre de la distribution sous pression. Pour le cas de la RADEEMA, il existe quatre réservoirs :

- Trois réservoirs semi-enterrés
- Un réservoir surélevé

a) Réservoirs de Sidi Moussa (HS)

- **Réservoir 50 000 m³**

Le réservoir 50 000 m³ de Sidi Moussa situé dans le complexe hydraulique Sidi Moussa, sur la route d'OURIKA, ce réservoir est alimenté exclusivement à partir de la station de traitement l'ONEE, et alimente l'étage haut service de Marrakech. Le réservoir comprend actuellement trois cuves semi-enterrées indépendantes en béton armé, dont les capacités sont 12 500 m³, 12 500 m³, 25 000 m³

b) Réservoir surélevé (THS)

Le Réservoir 500 m³ surélevé de Sidi Moussa : Un château d'eau de 500 m³ de capacité alimenté par une station de pompage. Ce réservoir alimente l'étage très haut service de la ville de Marrakech.

c) Réservoirs de la route d'OURIKA (BS)

Cet étage est situé sur la route d'OURIKA, dans la zone touristique de Marrakech. Il est constitué de deux réservoirs de capacité différente.

- **Réservoir 55 000 m³**

Le réservoir 55 000 m³. La cuve de ce réservoir est constituée de sept cellules indépendantes. A partir de ce réservoir prennent départ les deux conduites principales de distribution de l'étage bas service :

- conduite d'alimentation à partir de forage
- conduite d'alimentation à partir de la station de traitement

- **Réservoir 30 000 m³**

Le réservoir 30 000 m³. La cuve de ce réservoir est constituée de trois cellules indépendantes. Ce réservoir assure les fonctions suivantes :

- l'autonomie pour au moins une durée de 12 h
- la mise en pression du réseau de desserte des bornes fontaines, ou du réseau de distribution.
- la régulation automatique du fonctionnement du groupe de pompage équipant l'ouvrage de captage équipant l'ouvrage de captage.
- une sécurité en matière de protection contre l'incendie.

Le tableau ci-dessous récapitule les caractéristiques techniques des sites de stockage d'eau de la ville de Marrakech :

Complexes hydrauliques	Nombre de réservoirs	Capacité totale (en m ³)	Date de mise en service
Route d'OURIKA	2	55 000	1961 : 1ères cellules 1972 : extension m ³ 2015 : 3 cuves supplémentaires de 30 000m ³
		30 000	
Sidi MOUSSA	2	50 000	1994 : 1ères cellules 2000 : extension 2008 : extension 2013 : Réservoir surélevé de 500 m ³
		500	

Tableau 1 : Autonomie des réservoirs existants pour l'AEP de Marrakech

2. Réseau de distribution :

Le réseau de distribution est une structure permettant de garantir l'approvisionnement en eau potable d'une zone (ville, village, résidence, etc.).

Le réseau de distribution de la RADEEMA totalise un linéaire de 2871 km (RADEEMA. 2017) de conduites de différentes natures : béton précontraint, amiante ciment, fonte grise, fonte ductile, PVC, polyéthylène, de diamètres allant jusqu'à 1200 (mm).

Nature	PE	BP	PVC	AC	FD	FG	Totale
Linéaire en km	229,4	55,8	1503,9	718,2	15,9	35,7	2558,9
%	8,96	2,18	58,77	28,06	0,62	1,39	100

Tableau 2: nature des conduites du réseau d'AEP (RADEEMA, 2014)

3. Conclusion :

Cette partie a donné un aperçu global sur les activités RADEEMA et aussi une présentation de réseau de distribution de Marrakech

Problématique de notre PFE

La problématique qu'on va étudier dans le présent mémoire de fin d'étude est le problème de chute de pression de la zone BELAAGUID. Pour résoudre le problème on a procédé dans un premier lieu de faire une simulation hydraulique du réseau d'eau de BELAAGUID à l'aide d'un outil de simulation (EPANET), la simulation est un outil pour clarifier la situation au niveau de notre zone d'étude.

Chapitre III : Etude bibliographique

I. Introduction

Ce chapitre est consacré à la présentation d'une étude bibliographique sur le sujet abordé dans le cadre de notre stage. Le but de cette recherche s'est d'expliquer le principe de la simulation hydraulique et son rôle 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 simulation 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 des réseaux d'AEP

La simulation c'est l'établissement d'un modèle mathématique ou physique destiné à étudier ou à tester un système, un phénomène ou un appareil. Le modèle prend dans la majorité des cas la forme d'une série d'hypothèse concernant le fonctionnement du système et qui sont exprimés à l'aide de relation mathématique, logique ou symbolique entre les entités.

1. Modèle hydraulique

Le modèle hydraulique assume un rôle fondamental, permet de connaître le fonctionnement hydraulique du réseau sur les différents horizons actuels et futurs et aussi d'estimer les besoins en renforcement et en extension du réseau.

Avant de construire ce modèle, il est nécessaire de rassembler une énorme quantité de données sur le réseau. Il y a plusieurs façons de rassembler ces données et les sources pour les obtenir varient fréquemment entre organisations responsables de ces réseaux. De plus, chaque organisation développe une stratégie propriétaire pour la structuration de ces informations ce qui oblige à un traitement différencié pour chaque cas.

- Carte cadastrale, numérisée ou pas, avec les informations sur les conduites, connectivité, matériel, diamètre, l'emplacement d'autres éléments comme les réservoirs, stations de pompes et vannes.
- Carte topographique avec les courbes d'altitude ou disponibles sous la forme de modèle numérique d'élévation.
- Registre de données de gestion opérationnelle, comme par exemple, les débits ou taux de production des stations de traitement ou de pompage, l'information volumétrique des consommations des abonnés ou l'information des niveaux des réservoirs.
- Les informations de consommation volumétrique ou de facturation.

2. Logiciel de modélisation

A présent les outils de modélisation dont leurs mission est de concevoir, gérer et prévoir l'évolution des ouvrages hydrauliques et la qualité de l'eau distribuée sont devenus indénombrables, parmi les logiciels adoptés nous avons utilisé EPANET ; la partie suivante présente le logiciel EPANET avec ses fonctionnalités :

3. Logiciel EPANET

EPANET est un logiciel de simulation du comportement hydraulique et qualitatif de l'eau sur de longues durées dans les réseaux sous pression. Ci-dessous un aperçu sur l'interface de EPANET

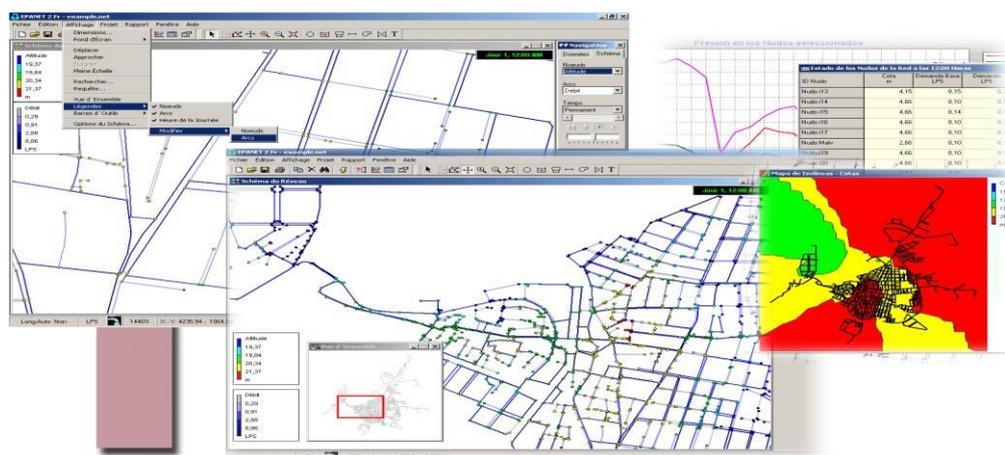


Figure 5 : logiciel EPANET

Le logiciel permet de calculer :

-  Le débit dans chaque tuyau et la pression à chaque nœud
-  Le niveau de l'eau dans les réservoirs
-  La concentration en substances chimiques dans les différentes parties du réseau, au cours d'une durée de simulation divisée en plusieurs étapes.
-  Le temps de séjour et de suivre l'origine de l'eau.

EPANET a pour objectif une meilleure compréhension de l'écoulement et de l'usage de l'eau dans les systèmes de distribution. Il peut être utilisé pour différents types d'application dans l'analyse des systèmes de distribution. Le logiciel offre une aide à la recherche de stratégies alternatives pour gérer le réseau.

Il contient un moteur de calcul hydraulique moderne ayant les caractéristiques suivantes :

- La taille du réseau étudié est illimitée.
- Pour calculer les pertes de charge dues à la friction
- Il inclut les pertes de charge singulières aux coudes, aux tés, etc.

- Il peut modéliser des pompes à vitesse fixe ou variable.
- Il peut calculer l'énergie consommée par une pompe et son coût.
- Il peut modéliser différents types de vannes, comme des clapets anti- retour, des vannes de contrôle de pression ou débit, des vannes d'arrêt, etc.
- Il peut y avoir différentes catégories de demandes aux nœuds, chacun avec une caractéristique propre.
- Il peut modéliser des consommations dépendantes de la pression
- Le fonctionnement de station de pompage peut être piloté par des commandes simples, (heures de marche/arrêt en fonction du niveau d'un réservoir) ou des commandes élaborées plus complexe

4. la simulation hydraulique sur EPANET

Un réseau d'eau potable au niveau du logiciel de **EPANET** se définit par des tuyaux (canalisations), des nœuds (intersection de deux tuyaux et extrémité d'une antenne) mais également d'autres organes (réservoirs, pompes, clapets, différents types de vanne...).

