

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de L'enseignement Supérieur et de La Recherche Scientifique

جامعة عين تموشنت - بلحاج بوشعيب

Université Ain Témouchent– Belhadj Bouchaib

Faculté des sciences et de Technologie

Département de Hydraulique



Projet de Fin de d'Etudes
Pour l'obtention du diplôme de Master en :

Domaine : Sciences et Technologie

Filière :Hydraulique

Spécialité :Hydraulique Urbain

Thème :

Etude Du Réseau D'Alimentation en Eaux Potable à BELARBI (Sidi Bel Abbès)

Realisé par:

- Mme. BELHAMAM Feriel Khadidja
- Mme . BEENSAFI Nour El Houda

Devant le Jury Composées par :

Pr . GUEMOU Bouabdellah	Président	U.A.T.B.B « Ain Temouchent »
Dr. NEHARI Abderrahman	Encadreur	U.A.T.B.B « Ain Temouchent »
Mr . EBABOU Hbib	Co_Encadreur	U.A.T.B.B « Ain Temouchent »
Mr. BENAICHA Mohamed	Examineur	U.A.T.B.B « Ain Temouchent »

Année Universitaire 2025/2026

Remerciements

*Avant tout, nous remercions **Allah**, le Tout-Puissant, de nous avoir donné la force, la patience et la volonté nécessaires pour mener à bien ce travail.*

*Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à notre encadreur, **Dr. NEHARIAbdRahman**, pour son accompagnement, sa disponibilité, ses précieux conseils et son soutien constant tout au long de la réalisation de ce mémoire. Ses orientations et son expertise ont grandement contribué à l'aboutissement de ce travail.*

*Nous adressons également nos sincères remerciements à notre co-encadreur, **M. EBABOU Habib**, pour son aide, ses recommandations pertinentes, son suivi attentif et l'intérêt qu'il a porté à notre projet.*

*Nos remerciements s'étendent à l'ensemble des enseignants du département d'Hydraulique, qui ont assuré notre formation durant notre parcours universitaire et nous ont transmis les connaissances nécessaires dans le domaine des Sciences et Technologies, spécialité **Hydraulique Urbaine**.*

Nous remercions également les membres du jury pour l'honneur qu'ils nous font en acceptant d'évaluer ce travail, ainsi que pour leurs remarques et suggestions qui contribueront à son amélioration.

Enfin, nous exprimons notre reconnaissance et notre gratitude à nos parents, nos familles, nos amis et à toutes les personnes qui nous ont soutenus, encouragés et aidés, de près ou de loin, durant nos études et l'élaboration de ce mémoire.

À tous, nous adressons nos plus sincères remerciements.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail, fruit de plusieurs années d'efforts, de persévérance et de sacrifices, à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à ma réussite et qui ont toujours cru en moi.

À mes très chers parents, ma mère et mon père, Aucune dédicace ne saurait exprimer toute la reconnaissance, l'amour et le respect que je vous porte. Merci pour tous les sacrifices que vous avez consentis afin de m'offrir les meilleures conditions de réussite. Merci pour votre soutien indéfectible, vos conseils précieux, votre patience et vos prières qui m'ont accompagné à chaque étape de mon parcours. Vous avez toujours été ma source de motivation et ma plus grande fierté.

Que Dieu vous accorde santé, bonheur et une longue vie.

À mes chères sœurs, Houaria et Djihane, Merci pour votre affection, votre présence et votre soutien moral. Votre confiance en moi et vos encouragements ont été une véritable source de force dans les moments difficiles. Je vous souhaite tout le bonheur et la réussite que vous méritez.

À mes chers frères, Ayoub et Mohamed, Pour votre soutien, votre fraternité et les précieux moments partagés ensemble. Merci d'avoir toujours été présents et de m'avoir encouragé à poursuivre mes objectifs avec détermination.

À ma chère amie Souheyla, Je te remercie sincèrement pour ton amitié, ton écoute, tes encouragements et ta présence dans les moments importants de mon parcours. Ton soutien a été d'une grande valeur pour moi.

À ma chère amie Hayet, En témoignage de notre sincère amitié et en signe de ma profonde affection, je te dédie ce modeste travail. Merci pour ton soutien, tes encouragements et tous les moments partagés durant ce parcours. Je te souhaite beaucoup de bonheur, de réussite et de succès dans ta vie.

À la mère de Souheyla, Pour sa bienveillance, sa gentillesse et l'affection qu'elle m'a toujours témoignée. Qu'elle trouve ici l'expression de ma profonde gratitude et de mon respect.

À mes adorables neveux, Miral et Youcef, Votre innocence, votre joie de vivre et vos sourires ont illuminé de nombreux moments. Je vous souhaite un avenir rempli de bonheur, de

réussite et de belles réalisations.

À ma chère grand-mère, Symbole de tendresse, de sagesse et de générosité. Merci pour vos prières, votre affection et vos précieux conseils. Que Dieu vous garde en bonne santé et vous accorde une longue vie.

À mes encadreurs, Dr. NEHARI Abd Rahman et M. EBABOU Habib, Je tiens à vous exprimer ma profonde reconnaissance pour votre disponibilité, votre patience, vos conseils avisés et la qualité de votre accompagnement. Votre encadrement a été essentiel à la réalisation de ce mémoire et restera une expérience enrichissante dans mon parcours académique.

À tous mes amis, Pour les moments de partage, de solidarité et de soutien. Merci pour votre présence, votre bonne humeur et tous les souvenirs inoubliables que nous avons construits ensemble. Je vous souhaite à tous beaucoup de succès dans vos projets personnels et professionnels

Enfin, à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à ma formation et à la réalisation de ce mémoire,

Je leur adresse mes sincères remerciements et ma profonde gratitude.

BELHAMEM Ferial Khadidja

Dédicace

Au nom d'**Allah**, le Tout Miséricordieux, le Très Miséricordieux.

Je dédie ce modeste travail à ceux qui ont toujours été à mes côtés et qui ont contribué, de près ou de loin, à ma réussite.

À mon très cher père, Zenagui, qui m'a appris la valeur du travail, de la persévérance et de l'honnêteté. Merci pour tous les sacrifices consentis afin de me permettre d'atteindre mes objectifs.

À ma très chère mère, Aïcha, source inépuisable de tendresse, d'amour et de courage. Tes prières, tes encouragements et ton affection ont toujours été ma plus grande force.

À mes chers frères, Abdelwahed et Safi, pour leur soutien, leur affection et leur présence à mes côtés tout au long de mon parcours.

À ma chère sœur, Ikram, pour sa gentillesse, ses encouragements et son soutien précieux.

À mes adorables petits Zenaghi Adem, Firase et Mohammed, qui remplissent nos vies de joie, d'innocence et de bonheur. Que ce travail soit pour vous une source d'inspiration afin de poursuivre vos rêves avec détermination.

À mes chers futurs enfants, que Dieu me fasse l'honneur de vous connaître un jour. Je vous dédie ce travail comme le témoignage de mes efforts, de ma persévérance et de ma volonté de construire un avenir meilleur. J'espère que vous serez toujours fiers de vos valeurs, de vos ambitions et du chemin que vous choisirez.

À ma chère binôme feriel À toute ma famille, à mes amis et à toutes les personnes qui m'ont soutenu durant mes études.

Je leur exprime ma profonde gratitude et leur dédie ce travail avec tout mon amour et mon respect.

Merci à tous.

BENSAFI Nour El Houda

Résumé :

Ce Travail présente l'étude de rénovation et de renforcement du réseau de distribution d'alimentation en eau potable (AEP) de la commune de Belarbi (Wilaya de Sidi Bel Abbès). Le diagnostic du réseau actuel, géré par l'Algérienne des Eaux (ADE), a révélé une infrastructure vétuste (70 % de conduites en PVC à colles et à joints dégradées) enregistrant un taux de pertes physiques alarmant d'environ 20 %. L'objectif de ce travail est de concevoir un nouveau réseau performant capable de répondre aux besoins en eau à long terme (horizon 2054).