4.1 La démarche de simulation sur EPANET

Les étapes classiques de l'utilisation d'**EPANET** pour modéliser un système de distribution d'eau sont les suivantes :

La figure suivante présente la démarche de la simulation hydraulique avec les éléments correspondants. (Figure : 6)

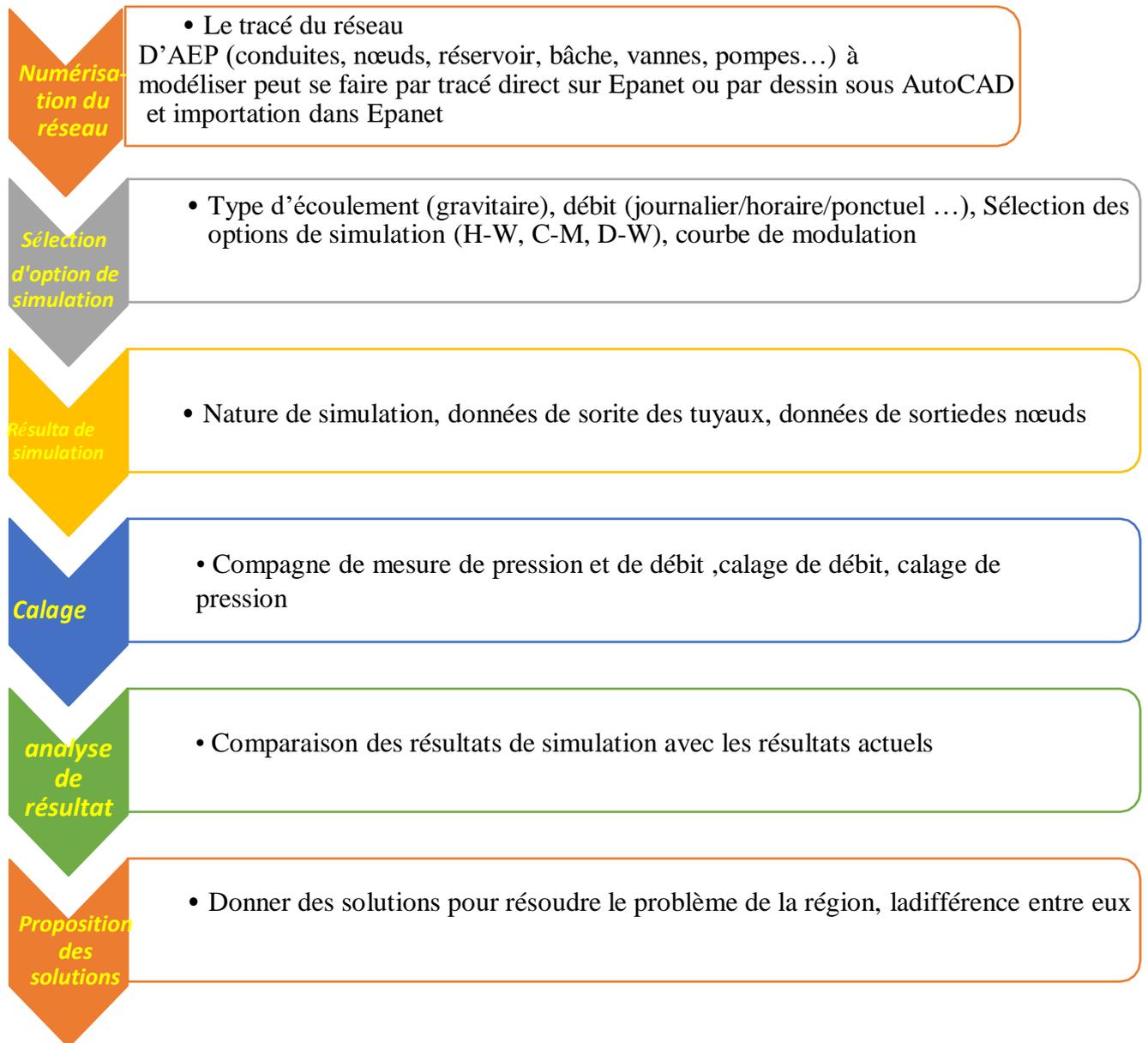


Figure 6 : Organigramme de l'algorithme de simulation

4.2 La numérisation du réseau :

Cette étape consiste à dessiner et à saisir les données du réseau, tels que les diamètres internes et la rugosité pour les canalisations, les altitudes et les demandes de base pour les nœuds ainsi que les caractéristiques des réservoirs et des vannes.

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

Vannes	Conduites	Réservoirs	Nœuds
type de vanne	Diamètre interne	Altitude de radier	Altitude (m)
diamètre (mm)	(mm)	Niveau maximal	Demande de base (l/s)
paramètre de perte de charge	Rugosité	Niveau initial	
	Longueur	Niveau minimal	
	pression		

Le tableau ci-dessus résume les données d'entrée de chaque équipement du réseau :

a) Pour les conduites (les tuyaux) :

Les conduites 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 différenciées selon le matériau principal qui constitue leur structure. Les données à saisir et les sorties de simulation pour les tuyaux :

Données d'entrée

-Diamètre interne
-Coefficient de rugosité
-Longueur
-Etat du tuyau (ouvert ou fermé)



Données de sortie

-Débit
-Vitesse d'écoulement
-Perte de charge

• La rugosité

C'est le premier paramètre à saisir ; il 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. Il a des gammes de tuyaux présente au marché est très large de point de vue nature de la matière de fabrication, les plus utilisés sont :

- ✓ Plastique (PVC et PEHD).
- ✓ Métallique (tuyau en fonte, acier galvanisé).
- ✓ Amiante ciment

Le tableau suivant résume le coefficient de perte de charge compatible pour chaque gamme de tuyau (selon D-W) :

Nature de conduite	Coefficient de perte de charge
AC	0.01
PVC et PEHD	0.001

Tableau 3 : coefficient de perte de charge pour quelques gamme de tuyau

• Longueur des conduites

Le second paramètre à introduire est la longueur des conduites. L'unité de longueur utilisée pour les tuyaux est le mètre.

• Diamètre nominal des conduites

Le diamètre nominal ou DN désigne le diamètre intérieur d'un tube. Selon la norme ISO 6708, le diamètre nominal est indiqué par les lettres DN suivies d'un nombre sans unité correspondant approximativement au diamètre intérieur DI en millimètres (mm). la formule suivante est valable seulement pour PVC et PEHD

$$DI = DN - 2 * (\text{Epaisseur de la paroi})$$

b) les nœuds

Les nœuds sont des points d'intersection et les extrémités des arcs du réseau, Ce sont des points d'entrée ou de sortie d'eau. Les données à saisir et les données de sortie pour les nœuds sont les suivants :

Les données d'entrées

-Altitude
-Demande de base
-La qualité initiale d'eau



les données de sorties

-Charge hydraulique
-Pression
-Qualité de l'eau

- **Altitude des nœuds**

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. Ces cotes au sol sont déterminées en se basant sur Google Earth. Avec une précision de 10 cm, son unité est le mètre (m).

- **Demande de base**

La demande de base est un 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.

a) Les réservoirs

Sont des équipements 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'entrée

- 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.



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 par rapport au niveau marin, à laquelle se situe la base de réservoir qui constitue une référence pour les autres points.

- **Niveau initial**

Il correspond à la hauteur initiale du réservoir

- **Niveau minimal**

Le niveau minimal renvoie à la hauteur relative de la sortie de l'eau pour la distribution.

- **Niveau maximal**

Il correspond à la hauteur relative du déversoir.

b) Les vannes

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

Les nécessaires pour cet équipement sont les suivantes :

Les données d'entrées

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



Les données de sorties

-Le débit
-La perte de charge hydraulique

Après avoir saisi les données nécessaires pour chaque équipement l'étape suivante consiste à choisir dans un premier lieu l'équation de perte de charge la plus optimale pour notre simulation et réaliser une courbe de modulation horaire durant 24h pour exécuter une simulation à longue durée.

4.3 Sélection des options de la simulation

- **L'équation de calcul de perte de charge**

EPANET propose de choisir l'équation des pertes de charge adéquate parmi ces trois: Hazen-Williams, Darcy-Weisbach et Chezy-Manning.

Chezy-Manning :

La formule de Chezy-Manning est généralement utilisée pour les écoulements dans les canaux découverts (écoulement à surface libre) et pour les grands diamètres. La formule de Manning s'écrit de la façon suivante :

$$H_L = \frac{10,294 \cdot n^2 \cdot L \cdot Q^2}{d^{5,33}}$$

d = diamètre du tuyau, en m

HL= perte de charge, en m

L = longueur du tuyau, en m

n = coefficient de rugosité de

Q = débit en m³/s

Hazen-Williams:

Développée pour les débits dans des conduites de diamètre entre 50mm et 150mm, et de vitesse ≤ 3 m/s. on utilise cette méthode seulement pour le régime turbulent. L'équation est définie en unités SI par l'expression suivante :

$$H_L = \frac{10,674 \cdot L \cdot Q^{1,852}}{C^{1,852} d^{4,871}}$$

C: coefficient de rugosité de Hazen-Williams

d: diamètre du tuyau, en m

HL : perte de charge, en m L: longueur du tuyau, en m Q: débit, en m³/s

Darcy-Weisbach :

Utilisée pour tous les diamètres des conduites et pour les faibles vitesses.

Cette méthode est validée pour n'importe quel régime. L'équation de Darcy est :

$$\Delta H = f_D \frac{L}{D_h} \frac{V^2}{2g}$$

Dh : diamètre hydraulique [m]

Fd : coefficient de perte de charge de Darcy [-]

g : accélération de la pesanteur [m·s⁻²] ΔH : perte de charge [m]

L : longueur de la conduite [m]

V : vitesse moyenne du fluide [m·s⁻¹]

Comme on a déjà vu, le réseau de distribution de la RADEEMA est un réseau dont les diamètres varient entre 32 et 500 mm et que le réseau est en charge avec des réservoirs, vu que Chezy-Manning est consacré pour l'écoulement à surface libre et Hazen-Williams ne dépasse pas les 150 mm pour les diamètres des conduites, donc la seule méthode optimale dans notre cas pour réaliser la simulation est Darcy-Weisbach

- **La courbe de modulation**

Pour lancer la simulation du comportement du système, il faut créer une courbe de modulation à 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 :

$$\text{Débit horaire} = \frac{\text{coefficient de modulation}}{\text{la moyenne de tout les debits horaire}}$$

4.4 Résultat de simulation

- **Nature de simulation**

La réalisation de simulation consiste choisir une des deux types de simulation à savoir une simulation permanente et une simulation à longue durée. La simulation permet de décrire le fonctionnement du réseau durant une période déterminée, tout en tenant compte de la variation de la consommation des abonnés au cours du temps.

 **Simulation d'écoulement permanente:** Simulation instantanée pour des conditions de fonctionnement telles que le jour et l'heure de point.

 **Simulation de longue durée:** Indique une succession d'écoulement permanent, pendant lesquels les niveaux d'eau des réservoirs sont mis à jour périodiquement.

La simulation adoptée pour notre PFE est une simulation de longue durée, vu qu'on doit avoir le comportement hydraulique du BELAAGUID pendant 24h.

Une fois les données nécessaires sont toutes introduites à savoir les données des équipements les options de simulation et la nature de simulation, la simulation est prête pour être lancée afin de sortir les éléments de sortie.

Quand on lance la simulation, le logiciel effectue une série de calcul, 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.

Pour chaque nœud on aura les données concernant la charge totale est la pression, tandis que pour les conduites les résultats de la simulation porteront sur la vitesse et les pertes de charge.

Le tableau ci-dessous récapitule les données de sortie de chaque objet :

Objet	Données de sortie
NŒUDS	Charge hydraulique (mètre), Pression (m),
TUYAUX	Débit (l/s), Vitesse (m/s), Perte de charge (m),

Tableau 4 : Les données de sortie de chaque élément

4.5 Calage du modèle

Le calage a pour objectif de rapprocher le comportement du modèle de celui du système réel, il permet de comparer l'évolution des pressions et débits calculées par le modèle mathématique avec celles effectivement mesurées sur le terrain. Le modèle est considéré comme calé lorsque le pourcentage d'erreur entre les valeurs données par le modèle et celles données par les mesures ne dépasse pas 10 %.

Il existe deux types de calage à savoir :

- ✓ Calage de pression.
- ✓ Calage de débit

Si les résultats de la simulation sont proches de la réalité le réseau est considéré fiable. Si non le réseau construit ne reflète pas la réalité.

Chapitre IV : simulation hydraulique du secteur BELAAGUID

I. Introduction

Ce chapitre consiste à réaliser le modèle hydraulique de réseau d'alimentation en eau potable de secteur **BELAAGUID** par logiciel **EPANET** pour comprendre et interpréter le mode réel du fonctionnement du réseau d'AEP.

II. Représentation de la zone d'étude

1. Situation géographique BELAAGUID

BELLAAGUID est une commune rurale située à 5 km au nord de la ville de Marrakech sur la rive droite de l'oued Tensift, elle est traversée du nord vers le sud par la route nationale n° 9 reliant Casablanca et Marrakech ; les habitants de la commune atteignent 7957 hab en 2020, ce qui représente 0.8 % de la population totale de Marrakech (966 987 habitants) étalé sur une superficie de 20 299 639 m².

Les coordonnées et l'altitude approximative de cette commune se présentent comme suit :

- X (m) : entre 249785 et 263610 m
- Y(m) : entre 124173 et 133147 m
- Z (m, NGM) : compris entre 395 et 431m



Figure 7 : Délimitation géographique du secteur BELAAGUID(Image prise par le satellite 2/5/2021)

2. L'alimentation en eau du BELAAGUID

• Descriptif d'alimentation en eau du secteur BELAAGUID

Quant à le volet AEP, le réseau d'alimentation en eau potable de **BELAAGUID** fait partie de l'étage Bas Service stabilisé sous l'effet d'un stabilisateur codé par STAB 7, Placé sur la conduite DN 315 mm PVC qui approvisionne cette zone à partir du réservoir route **OURIKA**, ce réservoir est caractérisé par :

- Une capacité de 85 000 m³
- Une côte radier de 490,06 NGM

- Une côte trop-plein de 494,92 NGM

Le réservoir bas service assure l'alimentation en eau potable à d'autres plans de charge à part notre zone d'étude :

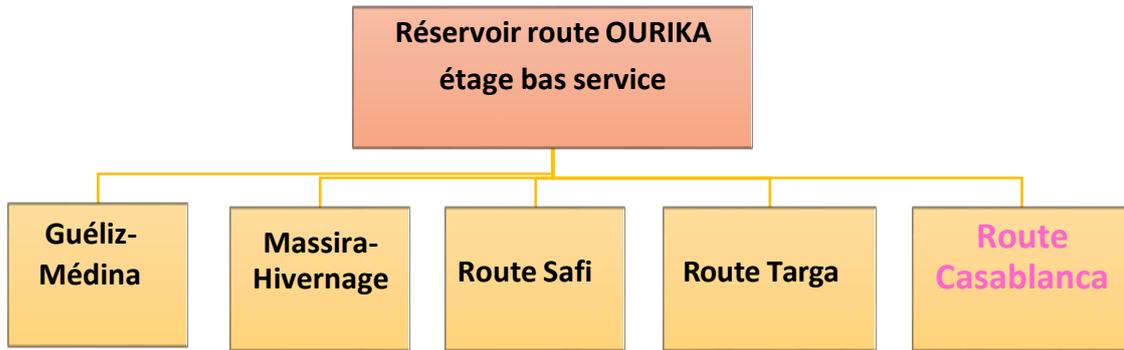


Figure 8 : Organigramme représentant la source d'alimentation de l'étage de bas service
(Source : données RADEEMA)

- **Le cadre technique de BELAAGUID**

Source d'alimentation	Réservoir semi-enterré route OURIKA avec une capacité de 85 000 m ³
Conduite d'alimentation	315 mm
Linéaire de réseau	38.4 km
Nombre d'abonnés	3183
Nombre de branchement	1384

Tableau 5 : Les caractéristiques techniques de la région BELAAGUID(2020)

3. Présentation de la problématique BELAGUID

La zone géographique BELAAGUID souffre des faibles pressions (chute de pression) surtout douar DRAA, le problème s'aggrave surtout en été. (juin-juillet-aout), pendant cette période, la consommation du secteur est la plus élevée, elle augmente progressivement jusqu'à qu'elle atteint sa valeur annuelle maximale comme il est bien clair dans la courbe ci-dessous :

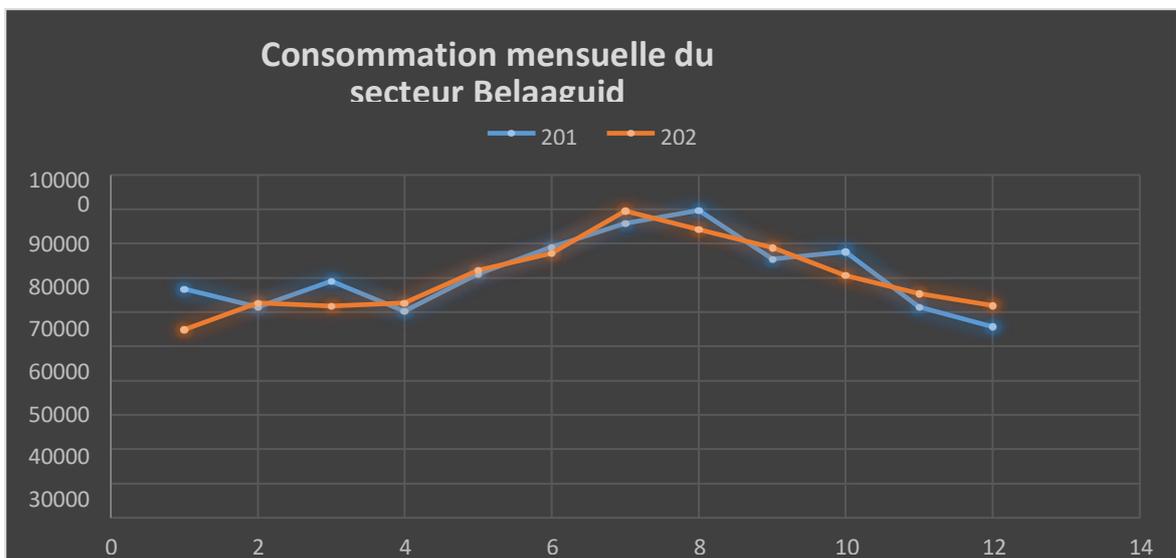


Figure 9 : courbe de la variation de la consommation mensuelle du BELAAGUID

Avant de simuler le réseau existant, il faut choisir la période de l'année pour effectuer notre simulation, vu que la consommation augmente dans la période de juin-juillet-aout, on s'est déclencher sur l'analyse de consommation cette période pour faire la simulation.

- **Etude de consommation du secteur**

Pour voir une idée sur les consommations mensuelles les plus élevées de l'année, on va faire une étude spécifique de ces consommations pendant deux années 2019/2020.

Le tableau ci-dessus présente les consommations mensuelles d'entrée du secteur (m³) des années 2019 et 2020

Mois	2019	2020
Janvier	66733	54881
Février	61572	62733
Mars	69003	61831
Avril	60292	62041
Mai	71125	72250
Juin	78937	77154
Juillet	85870	89523
Aout	89719	84150
Septembre	75575	78826
Octobre	77660	70653
Novembre	61474	65470
Décembre	57742	61884

Tableau 6: les consommations mensuelles d'entrée du secteur BELAAGUID 2019/2020

On constate que la consommation du mois Aout 2019 est la plus élevée durant les deux années mentionnées

Après avoir choisi le mois convenable, on va faire sortir la journée dans laquelle on va effectuer la simulation. Les tableaux ci-dessous présentent les consommations journalières du mois Aout (tab 5)

Et les débits horaires du jour 12/08/2019 (tableau 6)

Date	volume m3
31/08/2019	2370
30/08/2019	2522
29/08/2019	2746
28/08/2019	2686
27/08/2019	2626
26/08/2019	2867
25/08/2019	3074
24/08/2019	2993
23/08/2019	2825
22/08/2019	2769
21/08/2019	2767
20/08/2019	2761
19/08/2019	2949
18/08/2019	2937
17/08/2019	2894
16/08/2019	2974
15/08/2019	2841
14/08/2019	2720
13/08/2019	3386
12/08/2019	3444
11/08/2019	3034
10/08/2019	3096
09/08/2019	3129
08/08/2019	3081
07/08/2019	2928
06/08/2019	2953
05/08/2019	2891
04/08/2019	2915
03/08/2019	2850
02/08/2019	2864
01/08/2019	2827

heure	Débit
00:00	123
01:00	81
02:00	60
03:00	48
04:00	49
05:00	57
06:00	104
07:00	169
08:00	189
09:00	215
10:00	226
11:00	224
12:00	223
13:00	201
14:00	192
15:00	178
16:00	161
17:00	156
18:00	162
19:00	158
20:00	153
21:00	133
22:00	121
23:00	125

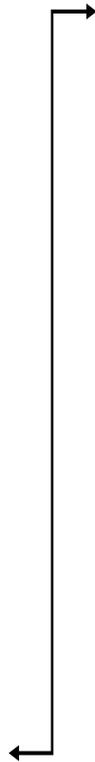


Tableau 7 : consommation journalière d'eau potable 12/08/2019 Tableau 8: débit horaire

III. La construction du model hydraulique du réseau BELAAGUID

1. 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, on l'a exporté vers **EPANET** où il suffit de saisir les caractéristiques avant d'exécuter la simulation.