La méthodologie s'articule d'abord autour de la projection démographique par le modèle géométrique, prévoyant une population de 13 400 habitants à l'horizon 2054, ce qui correspond à une demande de pointe horaire de 60,04 L/s. Ensuite, le logiciel EPANET a été utilisé pour simuler et modéliser le comportement hydraulique du nouveau réseau, composé de 10 916,12 mètres de conduites en PEHD (PN16). Les simulations en régime permanent valident la conformité du réseau, affichant des pressions réglementaires aux nœuds (entre 21,31 et 58,36 mCE) et des vitesses d'écoulement maîtrisées (entre 0,30 et 2,00 m/s), éliminant ainsi les risques de stagnation et de pertes de charge excessives. Enfin, l'étude financière estime le coût global des travaux de modernisation (terrassements, conduites, robinetterie, regards et branchements particuliers) à 56 937 364,93 DA TTC. Ce projet offre une solution technique et économique durable pour optimiser la gestion de la ressource hydrique et sécuriser l'approvisionnement en eau de la population de Belarbi.

Mots-clés : Alimentation en Eau Potable (AEP), Belarbi, Diagnostic, Modélisation, EPANET, PEHD, Estimation financière.

المخلص :

تقدم هذه المذكرة دراسة تفصيلية لتجديد وتدعيم شبكة توزيع المياه الصالحة للشرب ببلدية بلعربي (ولاية سيدي بلعباس). وقد عن تدهور كبير في البنية التحتية (70% ADE) كشفت عملية تشخيص الشبكة الحالية، التي تديرها مؤسسة الجزائرية للمياه ذات الغراء والروابط المهترئة، مما يتسبب في نسبة ضياع فيزيائي للمياه تصل إلى PVC من القنوات مصنوعة من مادة الـ

% . يهدف هذا العمل إلى تصميم شبكة جديدة وعالية الأداء قادرة على تلبية الاحتياجات المائية للسكان على المدى 20 حوالي الطويل (أفاق سنة 2054

تعتمد المنهجية المتبعة أولاً على إسقاط ديموغرافي باستخدام النموذج الهندسي، والذي توقع أن يصل عدد السكان إلى 13,400 نسمة بحلول عام 2054، وهو ما يعادل تدفقاً أقصى في ساعة الذروة يقدر بـ 60.04 لتر/ثانية. بعد ذلك، تم استخدام برنامج لمحاكاة ونمذجة السلوك الهيدروليكي للشبكة المقترحة، والتي تتكون من 10,916.12 متراً من قنوات البولي EPANET وأكدت نتائج المحاكاة في النظام الدائم مطابقة الشبكة للمعايير المعمول بها، حيث (PEHD - PN16) إيثيلين عالي الكثافة أظهرت ضغوطاً نظامية عند العقد (تتراوح بين 21.31 و 58.36 متر عمود ماء) وسرعات تدفق متحكم فيها (بين 0.30 و 2.00 متر/ثانية)، مما يمنع ركود المياه والضياع المفرط في الشحنة. أخيراً، قدرت الدراسة المالية التكلفة الإجمالية لأعمال التحديث (الحفريات، القنوات، الصمامات، غرف التنقيش والتوصيلات الفردية) بمبلغ 56,937,364.93 دينار جزائري مع احتساب كل الرسوم. يقدم هذا المشروع حلاً تقنياً واقتصادياً مستداماً لتحسين تسيير الموارد المائية وضمان التزويد الآمن بالمياه لسكان بلدية بلعربي

الكلمات المفتاحية: التزويد بالمياه (AEP) . EPANET التشخيص، النمذجة . PEHD البولي إيثيلين عالي الكثافة.

Abstract :

This master's thesis presents the renovation and reinforcement study of the drinking water supply network for the municipality of Belarbi (Sidi Bel Abbès Province). The diagnosis of the existing network, managed by the Algérienne des Eaux (ADE), revealed an aging infrastructure (70% degraded PVC pipes) with an alarming physical water loss rate of approximately 20%. The main objective of this work is to design a high-performance network capable of satisfying long-term water demands up to the 2054 horizon.

The methodology first involved demographic forecasting using the geometric growth model, predicting a population of 13,400 inhabitants by 2054, which corresponds to a peak hourly demand of 60.04 L/s. Subsequently, EPANET software was used to simulate and model the hydraulic behavior of the projected network, which consists of 10,916.12 meters of HDPE (PN16) pipelines. The steady-state simulation results validated the network's conformity, showing regulatory node pressures (ranging from 21.31 to 58.36 mH₂O) and controlled flow velocities (between 0.30 and 2.00 m/s), thus preventing water stagnation and excessive head losses. Finally, the economic study estimated the total cost of the modernization works (earthworks, pipes, valves, manholes, and household connections) at 56,937,364.93 DZD (including taxes). This project delivers a sustainable technical and economic solution to optimize water resource management and secure the water supply for the population of Belarbi.

Keywords: Drinking Water Supply, Belarbi, Diagnosis, Modeling, EPANET, HDPE, Cost Estimation.

Table des matières

Introduction générale	vi
Chapitre 01 : Généralité	2
I. Introduction	2
II. Les types des réseaux d'AEP :	3
II.1 Réseau ramifié :	3
Définition	3
II.2 Réseau maillé (bouclé)	6
II.3 Réseau mixte	9
II.4 Réseau étagé (réseau à zones de pression)	11
II.5 Réseau gravitaire	14
II.6 Réseau par pompage	16
II.7 Réseau avec réservoir (pompage + gravité)	17
III. TYPES D'ADDUCTION :	19
III.1 Adduction gravitaire :	20
III.2 Adduction par refoulement :	21
III.3 Adduction mixte :	23
IV Conclusion	23
I Introduction	19
II Informations géographiques concernant la commune de Belarbi	20
III Situation climatique	21
III.1 Climat	21
III.2 Pluviométrie	21
III.2.1 Précipitations annuelles	21
III.2.2 Précipitations mensuelles	23
III.2.3 Précipitations saisonnières	23
III.2.4 Température	24
III.3 Agriculture	24
III.4 Equipements :	24
III.5 Réseau routier :	25
III.6 Démographie :	26
III.7 Situation actuelle de l'alimentation en eau potable	27
III.8 Situation actuelle de l'assainissement :	28
III.9 Estimation des besoins en eau :	28
III.10 Coefficients de variation et débits de dimensionnement	30

III.11	Situation actuelle de l'alimentation en eau potable de Belarbi	Error! Bookmark not defined.
IV.	Conclusion	32
I.	Introduction	35
II.	Evolution Démographique	36
II.1	Méthodologie de Projection Démographie	36
II.2	Analyse de l'Évolution Démographique	37
III.	Évaluation des Besoins en Eau Potable.....	38
III.1	Composantes des Besoins en Eau.....	38
IV.	Coefficients de Pointe et Débits de Dimensionnement.....	39
IV.1	Définition et Formulation des Coefficients.....	39
IV.2	Valeurs des Coefficients par Horizon.....	40
IV.3	Calcul des Débits de Pointe	40
	Débit Maximale Journalier	40
	Débit de pointe Horaire	41
IV.	Tableau Récapitulatif Final des Besoins.....	41
V.	Présentation du Logiciel EPANET	42
V.1	Description Générale	42
V.2	Fondements Théoriques d'EPANET.....	43
V.2.1	Équation de Continuité aux Nœuds (Loi de Kirchhoff des Nœuds)	43
V.2.1	Equation de Perte de charge (Hazen Williams)	43
V.3	Paramètres de Simulation Adoptés	44
VI.	Construction Du Modèle EPANET	45
VI.1	Éléments du Modèle	45
VI.2	Saisie des Données dans EPANET.....	45
VI.2.1	Données du Réservoir	45
VI.2.1	Données des Nœuds	46
VI.2.2	Données des Conduites	49
VI.1	Vérification de la Cohérence du Modèle	49
VII.	Résultats de la Simulation EPANET	50
VII.1	Résultats sur les Conduites	50
VII.1.1	Tableau Complet des Résultats des Conduites	50
VII.1.2	Analyse des Vitesses d'Écoulement	55
VII.2	Résultats aux Nœuds	55
VII.2.1	Tableau Complet des Résultats Nodaux.....	55
VII.2.2	Analyse Statistique des Pressions par EPANET.....	58
VIII.	Analyse Hydraulique Détaillée par EPANET	59
VIII.1	Analyse des Pertes de Charge	59