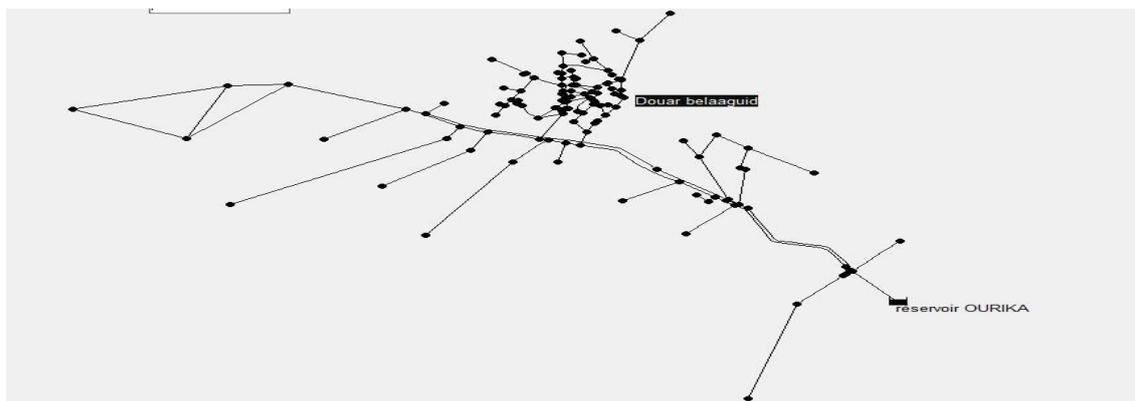


Figure 10 : Visualisation du réseau d'eau potable étudié sur EPANET

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 tronçons

Il faut saisir les caractéristiques suivantes : longueur des conduites, diamètres des conduites, rugosité des conduites (puisque nous allons calculer les pertes de charge par la formule de DARCY-WEISBACH donc nous attribuerons un coefficient de rugosité à tous les tronçons, selon la nature de conduite)

Diamètre externe	Diamètre interne à saisir	Nature	Rugosité
315	277.6	PVC	0.001
225	198.2	PVC	0.001
160	141	PVC	0.001
150	150	AC1	0.1
110	93.8	PVC	0.001
75	63.8	PVC	0.001
90	76.8	PVC	0.001

Tableau 9: Dimensions PVC et AC

Le tableau ci-dessus représente les longueurs, les diamètres, et les rugosités de certains tronçons de notre réseau :

N° tuyau	Diamètre	Rugosité
p73	53.6	0.001
p195	93.8	0.001
p198	141	0.001
p205	93.8	0.001
p351	141	0.001
p463	160	0.1
p464	160	0.1
p553	141	0.001
p558	76.8	0.001
p571	93.8	0.001
p579	76.8	0.001
p597	93.8	0.001

Tableau 10 : Caractéristiques techniques des canalisations du réseau

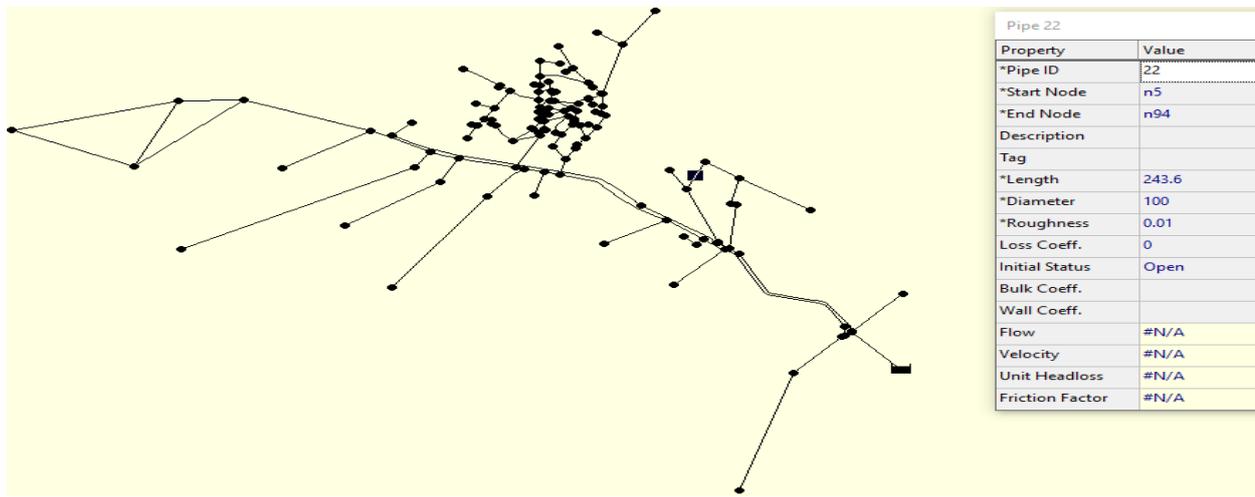


Figure 11 : Exemple de saisie des données des tuyaux

✓ **Les nœuds**

❖ **La demande de base des nœuds :**

Paramètre propre aux nœuds : il s'agit d'insérer la demande en eau dans chacun d'eux en l/s

Le tableau ci-dessous présente la consommation moyenne totale du secteur (Aout 2019)

La consommation mensuelle (m3 /mois)	Demande de base (l /s)
89719m ³	33,5 l/s

Ces besoins ont été repartis aux nœuds comme suit :

- identification des différents types des consommateurs (grands et petits)
- affectation d'un part de la demande aux GC situés aux environs de la zone par dotation.

Type d'habitat	Dotation
Ecole	5m ³ /j
Dispensaire	5m ³ /j
Hôtel	500 l/j/lit
Riad	200 l/j/hab
Mosquée	3m ³ /j

Tableau 11: Guide des dotations des besoins en eau (source la RADEEMA)

On affecte le reste de la demande de base aux nœuds de douar par la méthode desuperficie.

La méthode superficie consiste à calculer dans un premier lieu la superficie partielle pour chaque zone de douar en se basant sur Google Mapp, on la calcule comme suit :

-Superficie de douar : 461570.21 m²

-Le reste de la demande de base : 20.776 l/sExemple de calcul du nœud 501 :

461570.21 20.776 l/s

13990.55 0.63 l/s

Nœud	superficie partielle m2	demande base
501	13990,55	0,63
344	5213,5	0,23
408	8757,65	0,39
282	9823,79	0,44
7	5248,35	0,24

Tableau 12 : superficie partielle de quelques zones de douar

N0 nœud	demande de base	Élévation
n3	0.2	404
n5	2.82	408
n35	0.114	405
n48	0	404
n51	0.03	404
n64	0.6	404
n93	0.4	405
n94	0.11	407
n95	0.11	408
n99	0.03	407
n104	0.06	404
n138	0	406
n164	0.1	408
n167	0.31	408
n172	0.31	408
n178	0.26	410
n183	0.14	410
n185	0.15	412

Tableau 13 : Caractéristique technique des nœuds du réseau et leurs élévations

Les altitudes et les demande de base sont les données d'entrées pour les nœuds (fig12.) représente l'exemple de saisie des propriétés du nœud 345

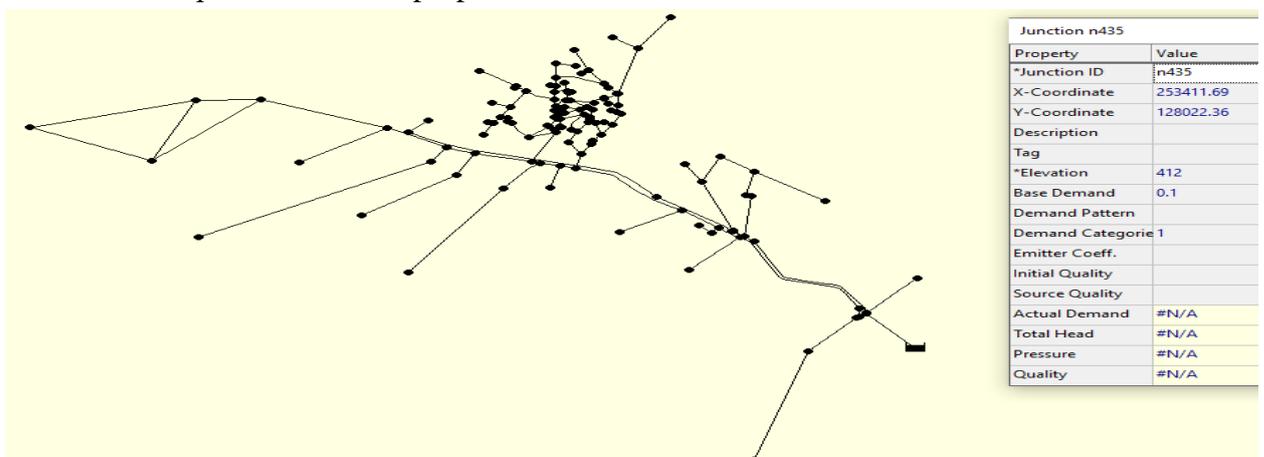


Figure 12 : Exemple de saisie des données des nœuds

- **Courbe de modulation**

Des variations de la consommation sont observées au cours d'une journée. Pour tenir compte de ces fluctuations, des modèles de consommateurs sont créés. L'analyse des mesures globales nous permet de définir pour chaque réseau cette variation horaire. Les résultats sont suite à

l'application de la formule (page22)

Le moyen des débits horaire est égal à **146,17**, donc le coefficient de modulation du secteur pour chaque heure est résumé dans le tableau suivant :

heure	Débit (m ³ /h)	Coefficient de modulation
00:00	123	0,84
01:00	81	0,55
02:00	60	0,41
03:00	48	0,33
04:00	49	0,34
05:00	57	0,39
06:00	104	0,71
07:00	169	1,16
08:00	189	1,29
09:00	215	1,47
10:00	226	1,55
11:00	224	1,53
12:00	223	1,53
13:00	201	1,38
14:00	192	1,31
15:00	178	1,22
16:00	161	1,10
17:00	156	1,07
18:00	162	1,11
19:00	158	1,08
20:00	153	1,05
21:00	133	0,91
22:00	121	0,83
23:00	125	0,86
moyenne	146,17	

Tableau 14 : débit horaire et coefficient de modulation

-Ces coefficients doivent être introduits au niveau de la boite de dialogue ci-dessous pour obtenir la courbe de modulation :

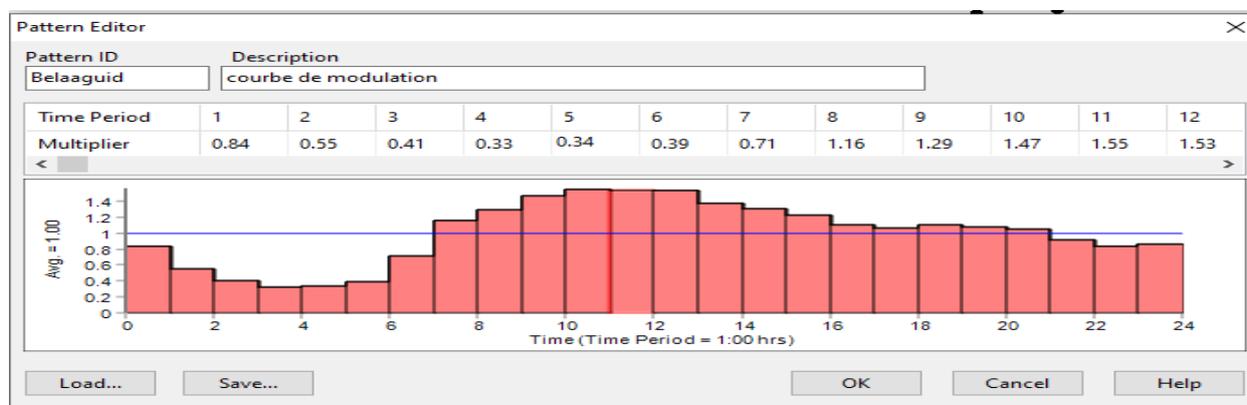


Figure 13 : Courbe de modulation BELAAGUID

3. 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 » comme La figure ci-dessous la montre

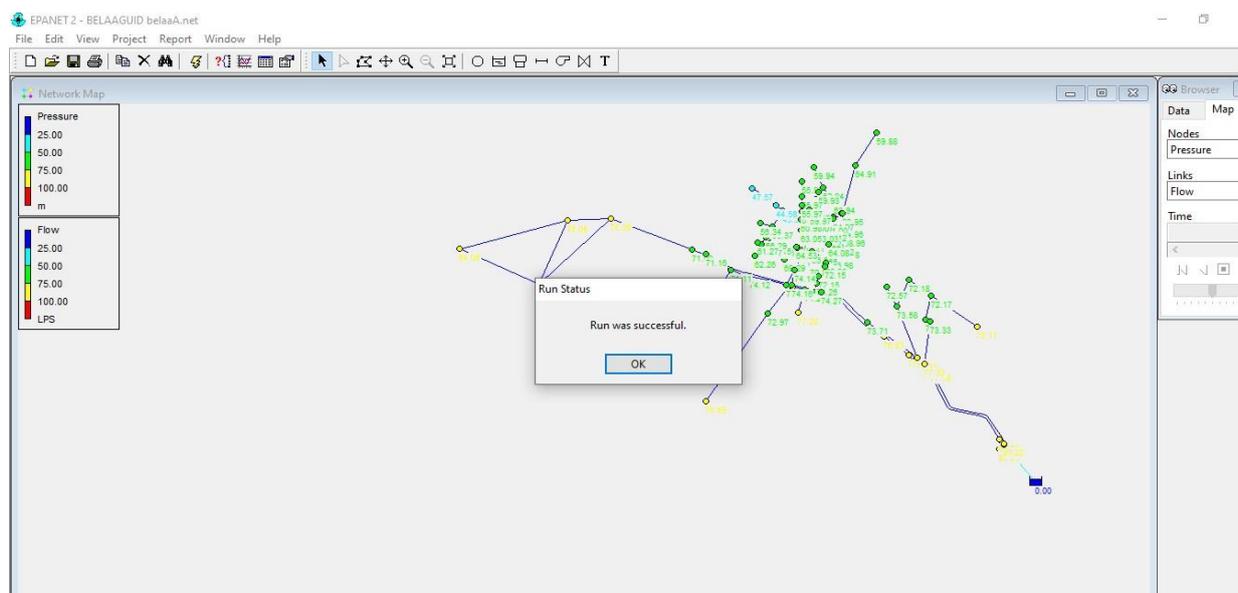


Figure 14 : Schéma illustratif du résultat de la simulation hydraulique.

- **Analyse des résultats de simulation**

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

Les résultats de simulation avant calage sont affichés sous forme des courbes de variation pression, de débit, et de vitesse au niveau des nœuds et conduites.

Exemple de courbe de pression au niveau du nœud 670 durant 24h.

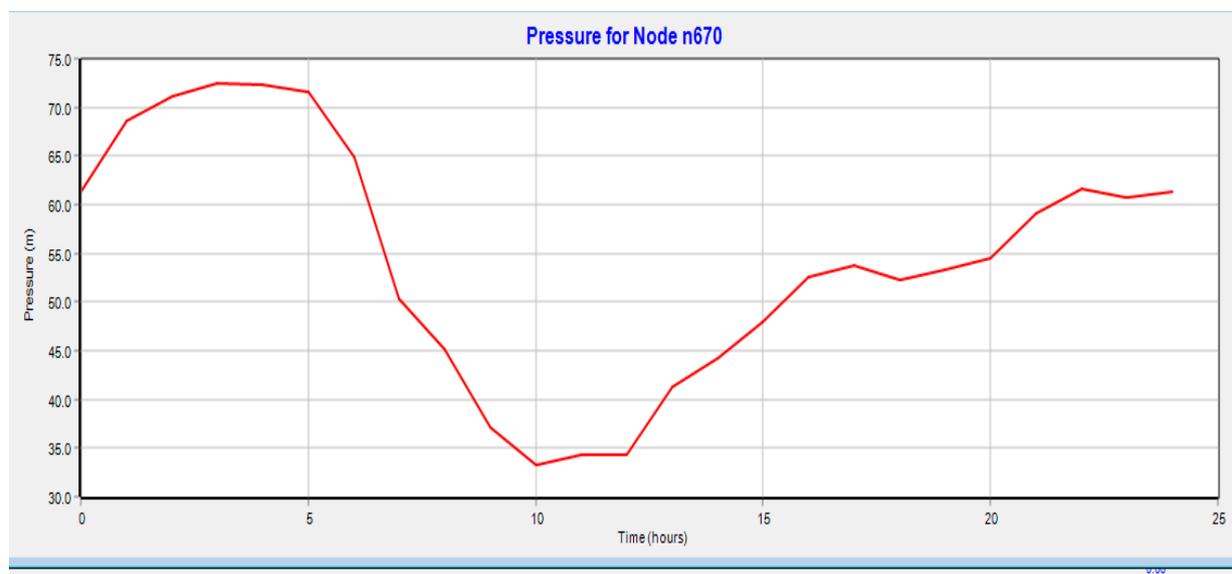


Figure 15 : Variation de pression au niveau du nœud 670

L'analyse des mesures obtenues montre que les valeurs de pression subissent une légère chute entre 09h00 et 13h00, ce qui est dû à l'augmentation de la consommation durant cette période de la journée.

Exemple de courbe de débit au niveau de tronçon 463 :

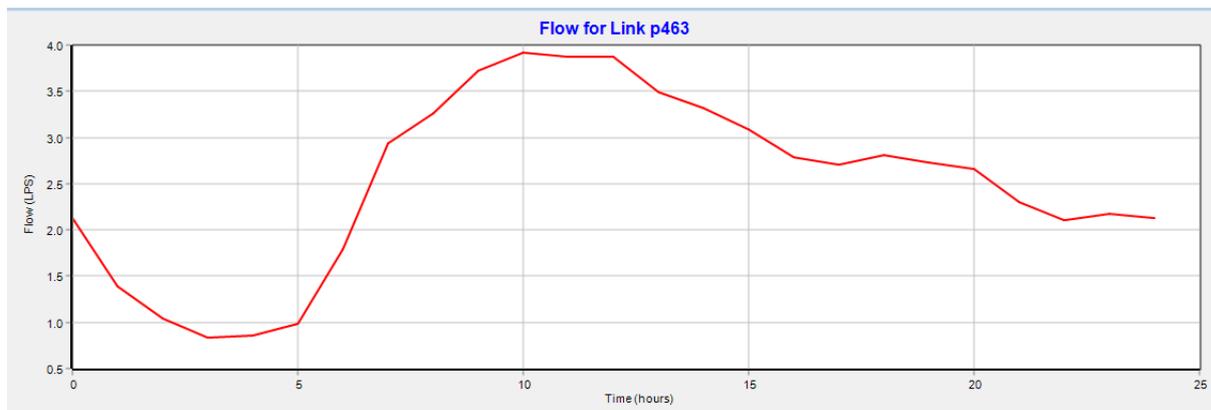


Figure 16 : Variation de débit au niveau de tronçon 463

- **Analyse des résultats de simulation**

L'analyse des mesures obtenues montre que les valeurs de pression subissent une légère chute entre 09h00 et 13h00, ce qui est dû à l'augmentation de la consommation durant cette période de la journée.

La courbe de débit donnée montre que, la période de pointe horaire est focalisée sur 10h du matin.

-Après la simulation on peut faire extraire du logiciel les données de sortie. Pour chaque nœud on aura les données concernant la charge totale est la pression, et pour les tronçons les résultats de la simulation porteront sur le débit, la vitesse et les pertes de charge.

Le tableau ci-dessous résume un exemple des données de sorties de certains tronçons :

N ^o tuyau	Débit (l/s)
558	2.85
571	2.69
614	7.69
29	6.81
30	4.60
31	1.58
48	1.26

Tableau 15 : Exemple de donnée de sortie de quelques tuyaux du réseau

Le tableau ci-dessus présente un exemple des données de sorties de quelques nœuds

Id nœud	Charge totale	Pression
n3	481.77	77.77
n5	480.18	72.18
n35	480.17	75.17
n48	481.33	77.33
n51	481.33	77.33
n64	481.58	77.58
n93	480.87	75.87

Tableau 16: Exemple des données de sortie de quelques nœuds du réseau

4. Calage du modèle

Le calage a pour objectif de vérifier la crédibilité du modèle mathématique réalisé, il permet de comparer les valeurs des pressions et débits calculées par le logiciel avec celles effectivement mesurées sur le terrain. Le modèle est considéré comme calé lorsque le pourcentage d'erreur entre les valeurs de sortie du modèle et les mesures réalisées sur terrain ne dépasse pas 10% quant à la pression et 5% pour le débit selon la référence <la modélisation dynamique>.

Pour effectuer le calage du modèle du réseau d'eau potable, on va se baser sur les mesures qui sont réalisées sur terrain le 09/06/2021 (RADEEMA, 2021) au niveau de certains nœuds et tuyaux éparpillés sur toute l'étendue du réseau.