Sommaire

VIII.2	Bilan Hydraulique Global	60
IX.1	Tableau de Bord de l'Audit Hydraulique.....	60
IX.2	Conclusion	61
Chapitre 04 :		35
I.	Introduction	45
II.	Objectif de l'estimation financière.....	46
III.	Décomposition du coût du projet.....	46
IV.	Détermination des quantités de travaux.....	46
V.	Calcul des volumes de terrassement	47
V.1	Volume total des déblais.....	48
V.2	Volume de sable de protection	48
V.3	Volume de remblai	49
V.4	Volume des déblais à évacuer	50
VI.	Élaboration du devis quantitatif et estimatif	50
VII.	Coût des travaux de terrassement.....	51
VIII.	Coût des canalisations	51
VIII.1	Grillage avertisseur	52
VIII.2	Conduites PEHD	52
VIII.	Réalisation de regard en B.A	54
IX.	Coût de la robinetterie et des branchements	54
IX.1	Robinets-vannes	54
IX.2	Branchements particuliers.....	55
X.	Travaux divers	55
X.1	Récapitulatif Général des Cout.....	56
X.2	TVA.....	57
I.	Coût global du projet.....	57
XI.	Conclusion	59
Conclusion générale		45
I.	Conclusion générale	iv
Référence :		iv

Liste des figures

Figure 1-1:: Réseau D’Alimentation en Eau Potable (AEP)	3
Figure 1-2: Réseau Ramifiée	6
Figure 1-3:Réseau Maillé	8
Figure 1-4: Réseau Mixte	11
Figure 1-5: Adduction gravitaire	21
Figure 1-6:Adduction par refoulement	22
Figure 1-7 : Adduction Mixte	23
Figure 2-1 :La commune de BELARBI .	19
Figure 2-2 :Informations géographiques concernant la commune de Belarbi sur google earth	21
Figure 2-3 : Carte du réseau routier de la commune de BELARBI	26
Figure 3-1 : Levé Topographique de la zone de BELARBI Sur AutoCad	35
Figure 3-2 : Logiciel EPANET	42
Figure 3-3 : Paramètre de Simulation adoptés .	44
Figure 3-4 : Schéma Du Réseau AEP de La Zone BELARBI	45
Figure 3-5 : Données de Réservoir	46
Figure 3-6 : la Numérotation de les Nœuds Sur le réseau .	49
Figure 3-7 : Résultats hydrauliques des conduites obtenus par EPANET.	54
Figure 3-8 : Résultats nodaux sur EPANET	58
Figure 4-1 : Réseau AEP globale de BELARBI .	45
Figure 4-2 : Calcule des volume de Déblai Sur Excel	48
Figure 4-3 : calcule de Volume de sable sur Excel .	49
Figure 4-4 : Calcule de volume du Remblais	50

Liste des tableaux

Tableau 1 : Avantage de Réseaux ramifier	4
Tableau 2 : Inconvénient Du Réseau Ramifier	5
Tableau 3 : Avantage de Réseau Maillé	7
Tableau 4 : Inconvénients de réseau Maillée	8
Tableau 5 : Avantage de Réseau mixte.	10
Tableau 6 : Inconvénien de réseau mixte	10
Tableau 7 : Avantage Réseau étagé.	12
Tableau 8 : Inconvénients de réseau étagé	13
Tableau 9 : avantage de réseau gravitaire	14
Tableau 10 :avantage de réseau par pompage	16
Tableau 11 :inconvénient de réseau par pompage	17
Tableau 12 :avantage de réseau avec réservoir.....	19
Tableau 13 :inconvenant de réseau avec réservoir	19
Tableau 14 :perspiration annuelle.....	22
Tableau 15 : précipitations mensuelles	23
Tableau 16 : precipitations saisonnières.....	23
Tableau 17 : température.....	24
Tableau 18 :équipements.....	25
Tableau 19 : Population (année de référence)	26
Tableau 20 : population (Horizon d'étude)	27
Tableau 21 : BESOINS EN EAU DES EQUIPEMENTS.....	28
Tableau 22 : Calcul de la consommation moyenne journalière.....	29
Tableau 23 : besoins en eau domestiques.....	29
Tableau 24 : Récapitulation des besoins en eau	30
Tableau 25 : Coefficients de variation et débits de dimensionnement	31
Tableau 26 : Coefficient de pointe Kp	31
Tableau 27 : Débit de pointe (Qp)	32
Tableau 28 : Paramètre Démographique de la Zone BELARBI.....	36
Tableau 29 : Tableau Récapitulatif des Projections Démographiques.....	37
Tableau 30 : Présente la dotation journalières Adoptées	38
Tableau 31 : Tableau des Besoins Journaliers Moyens	39
Tableau 32 : Définition et Formulation des Coefficients	40
Tableau 33 : Valeurs des coefficients par Horizon	40
Tableau 34 : Débit Maximale Journalier.....	41
Tableau 35 : Tableau Récapitulatif Final des Besoins	41
Tableau 36 : Paramétre De Simulation Adoptés.....	44
Tableau 37 : Eléments Du Modèle EPANET	45
Tableau 38 : Les données nodales saisies dans EPANET	48
Tableau 39 : Vérification de la cohérence du modèle	50
Tableau 40 : Résultats hydrauliques des conduites obtenus par EPANET	54
Tableau 41 : La classification des vitesses selon les normes algériennes	55
Tableau 42 : Tableau complet des Résultats Nodaux	58
Tableau 43 : Analyse Statistique des pressions par EPANET.....	59
Tableau 44 : Analyse des Perte de charge.	60
Tableau 45 : Billon Hydraulique Global.....	60
Tableau 46 : 11.1. Tableau de Bord de l'Audit Hydraulique.....	61
Tableau 47 : Cout des Travaux de Terrassement.....	51
Tableau 48 : Cout de Grillage Avertisseur	52

Liste des tableaux

Tableau 49 : cout de conduites DN 200 mm	52
Tableau 50 : Cout de la conduites DN 160mm.....	53
Tableau 51 : Cout de La conduites DN 110mm	53
Tableau 52 : Cout de la conduite DN90 mm.....	53
Tableau 53 : Cout de la conduite DN 63mm.....	53
Tableau 54 : cout de la réalisation de regard.....	54
sTableau 55 : Montant de Robinet Vannes	55
Tableau 56 : Montant de branchements Particuliers	55
Tableau 57 : Montant de raccordement au Réseau existant.	56
Tableau 58 : Montant de Réfection de chaussée.....	56
Tableau 59 : Récapitulatif Générale des cout de projet.....	57

AEP : L'alimentation en eau potable .

ADE : Algérienne des Eaux.

PRV : Pressure Réduction Valves.

HMT : La hauteur manométrique totale.

Z réservoir -Z captage : hauteur géométrique de refoulement (en m).

$\Sigma \Delta h_f$: pertes de charge régulières dans la conduite (en m).

Δh singulières : de charge singulières (coudes, vannes, etc.) (En m).

°C : Le degré Celsius.

RN : la Route nationale.

CW : le chemin de wilaya.

RGPH : Recensement Général de la Population et de l'Habitat.

N : Population future à l'horizon considéré.