Mesures de pression	Nœuds 712 ; 757 ; 1049
Mesures de débit	Tuyau 23

Tableau 17: Nœuds et tuyaux choisis pour effectuer les mesures de pression et de débit

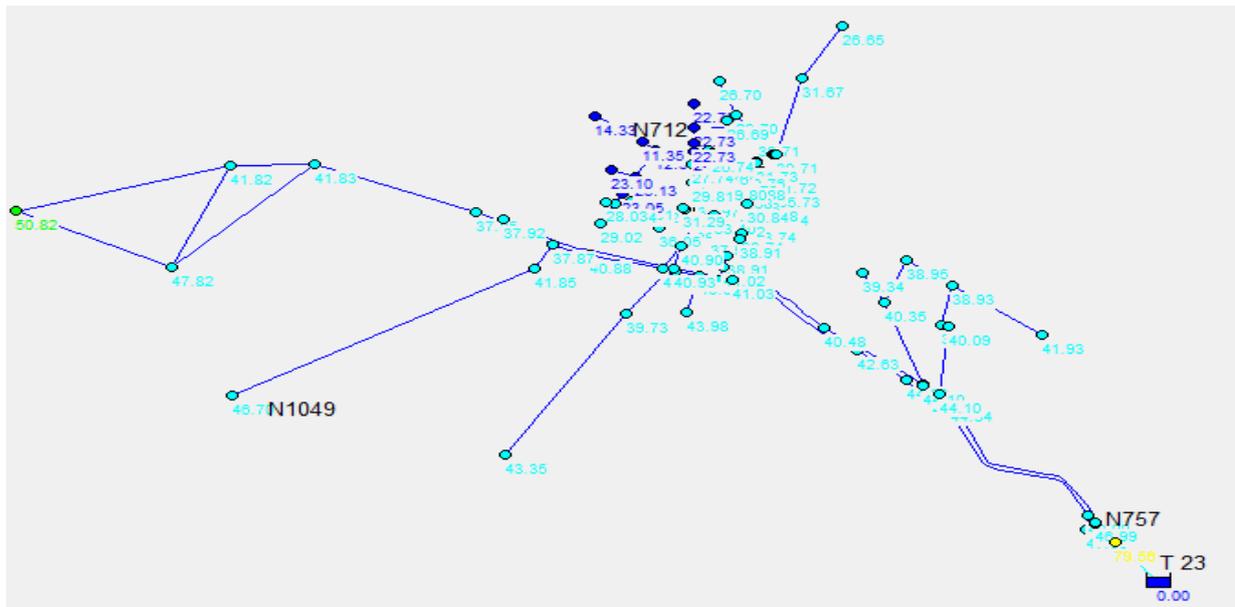


Figure17 : Répartition des points de mesure du débit et pression sur le réseau étudié

a) Calage débit

- ✓ Appareil de mesure débit



Figure18 : L'appareil de débitmètre

Le fichier ci-dessous représente des débits horaires (m³/h) mesurées sur terrain au niveau du tronçon23 de notre réseau pendant 24h :

Fichier	Edition	Format	Affichage	Aide
23	00:00	22.22		
	01:00	13.61		
	02:00	11.11		
	03:00	10.27		
	04:00	11.66		
	05:00	11.66		
	06:00	18.33		
	07:00	23.61		
	08:00	31.11		
	09:00	35.83		
	10:00	44.16		
	11:00	50		
	12:00	51		
	13:00	51.6		
	14:00	50.55		
	15:00	45.55		
	16:00	41.11		
	17:00	41.66		
	18:00	40		
	19:00	37.22		
	20:00	36.94		
	21:00	34.44		
	22:00	33.61		
	23:00	30.56		

:

Figure19 : fichier de mesure de débit pour le tuyau 23

✓ **Résultat calage**

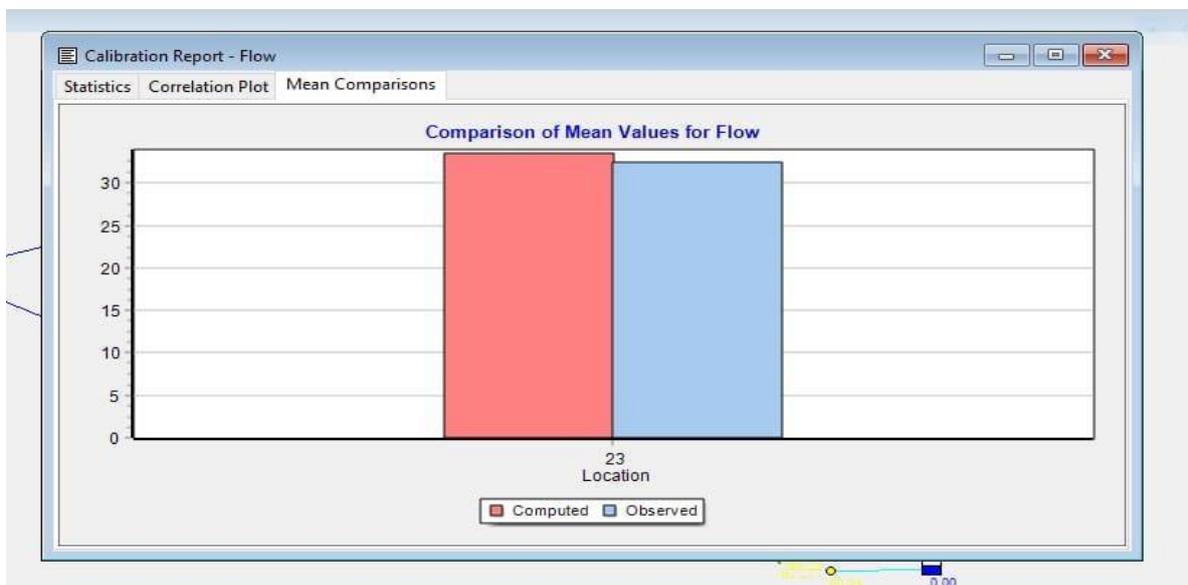


Figure20 : résultat de calage de débit

D'après le graphique, on constate que le diagramme représentant les valeurs moyennes mesurées et celles calculées sont proches, avec un taux d'erreur de 4.8%, donc le réseau est fiable et reflète la réalité.

b) Calage pression.

Cette opération consiste à réaliser des mesures sur terrain dans trois points, l'appareil utilisé dans la mesure est illustrée dans la photo suivante :

✓ **Appareil de mesure pression**



Figure 21 : appareil de mesure de pression (metrolog)

Le fichier ci-dessous illustre les résultats des pressions en (m) mesurées sur terrain pendant 24 h dans trois points (757, 1049,712) de notre réseau :

Fichier	Edition	Format	Affichage	Aide	Fichier	Edition	Format	Affichage	Aide	Fichier	Edition	Format	Affichage	Aide
757	00,00	36			1049	00,00	28			712	00,00	15		
	01,00	31				01,00	24				01,00	3		
	02,00	31				02,00	23				02,00	-1		
	03,00	31				03,00	23				03,00	0		
	04,00	31				04,00	23				04,00	0		
	05,00	31				05,00	23				05,00	0		
	06,00	45				06,00	33				06,00	-1		
	07,00	47				07,00	38				07,00	0		
	08,00	53				08,00	40				08,00	15		
	09,00	54				09,00	40				09,00	14		
	10,00	52				10,00	36				10,00	11		
	11,00	49				11,00	29				11,00	3		
	12,00	48				12,00	28				12,00	-1		
	13,00	49				13,00	29				13,00	-1		
	14,00	52				14,00	33				14,00	2		
	15,00	55				15,00	38				15,00	5		
	16,00	55				16,00	39				16,00	5		
	17,00	54				17,00	38				17,00	7		
	18,00	54				18,00	37				18,00	11		
	19,00	55				19,00	39				19,00	15		
	20,00	54				20,00	37				20,00	14		
	21,00	55				21,00	40				21,00	13		
	22,00	55				22,00	41				22,00	13		
	23,00	45				23,00	35				23,00	16		

Figure 22 : fichier mesures des pressions au niveau de secteur BELAAGUID

✓ Résultat calage de pression.

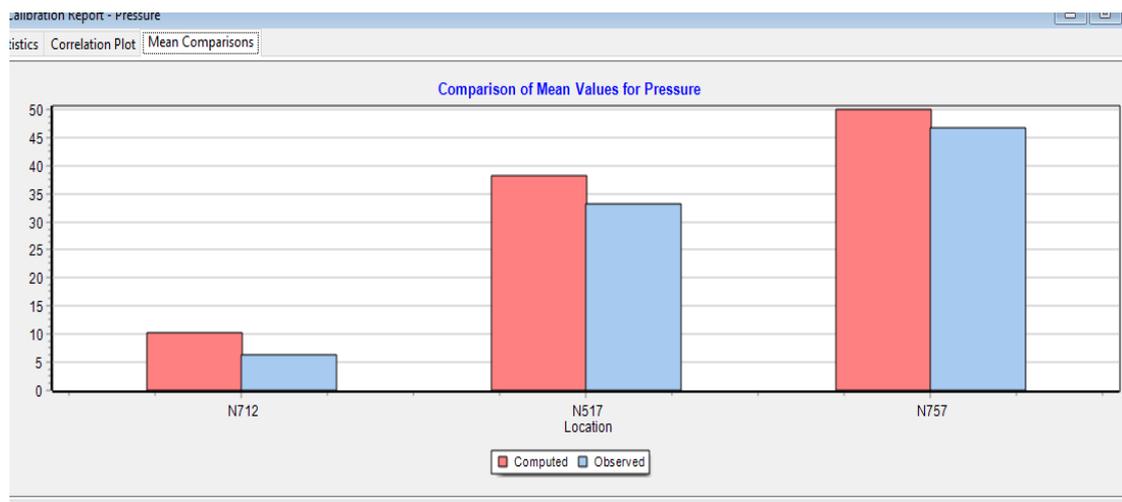


Figure 23 : résultat de calage de pression

Les résultats de calage montrent que le pourcentage d'erreur est compris entre 4% et 7% ne dépasse la marge tolérable 10%. Ceci montre une bonne qualité de calage du modèle.

5. Conclusion.

D'après l'étude réalisée dans le cadre de notre projet, il a été constaté que les valeurs moyennes mesurées et celles calculées sont proches et que le pourcentage d'erreur dans les trois points est inférieur à 10%. Ceci montre une bonne estimation du modèle et qu'il est valable.