N0 : Population de l'année de référence.

T : Taux d'accroissement démographique annuel.

N : Nombre d'années séparant l'horizon d'étude et l'année de référence.

DN : Diamètres nominaux.

Q moy.j : débit moyen journalier en m³/j.

Ni : nombre de consommateurs par catégorie.

Mi : dotation hydrique en l/j/usagé.

CM : coefficient de majoration.

Kjmax : Le coefficient journalier maximal.

Khmax : Le coefficient de variation horaire.

Qp : Débits de pointe.

US EPA : de Protection de l'Environnement des États-Unis.

P_n : Population projetée à l'horizon n (habitants).

P₀ : Population initiale de référence (habitants).

Q_{dom} : Débits domestique.

D : La dotation journalière par habitant (L/j/hab).

α_{max} : Coefficient de pointe horaire (jour de pointe).

β_{max} : Coefficient de pointe horaire (jour moyen).

H_f : perte de charge (m)

L : longueur de la conduite (m)

Q : débit (m³/s)

C : coefficient de Hazen-Williams (adimensionnel)

D : diamètre intérieur (m).

V : la vitesse (m/s).

L : longueur de la conduite (m)

l : largeur de la tranchée (m)

h : profondeur de la fouille (m).

V_{sable} : volume de sable (m³).

V_{remblai} : Volume de remblai (m³).

V_{évacuation} : volume d'évacuation (m³).

PN : Pression nominale.

DA : Dinar Algérien.

TVA : Taxe sur la Valeur Ajoutée.

TTC : Toutes Taxes Comprises.

HT : le montant d'un produit.

F/P : Fourniture et Pose.

Introduction générale

Introduction générale

L'alimentation en eau potable (AEP) constitue un pilier fondamental du développement socio-économique, un élément essentiel de l'aménagement du territoire et un facteur déterminant de santé publique. Face à la croissance démographique et à l'expansion urbaine, l'ingénierie hydraulique moderne doit relever des défis majeurs pour concilier la durabilité des infrastructures avec une distribution continue, sécurisée et conforme aux normes de qualité et de pression. En Algérie, la gestion rationnelle des ressources en eau s'inscrit au cœur des stratégies de développement durable, particulièrement dans les régions soumises à des contraintes climatiques sévères.

La commune de Belarbi, située dans la wilaya de Sidi Bel Abbès, illustre parfaitement cette problématique. Caractérisée par un climat semi-aride froid et une économie à forte vocation agricole, cette localité connaît une dynamique démographique progressive. Cependant, le diagnostic technique de son système actuel d'alimentation en eau potable, géré par l'Algérienne des Eaux (ADE), met en évidence des insuffisances majeures. Bien que le taux de raccordement des usagers atteigne 100 %, l'infrastructure existante souffre d'un vieillissement marqué. Composé à 70 % de conduites en PVC à colles et à joints dégradés, le réseau enregistre un taux de pertes et de fuites alarmant estimé à environ 80 %, ce qui induit un rendement médiocre et compromet la continuité du service à moyen et long termes.

Face à ce constat, les autorités locales ont initié une opération de refonte à travers l'étude du schéma directeur d'AEP. L'objectif principal de ce travail de recherche est de proposer une étude complète de rénovation et de renforcement du réseau de distribution de la zone de Belarbi Centre. Cette démarche s'appuie sur une modélisation numérique rigoureuse et une évaluation économique approfondie afin de garantir la fiabilité de la distribution à travers trois horizons temporels distincts : la situation actuelle de référence (2024), le court-moyen terme (2034-2035) et le long terme (2054).

Pour atteindre ces objectifs, notre mémoire est structuré en plusieurs chapitres complémentaires :

Le premier chapitre pose les fondements théoriques de l'hydraulique urbaine. Il expose les critères de choix des différentes configurations de réseaux (ramifiés, maillés, mixtes ou étagés), les modes d'adduction (gravitaire, refoulement ou mixte), ainsi que les lois physiques régissant les écoulements turbulents en charge.

Le deuxième chapitre est dédié à la présentation détaillée de la zone d'étude. Il rassemble les données monographiques, géographiques, climatiques et démographiques de la commune de

Introduction générale

Belarbi. C'est dans cette section qu'est réalisée la projection de la population à l'horizon 2054 par le modèle de croissance géométrique, ainsi que l'évaluation des besoins en eau domestiques et collectifs.

Le troisième chapitre traite de la modélisation hydraulique du réseau projeté via le logiciel de simulation EPANET. Il détaille la saisie des données nodales et physiques, les équations de conservation de la masse et de l'énergie (formule de Hazen-Williams), ainsi que l'analyse des résultats de simulation en termes de vitesses d'écoulement, de pressions aux nœuds et de pertes de charge.

Le quatrième chapitre aborde l'estimation financière et l'étude économique du projet. À partir d'un devis quantitatif et estimatif détaillé, il évalue les coûts liés aux travaux de terrassement, à la fourniture et pose des canalisations en PEHD, à la robinetterie et aux branchements particuliers, afin de valider la faisabilité financière des solutions proposées.

Enfin, cette démarche d'ingénierie vise à fournir aux gestionnaires de l'ADE un outil d'aide à la décision fiable pour éradiquer les pertes physiques d'eau et assurer un service public performant et durable pour la population de Belarbi.

Chapitre 01 : Généralité

I. Introduction :

L'alimentation en eau potable (AEP) constitue un élément essentiel du développement urbain et rural ainsi qu'un facteur déterminant de santé publique. Elle représente l'un des défis majeurs de l'ingénierie hydraulique moderne, dans la mesure où elle doit concilier des exigences multiples et parfois contradictoires : qualité de l'eau distribuée, continuité du service, pression suffisante aux points de livraison, maîtrise des coûts d'investissement et d'exploitation, ainsi que durabilité des infrastructures.

La conception d'un système d'AEP repose sur plusieurs paramètres fondamentaux qui interagissent entre eux. La topographie du terrain conditionne le mode d'alimentation (gravitaire ou par pompage) et influence directement la distribution des pressions dans le réseau. La densité de population détermine les besoins en eau et la configuration géographique des zones à alimenter. La demande en eau, exprimée à travers les débits de pointe, les débits moyens et les variations saisonnières, fixe les dimensions des ouvrages. Enfin, les contraintes économiques orientent les choix techniques en limitant les investissements et en optimisant les coûts d'exploitation sur le long terme.

Les ouvrages d'adduction constituent l'épine dorsale de tout système d'AEP. Ils assurent le transport de l'eau depuis le point de captage (source, puits, forage, prise en rivière) jusqu'au point d'accumulation (réservoir de stockage ou château d'eau), souvent sur de longues distances pouvant atteindre plusieurs dizaines de kilomètres. Ces conduites, généralement de grandes dimensions (diamètres variant de quelques centimètres à plusieurs mètres), fonctionnent en régime d'écoulement turbulent et nécessitent une étude hydraulique rigoureuse afin de déterminer les pertes de charge, les vitesses d'écoulement et les pressions en différents points du tracé.

Le choix du type de réseau de distribution — qu'il soit ramifié, maillé, mixte, étagé, gravitaire ou par pompage — doit garantir une distribution efficace, continue et sécurisée de l'eau potable à l'ensemble des usagers, dans le respect des normes de qualité en vigueur. Ce chapitre présente de manière détaillée les différents types de réseaux d'AEP ainsi que les modes d'adduction utilisés en pratique. [1]



Figure 1-1: Conduite d'Adduction [2]

II. Les types des réseaux d'AEP :

Le choix de la configuration d'un réseau d'Alimentation en Eau Potable (AEP) est une décision technique et économique majeure qui conditionne l'ensemble du cycle de vie du système. Il dépend principalement de trois facteurs :

La topographie du terrain desservi (terrain plat, vallonné, montagneux) ;

La densité de population et la répartition spatiale des usagers ;

Les moyens financiers disponibles pour la construction et l'exploitation.