6. Analyse globale du problème de secteur.

D'après les résultats de la simulation et les données acquises du secteur, **BELAAGUID** qui se situe à l'extrémité du réseau provenant du réservoir OURIKA (14.5 km de distance), et comme on a déjà cité auparavant, la zone et plus précisément douar DRAA souffre des chutes de pression pendant les heures de pointes (entre 11h et 16h), le problème s'accroît plus en période chaude de l'année et aux heures de pointes dont le tirage d'eau est très important. L'un parmi les causes probables à ce genre de problème on peut citer :

- La topographie de la zone : vu à la différence d'altimétrie entre l'entrée de secteur et le point haut de la zone où se situe douar DRAA est d'environ 30m d'altitude (3bar de pression), cette différence d'altimétrie provoque des chutes de pression dont la pression atteint 1 bar à DRAA pendant les heures de pointe.
- La nature du réseau existant ; les diamètres des conduites sont petites ; le diamètre des conduites n'est pas adéquat avec sa charge ; Lorsque la vitesse d'écoulement d'eau augmente, les pertes de charge dues au frottement augmentent donc la pression diminue.
- La structure du réseau ; un réseau ramifié non maillé, les abonnés situés à l'extrémité du réseau est le plus endommagé surtout pendant les heures de pointes.
- Un réseau régulé avec un stabilisateur à l'entrée du secteur, dont la consigne du stabilisateur agit directement sur la pression donnée aux abonnés.
- Le mode d'alimentation de la zone est mal structuré ; la zone est alimentée contre le sens de

gravité (le bas vers le haut), dont les basses altitudes sont alimentées en premier que les cotes élevés.

7. conclusion.

Ce travail portant sur l'alimentation en eau potable de la commune rurale de **BELAAGUID** était une occasion d'apprentissage et d'acquisition d'un grand nombre de techniques et de connaissances de base liés à l'alimentation en eau potable.

8. Les solutions proposées.

Suite à l'analyse de la problématique du secteur établie au niveau de 5ème chapitre et après le diagnostic du modèle hydraulique réalisé, les solutions qui existent et qui sont faisables pour résoudre le problème de BELAAGUID et plus précisément douar DRAA le plus endommagé du problème sont comme suit :

Proposition 1 : la construction d'un réservoir surélevé (d'environ 30 m) au point haut de douar lié avec une station de pompage, alimenté par le réservoir de route OURIKA. Dès que le château est rempli la nuit quand le tirage est presque nul dans les autres points de réseau, la distribution d'eau est faite par gravité. L'avantage principal de cette solution est qu'elle permet de contrôler la zone influencée DRAA (zone de basse pression).

Proposition 2 : prise en considération l'emplacement de stabilisateur ; réguler la pression dans un endroit plus proche de BELAAGUID.

Proposition 3 : rectifier la structure du réseau ; changer les conduites existantes par des conduites avec des diamètres plus grands pour éviter les pertes de charge qui entraîne la baisse de pression.

Proposition 4 : séparation le douar en deux zones d'alimentation en eau potable ; gauche et droite alimentées à partir du réservoir BS, une régulée par un stabilisateur et l'autre non.

Proposition 5 : le réservoir RAMRAM c'est une solution durable, elle est déjà prise en compte par la RADEEMA, sa mise en service dépend plusieurs critères qui ne sont pas disponible aujourd'hui. C'est un plan pour le futur.

Proposition 6 : on peut alimenter douar DRAA le plus influencé avec une pompe située l'entrée de douar, c'est une solution provisoire pour DRAA en attendant de trouver une solution définitive de RAMRAM.

Proposition 7 : modifier le mode d'alimentation de la zone ; créer une ceinture de conduites qui va alimenter du point haut DRAA vers le bas ; qui va entraîner une augmentation de vitesse d'écoulement, les pertes de charge vont être gravitaires ; élimination de frottement ce qui va améliorer la pression de la zone.

Les solutions retenues :	2- prise en considération l'emplacement de stabilisateur ; réguler la pression dans un endroit plus proche de BELAAGUID.
	3- rectifier la structure du réseau ; changer les conduites existantes par des conduites avec des diamètres plus grands pour éviter les pertes de charge qui entraîne la baisse de pression
	4- séparation le douar en deux zones d'alimentation en eau potable ; gauche et droite alimentées à partir du réservoir BS, une régulée par un stabilisateur et l'autre non.
	6- on peut alimenter douar DRAA le plus influencé avec une pompe située l'entrée de douar, c'est une solution provisoire pour DRAA en attendant de trouver une solution définitive de RAMRAM.
	7- modifier le mode d'alimentation de la zone ; créer une ceinture de conduites qui va alimenter du point haut DRAA vers le bas ; qui va entraîner une augmentation de vitesse d'écoulement, les pertes de charge vont être gravitaires ; élimination de frottement ce qui va améliorer la pression de la zone.
Les solutions non retenues :	1-la construction d'un réservoir surélevé (d'environ 30 m) au point haut de douar lié avec une station de pompage, alimenté par le réservoir de route OURIKA. Dès que le château est rempli la nuit quand le tirage est presque nul dans les autres points de réseau, la distribution d'eau est faite par gravité. L'avantage principal de cette solution est qu'elle permet de contrôler la zone influencée DRAA (zone de basse pression)
	5- le réservoir RAMRAM c'est une solution durable, elle est déjà prise en compte par la RADEEMA, sa mise en service dépend plusieurs critères qui ne sont pas disponible aujourd'hui. C'est un plan pour le futur.

Tableau 18 : Les solutions retenues et non retenues

IV. Conclusion.

Ce stage de fin d'étude que nous avons effectué au sien de la **RADEEMA** de Marrakech, avait pour objectif d'utiliser le logiciel de modélisation et de simulation hydraulique EPANET pour élaborer le réseau d'alimentation en eau potable du secteur **BELAAGUID**, alimenté par le réservoir d'**OURIKA**.

Notre sujet PFE consiste à trouver une solution pour la problématique des chutes pression ponctuel de douar DRAA, la commune rurale BELAAGUID, pour y faire nous avons dans un premier lieu élaborer un modèle mathématique et hydraulique de la zone objet de notre PFE, le modèle construit est un modèle fiable, dont les erreurs de calage sont inferieur de la marge tolérable. Suite à l'analyse des mesures et des résultats obtenus de la simulation, on a recensé cinq causes probables qui provoquent les chutes de pression. Et pour remédier, nous avons proposé sept solutions pour résoudre le problème de la zone.

BIBIOGRAPHIE

- (1) RADEEMA. Historique de la RADEEMA. www.radeema.ma. (en ligne)
- (2) Rapport de Gestion de la RADEEMA, 2017, P3.P5.P6
- (3) Guide de modélisation. pdf, P13
- (4) La modélisation dynamique,P14
- (5) Epanet.pdf .P15.P16
- (6) Les équations mathématiques ; Chezy-Manning, Hazen-Williams, Darcy-Weisbach. www.wikipedia.com
- (7) Le pourcentage de calage, mémoire fin d'étude ZANOUNI-SOUISSI

ANNEXE

ANNEXE 1 : Le tableau ci-dessus représente les longueurs, les diamètres, et les rugosités des 249 tronçons de notre réseau :

	Longueur	diamètre	rugosité	débit
Tuyau ID	m	mm	mm	LPS
Pipe p73	183.7	53.6	0.001	0.09
Pipe p195	9.264	93.8	0.001	-0.12
Pipe p198	4.198	141	0.001	-0.53
Pipe p205	10.29	93.8	0.001	-0.73
Pipe p322	51.63	63.8	0.001	0.29
Pipe p351	130.6	141	0.001	-0.02
Pipe p463	306.6	160	0.1	2.13
Pipe p464	158.7	160	0.1	1.92
Pipe p553	53.57	141	0.001	-5.65
Pipe p558	142.1	76.8	0.001	2.85
Pipe p571	27.81	93.8	0.001	2.69
Pipe p579	14.7	76.8	0.001	-2.14
Pipe p597	15.14	93.8	0.001	1.53
Pipe p614	37.57	141	0.001	7.69
Pipe p615	30.88	76.8	0.001	1.27
Pipe p629	33.86	76.8	0.001	-0.23
Pipe p643	35.11	141	0.001	-5.26
Pipe p676	35.35	76.8	0.001	-1.88
Pipe p688	23.63	76.8	0.001	0.30
Pipe p719	49.98	277.6	0.1	-7.91
Pipe p724	11.1	76.8	0.001	0.38
Pipe p792	490.9	150	0.1	-7.69
Pipe p822	104	93.8	0.001	1.61
Pipe p829	65.66	141	0.001	1.38
Pipe p830	51.95	141	0.001	0.89
Pipe p831	75.63	141	0.001	0.59
Pipe p841	21.13	76.8	0.001	-0.45
Pipe p1083	7.617	198.2	0.001	20.23
Pipe p1098	101.1	150	0.1	-4.35
Pipe p1170	84.78	150	0.1	-4.66
Pipe 4	711.86	141	0.001	0.86
Pipe 5	481.47	93.8	0.001	0.03
Pipe 7	348.9	141	0.001	0.46
Pipe 9	626.892	93.8	0.001	0.15
Pipe 12	200.8	76.8	0.001	0.17
Pipe 13	900	63.8	0.001	0.40
Pipe 15	129.3	93.8	0.001	0.69

Pipe 16	1100	93.8	0.001	0.59
Pipe 19	75	277.6	0.1	-7.91
Pipe 22	243.6	100	0.1	-2.78
Pipe 25	1655.4	141	0.001	0.48
Pipe 26	1812.12	141	0.001	-0.65
Pipe 28	126.86	93.8	0.001	7.18
Pipe 29	107.78	93.8	0.001	6.81
Pipe 30	101.34	93.8	0.001	4.60
Pipe 31	42.83	63.8	0.001	1.58
Pipe 32	42.59	63.8	0.001	0.79
Pipe 33	131.81	63.8	0.001	-0.58
Pipe 35	93.74	63.8	0.001	-1.03
Pipe 36	75.559	93.8	0.001	-2.15
Pipe 43	173.87	141	0.001	0.62
Pipe 45	105.61	141	0.001	0.04
Pipe 46	28.768	141	0.001	-1.35
Pipe 48	60.42	141	0.001	1.26
Pipe 49	121.569	141	0.001	1.39
Pipe 50	54.634	76.8	0.001	-0.26
Pipe 51	58.3	76.8	0.001	-0.38
Pipe 53	168.559	76.8	0.001	3.86
Pipe 54	21.02	76.8	0.001	-0.21
Pipe 55	37.24	141	0.001	6.23
Pipe 57	61.71	141	0.001	4.86
Pipe 61	71.74	76.8	0.001	-0.62
Pipe 63	41.352	76.8	0.001	-0.52
Pipe 64	138.757	63.8	0.001	-0.11
Pipe 66	54.17	76.8	0.001	0.67
Pipe 67	83.48	76.8	0.001	0.04
Pipe 68	94.26	76.8	0.001	-0.48
Pipe 69	38.1	93.8	0.001	-0.69
Pipe 70	130.39	76.8	0.001	0.70
Pipe 74	81.39	76.8	0.001	2.43
Pipe 77	112.49	93.8	0.001	0.49
Pipe 78	68	93.8	0.001	-0.94
Pipe 79	157.57	93.8	0.001	2.30
Pipe 80	68.01	93.8	0.001	0.55
Pipe 86	881.528	93.8	0.001	0.04
Pipe 87	905.3	141	0.001	0.19
Pipe 20	53.59	150	0.1	-3.59
Pipe 96	102.53	141	0.001	0.26
Pipe 91	144.61	198.2	0.1	-17.52
Pipe 92	408.7	100	0.1	2.97
Pipe 97	227.6	100	0.1	-0.41
Pipe 98	459.31	93.8	0.001	0.10