On distingue plusieurs types de réseaux, chacun présentant des caractéristiques propres en termes de fonctionnement, d'avantages, d'inconvénients et de domaines d'application.

II.1 Réseau ramifié :

Définition

Le réseau ramifié, également appelé réseau en arête de poisson ou réseau en arborescence, est un réseau d'alimentation en eau potable organisé sous la forme d'un arbre hiérarchisé. Il est

Chapitre 01 : Généralité

constitué d'une conduite principale (artère maîtresse), à partir de laquelle partent des conduites secondaires, puis des conduites tertiaires de plus en plus petites, qui se terminent systématiquement en cul-de-sac (extrémités fermées). L'eau circule dans un seul sens, depuis la source (réservoir ou point de captage) jusqu'aux points de consommation (branchements particuliers), sans possibilité de retour ni de chemin alternatif.

Cette structure arborescente rappelle visuellement la ramification d'un arbre : le tronc représente la conduite principale, les grandes branches les conduites secondaires, et les petites branches les conduites tertiaires. Chaque nœud du réseau est alimenté par une seule et unique conduite amont, ce qui confère à ce type de réseau sa simplicité caractéristique, mais aussi sa principale fragilité.

Avantages

Avantages	Description
Conception simple	La structure arborescente est facile à concevoir et à mettre en œuvre, même avec des moyens techniques limités.
Faible coût d'investissement	La longueur totale des canalisations est minimisée, ce qui réduit considérablement les coûts de fourniture et de pose.
Calcul hydraulique facile	Le sens d'écoulement étant unique, le dimensionnement des conduites est direct et ne nécessite pas de méthodes itératives complexes.
Adapté aux petites zones	Parfaitement adapté aux petites communautés rurales ou aux lotissements de faible densité où la demande est limitée.

Tableau 1 : Avantage de Réseaux ramifié .

Inconvénients

Inconvénient	Description
Stagnation de l'eau en bout de réseau	Aux extrémités (culs-de-sac), l'eau peut stagner pendant de longues périodes, notamment aux heures de faible consommation, ce qui favorise la prolifération bactérienne et la dégradation de la qualité.
Qualité de l'eau moins bonne	Le renouvellement insuffisant de l'eau dans les branches terminales entraîne une perte de résiduel de chlore et une détérioration organoleptique (goût, odeur).
Coupure totale en cas de panne	Toute interruption sur une conduite (fuite, rupture, intervention de maintenance) prive l'ensemble des abonnés situés en aval, sans possibilité d'alimentation alternative.
Pression faible aux extrémités	Les pertes de charge s'accumulent tout au long du réseau, ce qui peut aboutir à des pressions insuffisantes aux points les plus éloignés de la source

Tableau 2 : Inconvénient Du Réseau Ramifier .

Utilisation.

Ce type de réseau est principalement utilisé dans :

Les zones rurales et les villages de faible densité de population ;

Les petits lotissements résidentiels en périphérie urbaine ;

Les zones industrielles isolées avec un nombre limité de points de consommation ;

Les zones où la simplicité d'installation et le faible coût sont des critères prioritaires par rapport à la continuité de service.

Il convient aux territoires peu étendus, faiblement urbanisés et disposant de ressources financières limitées. [3]

Schéma :

RÉSEAU D'ALIMENTATION EN EAU POTABLE (AEP) : MODÈLE RAMIFIÉ CLASSIQUE

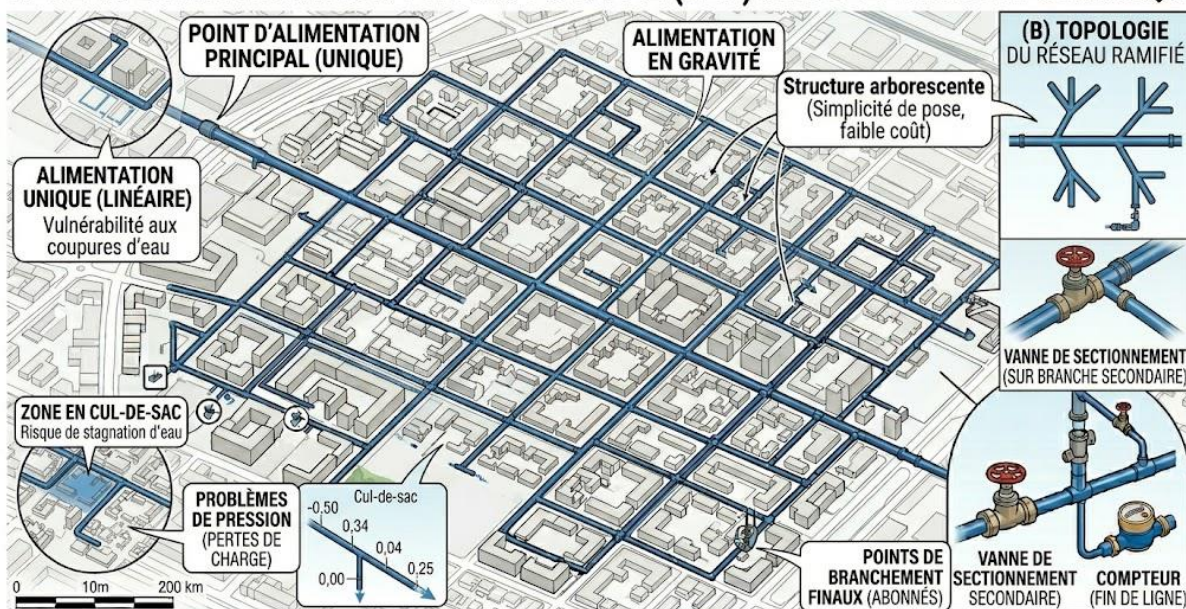


Figure 1-1: Réseau Ramifiée[4]

II.2 Réseau maillé (bouclé)

Définition

Le réseau maillé, également appelé réseau bouclé ou réseau en anneau, est un réseau dans lequel les conduites sont interconnectées entre elles pour former des boucles fermées (mailles). Contrairement au réseau ramifié, chaque point du réseau peut être alimenté par plusieurs chemins différents, ce qui permet à l'eau de circuler dans différents sens selon les conditions d'exploitation (distribution de la consommation, localisation des pannes, manœuvres des vannes).

Cette configuration en réseau interconnecté confère au système une grande résilience face aux incidents et une flexibilité d'exploitation remarquable. En cas d'interruption sur un tronçon, l'alimentation peut être maintenue en faisant transiter l'eau par les chemins alternatifs disponibles, après isolation du tronçon défaillant par manœuvre des vannes.

Avantages

Avantage	Description
----------	-------------

Bonne continuité de service	En cas de rupture ou de travaux sur un tronçon, l'alimentation est maintenue via les chemins alternatifs après isolement de la zone concernée.
Pression plus uniforme	La distribution des pertes de charge sur plusieurs chemins garantit des pressions plus homogènes dans l'ensemble du réseau.
Meilleure qualité de l'eau	Le renouvellement permanent de l'eau dans toutes les conduites limite la stagnation et préserve la qualité microbiologique et chimique.
Maintenance possible sans coupure	Les interventions de maintenance peuvent être effectuées sur un tronçon sans interrompre l'alimentation des usagers, par manœuvre des vannes de sectionnement.

Tableau 3 : Avantage de Réseau Maillé .

Inconvénients

Inconvénient	Description
Coût élevé	La multiplication des interconnexions nécessite une longueur totale de canalisations plus importante, ce qui augmente significativement les coûts d'investissement.
Calcul hydraulique complexe	Le dimensionnement du réseau requiert des méthodes de calcul itératives et des outils informatiques spécialisés, ce qui implique des compétences techniques avancées.
Nécessite plus de vannes et d'équipements	Le nombre élevé de nœuds et de boucles impose l'installation d'un grand nombre de vannes de sectionnement, de ventouses et de vidanges, augmentant les coûts d'équipement

et de maintenance.

Tableau 4 : Inconvénients de réseau Maillée.

Utilisation

Le réseau maillé est particulièrement adapté et recommandé pour :

Les **zones urbaines denses** et **les grandes villes** où la continuité de service est impérative ;

Les centres-villes et **les quartiers à forte consommation** où la pression doit être stable et uniforme ;

Les **zones industrielles et commerciales** nécessitant une alimentation ininterrompue ;

Les **zones à risque incendie** où le maintien d'un débit et d'une pression suffisants pour la défense incendie est obligatoire.

Il est particulièrement adapté aux centres urbains à forte densité de population et aux zones à consommation élevée. [5]

Schéma

RÉSEAU D'ALIMENTATION EN EAU POTABLE (AEP) : MODÈLE MAILLÉ GLOBAL

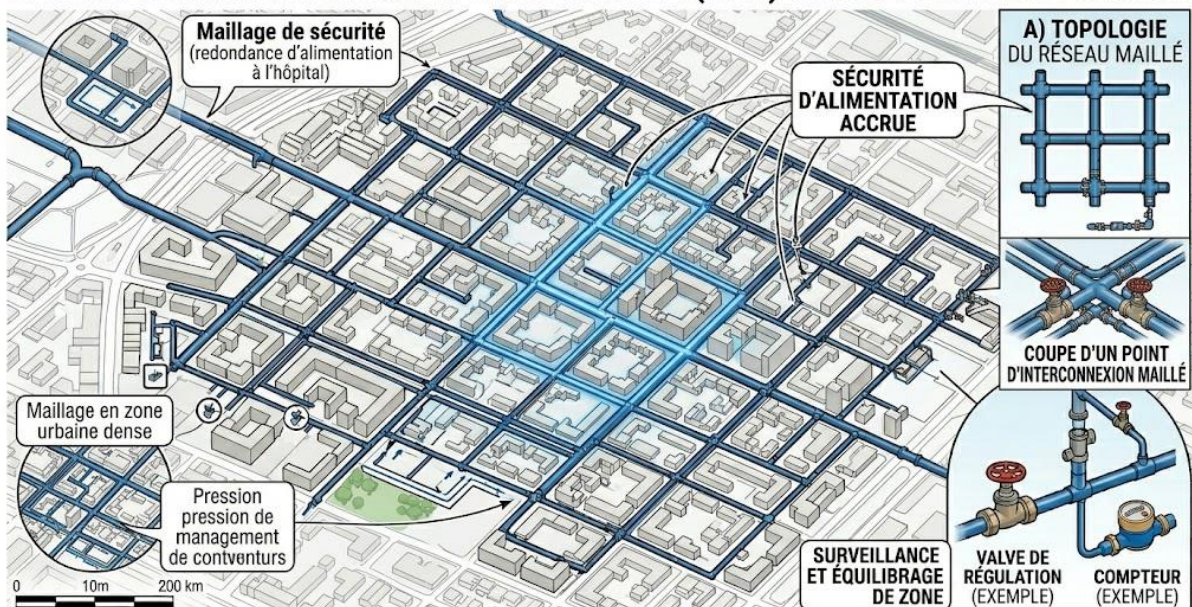


Figure 1-2:Réseau Maillé[6]

II.3 Réseau mixte

Définition

Le réseau mixte est une combinaison intelligente du réseau maillé et du réseau ramifié. Il s'agit de la solution la plus fréquemment adoptée en pratique, car elle permet de tirer le meilleur parti des deux configurations en les appliquant aux zones où elles sont le plus pertinentes.

Généralement, la partie centrale du réseau — correspondant aux zones à forte densité de population, aux axes principaux de distribution et aux quartiers à forte consommation — est configurée en réseau maillé, afin d'assurer une bonne sécurité d'alimentation, une pression uniforme et une qualité de l'eau satisfaisante. En revanche, les zones périphériques, moins densément peuplées ou en cours d'urbanisation, sont alimentées par des branches ramifiées qui se greffent sur le réseau central.

Avantages

Avantage	Description
Bon compromis coût / performance	Permet de réduire les investissements par rapport à un réseau entièrement maillé, tout en maintenant un haut niveau de service dans les zones centrales.
Adapté à l'extension urbaine	La structure mixte facilite l'extension progressive du réseau au fur et à mesure du développement urbain, sans nécessiter une refonte complète de l'infrastructure.
Souple et évolutif	Les branches ramifiées peuvent être

Chapitre 01 : Généralité

	ultérieurement bouclées pour améliorer la sécurité d'alimentation des zones périphériques en croissance.
--	--

Tableau 5 : Avantage de Réseau mixte.

Inconvénien

Inconvénient	Description
Gestion plus complexe	La coexistence de deux logiques de réseau (maillé et ramifié) complique la gestion opérationnelle, la détection des fuites et la planification des interventions de maintenance.
Qualité variable selon les zones	La qualité de l'eau peut être inégale : excellente dans les zones maillées centrales, mais potentiellement dégradée aux extrémités des branches ramifiées périphériques.

Tableau 6 : Inconvénien de réseau mixte .

Utilisation

Ce type de réseau est la solution de référence pour :

Les **villes moyennes** en croissance démographique ;

Les **agglomérations en expansion** spatiale, où certaines zones sont en cours d'urbanisation ;

Les **communes rurales** qui souhaitent sécuriser leur alimentation centrale tout en économisant sur les zones périphériques ;

Les situations où **les ressources financières sont limitées** et où il est nécessaire de prioriser les investissements.

Schéma

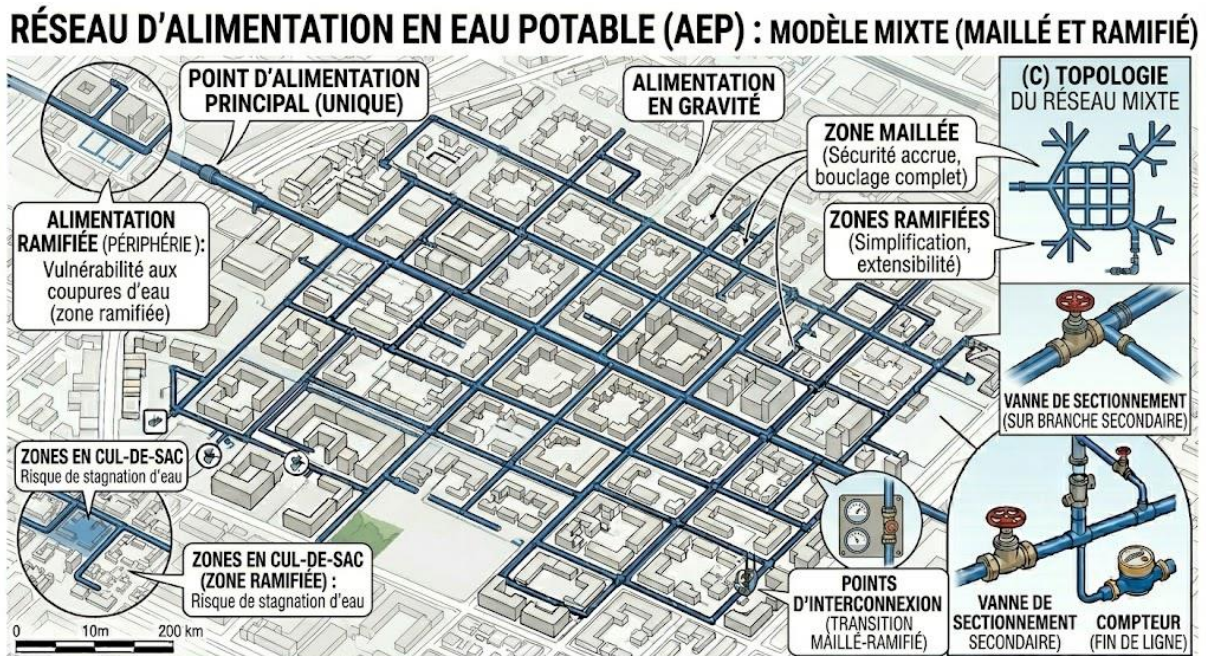


Figure 1-3: Réseau Mixte[7]

II.4 Réseau étagé (réseau à zones de pression)

Définition

Le réseau étagé est un réseau d'AEP divisé en plusieurs zones de pression distinctes (ou étages), chacune correspondant à une tranche d'altitude du terrain. Ce découpage vertical du réseau est rendu nécessaire lorsque les différences de niveau entre les zones les plus hautes et les zones les plus basses sont trop importantes pour être gérées par un réseau unique sans que certaines conduites ne soient soumises à des pressions excessives (risque de rupture) ou que d'autres ne bénéficient de pressions insuffisantes.

Chaque zone de pression est alimentée séparément grâce à des équipements spécifiques : réservoirs intermédiaires, stations de pompage de relèvement, ou réducteurs de pression (PRV — Pressure Reducing Valves), permettant de garantir en tout point du réseau une pression comprise dans les limites réglementaires (généralement entre 1 et 6 bars aux points de livraison).

Chapitre 01 : Généralité

Optimiser les consommations énergétiques en adaptant la hauteur de refoulement des pompes à chaque étage.

Avantages

Avantage	Description
Protection des conduites	En limitant la pression maximale dans chaque zone, on évite les ruptures de conduites et on prolonge leur durée de vie.
Pression maîtrisée	Les usagers de toutes les zones bénéficient d'une pression adaptée, ni trop faible ni trop élevée.
Réduction des fuites	Les pressions excessives étant évitées, le volume de fuites dans le réseau est significativement réduit, améliorant le rendement hydraulique global.
Très fiable en terrain accidenté	Ce système est particulièrement performant dans les zones à forte déclivité où un réseau unifié serait techniquement impraticable.

Tableau 7 : Avantage Réseau étagé.

Inconvénients

Inconvénient	Description
Coût élevé	La multiplication des équipements (réservoirs intermédiaires, pompes, réducteurs de pression) augmente considérablement les coûts d'investissement.
Exploitation complexe	La gestion de plusieurs zones de pression distinctes requiert un personnel qualifié et des outils de supervision performants (SCADA, télégestion).
Besoin de contrôle permanent	Les réducteurs de pression et les stations de pompage doivent être régulièrement contrôlés et maintenus pour garantir le bon fonctionnement de l'ensemble du système.

Tableau 8 : Inconvénients de réseau étagé .

Utilisation

Le réseau étagé est indispensable dans :

Les régions montagneuses ou vallonnées présentant des dénivelées importantes ;

Les grandes villes s'étendant sur des reliefs variés, où les différences d'altitude entre quartiers peuvent dépasser plusieurs dizaines de mètres ;

Les villes côtières présentant à la fois des zones basses en bord de mer et des zones hautes en arrière-pays ;

Toute situation où les différences d'altitude imposent une gestion différenciée des pressions pour protéger les infrastructures et garantir la qualité de service. [8]

II.5 Réseau gravitaire

Définition

Le réseau gravitaire est un réseau dans lequel l'eau est distribuée uniquement sous l'effet de la pesanteur, à partir d'un réservoir (ou d'un château d'eau) situé à une altitude supérieure à celle de l'ensemble des usagers à desservir. Aucun pompage n'est nécessaire pendant la phase de distribution .

Avantages

Avantage	Description
Économie d'énergie	L'absence de pompage pendant la distribution élimine les coûts énergétiques liés à la pressurisation du réseau, ce qui représente une économie substantielle sur le long terme.
Exploitation simple	Le fonctionnement est passif et continu, sans nécessiter d'équipements électromécaniques complexes ni d'opérateurs permanents pour le pilotage.
Très fiable	L'absence d'équipements mécaniques réduit les risques de panne et assure une grande fiabilité du système, même en l'absence d'électricité.
Faibles coûts d'exploitation	Hors maintenance du réservoir et du réseau de conduites, les coûts d'exploitation sont très limités.

Tableau 9 : avantage de réseau gravitaire

Inconvénients

Inconvénient	Description
Dépend fortement de la topographie	Ce système n'est applicable que lorsque la topographie locale offre un site naturel à une altitude suffisante pour implanter le réservoir. En terrain plat, il est inapplicable sans construction d'un château d'eau artificiel.
Pression difficile à contrôler	La pression varie avec l'altitude des usagers et avec le niveau d'eau dans le réservoir. Il peut être difficile de maintenir des pressions uniformes dans l'ensemble du réseau, notamment si les dénivelées sont importantes.
Capacité de stockage limitante	Le volume du réservoir doit être suffisant pour couvrir les pointes de consommation et les périodes d'interruption de la production.

Utilisation

Ce réseau est particulièrement adapté et recommandé pour :

Les zones disposant d'un relief favorable permettant l'implantation d'un réservoir en position dominante ;

Les régions de montagne où les sources et les captages sont situés en altitude ;

Les villages ruraux alimentés depuis des sources naturelles en altitude ;

Les systèmes d'AEP à faible budget d'exploitation dans les pays en développement.

II.6 Réseau par pompage

Définition

Le réseau par pompage est un réseau dans lequel l'eau est mise sous pression et distribuée à l'aide de stations de pompage qui assurent la hauteur manométrique totale (HMT) nécessaire pour vaincre les pertes de charge dans le réseau et atteindre les consommateurs avec une pression suffisante. Ce type de réseau est indispensable lorsque la topographie ne permet pas une distribution gravitaire naturelle, notamment dans les zones planes où aucun site naturel en altitude n'est disponible pour l'implantation d'un réservoir. [5]

Avantages

Avantage	Description
Indépendant de la topographie	Ce système peut être mis en œuvre dans n'importe quel contexte topographique, y compris les plaines et les zones côtières.
Contrôle de pression possible	La pression peut être ajustée en temps réel en fonction de la demande grâce à des variateurs de fréquence et des régulateurs automatiques.
Flexibilité	La capacité peut être facilement augmentée par l'ajout de nouvelles pompes ou le remplacement des existantes.

Tableau 10 :avantage de réseau par pompage

Inconvénients

Inconvénient	Description
Coût énergétique élevé	Le fonctionnement continu des pompes entraîne des consommations électriques importantes, qui représentent souvent le

	premier poste de coût d'exploitation d'un réseau d'AEP.
Dépendance à l'électricité	Toute coupure d'électricité non compensée par un groupe électrogène entraîne l'arrêt de la distribution, créant une vulnérabilité majeure du système.
Maintenance des équipements	Les pompes, moteurs et équipements électriques nécessitent une maintenance régulière et qualifiée, ainsi que des pièces de rechange disponibles.

Tableau 11 :inconvenient de réseau par pompage

utilisation

Ce type de réseau est adapté et utilisé dans :

Les zones plates (plaines, deltas, zones côtières) où aucune topographie favorable à la gravité n'est disponible :

- Les régions désertiques où les nappes phréatiques profondes nécessitent un relevage important .
- Les zones urbaines denses où les pressions élevées ne peuvent être obtenues par gravité naturelle .
- Les situations nécessitant une régulation fine de la pression pour protéger les équipements sensibles.

II.7 Réseau avec réservoir (pompage + gravité)

Définition

Ce type de réseau, le plus répandu dans les systèmes d'AEP modernes, combine les avantages du pompage et de la distribution gravitaire. Son principe est le suivant : l'eau est d'abord pompée depuis la source ou l'usine de traitement vers un réservoir de stockage situé en position dominante (réservoir sur tour, château d'eau, ou réservoir semi-enterré sur une colline), puis elle est distribuée par gravité depuis ce réservoir vers les usagers.

Chapitre 01 : Généralité

Cette organisation en deux étapes (pompage → stockage → gravité) permet de découpler la production et la distribution, offrant ainsi une grande souplesse d'exploitation et une sécurité d'alimentation accrue.

Principe de Fonctionnement

Le réservoir de stockage joue un rôle central dans ce système :

En période de faible consommation (nuit, week-end) : les pompes fonctionnent et remplissent le réservoir. L'eau produite est stockée en vue des futures pointes de consommation.

En période de forte consommation (pointes matinales et vespérales) : la demande dépasse la capacité de production, et le réservoir se vide pour compléter l'alimentation du réseau.

En cas de panne de pompes ou de coupure d'électricité : le volume stocké dans le réservoir assure la continuité de l'alimentation pendant un temps déterminé (généralement quelques heures à une journée selon la capacité du réservoir).

Avantages

Avantage	Description
Sécurité d'alimentation	Le volume de stockage constitue une réserve tampon qui garantit la continuité du service même en cas de panne des équipements de pompage ou de coupure électrique.
Régulation de la pression	La distribution gravitaire depuis le réservoir garantit une pression relativement stable et homogène dans le réseau, indépendamment des fluctuations de la demande.
Optimisation énergétique	Les pompes peuvent être programmées pour fonctionner principalement aux heures creuses, où le tarif électrique est plus faible (heures hors pointe), réduisant ainsi la facture énergétique.
Lissage de la demande	Le réservoir absorbe les pointes de consommation, ce qui permet de dimensionner les pompes et les conduites de refoulement sur le débit moyen plutôt que sur le débit de pointe, réduisant les coûts d'équipement.

Tableau 12 :avantage de réseau avec réservoir

Inconvénients

Inconvénient	Description
Investissement initial important	La construction d'un réservoir (surtout un château d'eau sur tour) représente un investissement significatif qui peut être prohibitif pour les petites collectivités.
Entretien du réservoir	Le réservoir doit être régulièrement inspecté, nettoyé et désinfecté pour garantir la qualité de l'eau stockée.

Tableau 13 :inconvenant de réseau avec réservoir

Utilisation

C'est la solution la plus utilisée dans les villes modernes et les systèmes d'AEP de moyenne et grande envergure. Elle assure :

Une bonne régulation de la pression dans le réseau ;

Une réserve d'eau suffisante en cas de panne ou d'incident ;

Une continuité de service maximale pour les usagers ;

Une optimisation des coûts énergétiques par le pompage en heures creuses.

III. TYPES D'ADDUCTION :

L'adduction désigne l'ensemble des ouvrages et des conduites qui assurent le transport de l'eau depuis le point de captage (source, forage, prise en rivière) jusqu'au réservoir de stockage ou au réservoir de distribution. Il s'agit d'une étape essentielle du système d'AEP, souvent réalisée sur de longues distances, parfois plusieurs dizaines de kilomètres, à travers des terrains de natures et de reliefs variés.

D'après leur mode de fonctionnement hydraulique, les adductions peuvent être classées en trois grandes catégories :

Adduction gravitaire ;

Adduction par refoulement ;

Adduction mixte. [1]

III.1 Adduction gravitaire :

Dans une adduction gravitaire, le réservoir d'accumulation (point d'arrivée) se situe à une altitude inférieure à celle du point de captage ou du réservoir de départ. L'eau s'écoule donc naturellement sous l'effet de la pesanteur, sans nécessiter d'énergie mécanique pour son transport. L'écoulement obéit à la loi de la force de pesanteur et la conduite peut fonctionner soit en écoulement à surface libre (canal ou conduite partiellement remplie), soit en écoulement en charge (conduite entièrement remplie, sous pression) selon la configuration du tracé. (Dupont, 1971) [9]

La charge hydraulique disponible à l'entrée de la conduite est égale à la différence d'altitude entre le plan d'eau amont et le plan d'eau aval, diminuée des pertes de charge dans la conduite :

$$H_{\text{disponible}} = Z_{\text{captage}} - Z_{\text{réservoir}} - \Sigma \Delta h_f$$

Caractéristiques Techniques

La conduite d'adduction gravitaire peut être une conduite en charge lorsque le profil en long présente des points hauts dont l'altitude est inférieure à la ligne piézométrique, ou une conduite à surface libre lorsque la pente naturelle du terrain est suffisante pour assurer un écoulement gravitaire sans mise en charge.

Lorsque le profil en long présente des points hauts (sommets) dont l'altitude est supérieure à la ligne piézométrique, il est nécessaire d'installer des ventouses pour évacuer l'air et des siphons pour maintenir l'écoulement en charge.

Les pertes de charge (régulières et singulières) doivent être soigneusement calculées pour s'assurer que la charge disponible est suffisante pour atteindre le réservoir d'accumulation avec la pression résiduelle requise.

Avantages et Limites

Chapitre 01 : Généralité

Cette solution est la plus économique sur le plan énergétique, car elle ne consomme aucune énergie électrique pour le transport de l'eau. Elle est cependant conditionnée par l'existence d'une différence de niveau favorable entre le point de captage et le réservoir d'accumulation, ce qui n'est pas toujours le cas selon la topographie locale.

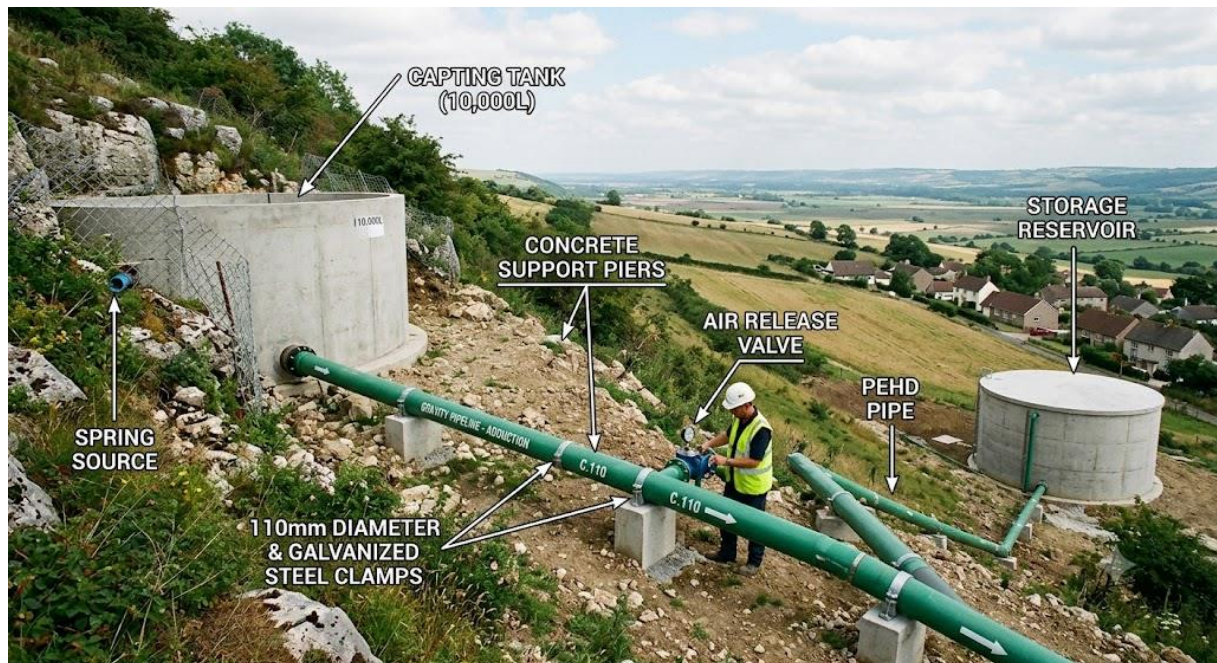


Figure 1-1: Adduction gravitaire[10]

III.2 