Pipe 101	8.752	198.2	0.1	3.18
Pipe 102	2.582	198.2	0.1	2.99
Pipe 103	101.67	93.8	0.1	0.18
Pipe 104	321.63	93.8	0.1	-0.13
Pipe 105	375.88	93.8	0.1	0.09
Pipe 106	612.48	198.2	0.001	14.35
Pipe 111	354.34	63.8	0.001	0.48
Pipe 114	358.69	141	0.1	0.97
Pipe 116	191.12	76.8	0.001	-0.40
Pipe 117	241.83	93.8	0.001	-0.39
Pipe 118	170.44	93.8	0.001	-3.01
Pipe 120	31.29	76.8	0.001	-0.43
Pipe 121	174.03	76.8	0.001	-0.95
Pipe 122	42.805	76.8	0.001	1.99
Pipe 123	109.62	141	0.001	-1.61
Pipe 124	77.99	93.8	0.001	-0.02
Pipe 125	288.43	93.8	0.001	0.43
Pipe 126	90.034	76.8	0.001	-0.49
Pipe 127	78.612	76.8	0.001	-0.52
Pipe 128	109.6	76.8	0.001	-0.48
Pipe 129	59.877	93.8	0.001	-1.31
Pipe 130	47.34	93.8	0.001	1.37
Pipe 131	63.22	76.8	0.001	-0.24
Pipe 132	164.611	75	0.001	-1.77
Pipe 133	73.48	63.8	0.001	-5.03
Pipe 134	62.278	93.8	0.001	1.61
Pipe 136	451.5	150	0.1	-7.35
Pipe 137	135.97	150	0.1	-7.74
Pipe 139	932.62	198.2	0.1	-18.02
Pipe 140	964.11	150	0.1	-7.91
Pipe 14	74.26	141	0.001	0.20
Pipe 21	92.15	141	0.001	-0.18
Pipe 1	117.66	141	0.001	0.54
Pipe 3	67.19	141	0.001	7.56
Pipe 6	67.19	141	0.001	2.16
Pipe 8	111.75	141	0.001	-10.13
Pipe 10	111.75	141	0.001	-1.46
Pipe 11	440	198.2	0.001	14.32
Pipe 17	239.47	198.2	0.001	8.92
Pipe 18	668.73	198.2	0.001	0.25
Pipe 24	10	141	0.001	5.40
Pipe 27	10	141	0.001	8.67
Pipe 23	11000	277.6	0.001	-28.14
Valve 2	#N/A	277.6	#N/A	-28.14

ANNEXE 2 : Le tableau suivant donne l'élévation et la demande de base et la pression qui ont été saisie.

	Elévation	Demande de base	Pression
nœud ID	m	LPS	m
Junc n3	404	0.2	77.15
Junc n5	408	2.82	71.57
Junc n35	405	0.114	74.55
Junc n48	404	0	76.72
Junc n51	404	0.03	76.72
Junc n64	404	0.6	76.96
Junc n93	405	0.4	75.25
Junc n94	407	0.11	72.97
Junc n95	408	0.11	71.96
Junc n99	407	0.03	73.10
Junc n104	404	0.06	76.96
Junc n138	406	0	73.54
Junc n164	408	0.1	68.35
Junc n167	408	0.31	68.35
Junc n172	408	0.31	68.36
Junc n178	410	0.26	66.41
Junc n183	410	0.14	66.36
Junc n185	412	0.15	64.35
Junc n189	412	0.15	64.34
Junc n213	403	0	79.62
Junc n217	401	0	81.61
Junc n219	413	0.22	63.48
Junc n224	413	0.41	63.33
Junc n232	411	0.08	65.33
Junc n233	413	0.49	63.33
Junc n234	413	0.26	63.33
Junc n237	412	0.28	64.35
Junc n240	412	0.31	64.35
Junc n282	408	0.44	70.18
Junc n291	421	0.02	55.35
Junc n301	405	0.3	74.45
Junc n344	408	0.23	71.53
Junc n351	405	0.28	74.44
Junc n370	403	0.2	76.60
Junc n378	414	0.35	62.32
Junc n379	417	0.34	59.31
Junc n384	405	0.34	74.55
Junc n394	396	0.18	83.44
Junc n414	407	0.09	72.35
Junc n418	421	0.18	55.35
Junc n423	417	0.57	59.27
Junc n435	412	0.2	64.29
Junc n501	406	0.63	73.65
Junc n504	406	0.25	73.50

Junc n513	403	0.48	75.97
Junc n514	417	0.05	59.32
Junc n517	409	0.3	70.49
Junc n565	405	0.12	74.47
Junc n571	413	0.05	63.38
Junc n579	414	0.39	62.41
Junc n581	412	0.32	64.50
Junc n582	413	0.22	63.54
Junc n585	408	0.74	71.21
Junc n588	412	0.74	67.16
Junc n598	409	0.07	68.67
Junc n599	413	0.26	63.92
Junc n604	411	0.26	66.14
Junc n611	414	0.39	62.66
Junc n612	414	0.16	62.61
Junc n613	412	0.09	64.60
Junc n615	412	0.44	64.60
Junc n619	412	0.34	64.59
Junc n647	411	0.26	66.02
Junc n654	414	0.14	62.44
Junc n655	415	0.62	62.54
Junc n661	413	0.51	64.53
Junc n667	420	0.34	55.75
Junc n668	420	0.8	55.68
Junc n670	415	0.27	60.66
Junc n671	415	0.27	60.65
Junc n680	414	0.23	62.42
Junc n684	415	0.48	61.41
Junc n685	414	0.7	62.44
Junc n690	414	0.24	62.42
Junc n710	431	0.19	44.98
Junc n712	432	0.19	43.97
Junc n728	414	0.09	62.39
Junc n729	416	0.25	60.38
Junc n757	403	0	79.62
Junc n761	429	0.46	46.95
Junc n762	414	0.45	62.43
Junc n775	416	0.56	60.36
Junc n779	419	0.56	57.35
Junc n782	418	0.56	58.35
Junc n787	417	0.2	59.36
Junc n797	413	0.25	63.46
Junc n838	414	0.58	61.65
Junc n844	421	0.35	55.35
Junc n884	406	0.17	73.61
Junc n986	409	0.14	70.47
Junc n1020	409	0.3	70.55
Junc n1040	403	2.63	79.61

Junc n1049	397	0.7	82.33
Junc 4	399	0.26	80.44
Junc 8	413	0.25	63.91
Junc 66	408	0.23	71.56
Junc 15	404	0	76.72
Junc 16	404	0.114	76.72
Junc 17	408	0.15	71.55
Junc 18	408	0.102	72.71
Junc 19	420	0.48	55.72
Junc 7	410	0.24	66.36
Junc 10	408	0.22	71.53
Junc 5	406	0	73.64
Junc 6	406	0	73.53
Junc 9	406	0	73.65
Junc 11	406	0	73.55
Junc 1	403	0	79.62
Resvr 2	490.06	#N/A	0.00

ANNEXE 3 : Les tableaux suivants la méthodologie adoptée pour calculer la demande de base de chaque nœud :

superficie global:	20299639 m2
superficie belaaguid	472224,675
reste demande base	20,776

Superficie belaaguid \longrightarrow reste demande base (la règle de trois)
 Superficie de nœud \longrightarrow X

nœud	superficie partielle m2	demande base
501	13990,55	0,62
344	5213,5	0,23
408	8757,65	0,39
282	9823,79	0,43
7	5248,35	0,23
183	3044,6	0,13
797	5614,76	0,25
172	6937,44	0,31
178	5839,4	0,26
612	3536,35	0,16
613	2085,65	0,09
581	7128,33	0,31
167	6807,5	0,30
164	2244,26	0,10
234	5809,83	0,26
232	1721,01	0,08
413	10099,83	0,44
189	3325,18	0,15
185	3325,18	0,15

233	10871,75	0,48
237	6136,2	0,27
240	6921,64	0,30
224	9181,26	0,40
378	7716,22	0,34
379	7488,26	0,33
418	4072,64	0,18
844	7770,62	0,34
779	12378,26	0,54
782	12351,07	0,54
787	4418,47	0,19
729	5495,56	0,24
728	1980,2	0,09
571	1023,65	0,05
579	8616,92	0,38
690	5329,51	0,23
615	5797,41	0,26
680	5063,9	0,22
604	5797,4	0,26
654	3201,21	0,14
647	5797,41	0,26
775	12400,65	0,55
684	10619	0,47
685	15522,21	0,68
615	9714,11	0,43
838	12869,95	0,57
615	4857,055	0,21
219	4817,05	0,21
582	4817,73	0,21
588	16485,81	0,73
585	16485,81	0,73
712	4261,575	0,19
761	10224,82	0,45
1	4836,2	0,21
667	7580,96	0,33
619	7535,79	0,33
599	5717,18	0,25
8	5599,14	0,25
655	13818,06	0,61
661	11388,64	0,50
710	4261,575	0,19
668	17675,88	0,78
670	6007,37	0,26
19	10758,02	0,47
671	6007,37	0,26
4	158068,4	0,26
301	17812,32	0,03
504	152886,44	0,25
986	87166,83	0,14

Dotation domestique

nœud	Demande de base
291	0,02
514	0,05
435	0,2
423	0,57
16	0,114
17	0,23
66	0,23
35	0,27
94	0,13
95	0,11
51	0,03
884	0,17
384	0,44
513	0,5
565	0,12
351	0,28
394	0,18

Demande de base avec dotation

nœud	nb hotel	DB
64	3	0,6
35	1	0,2
18	1	0,2
5	1	2,82
3	1	0,2
99	raid	0,03
104	2 raide	0,06
93	2	0,4
370	1	0,2
414	Ecole +raid	0,09
1040	5	2,63
1020	1	0,2
517	1	0,7

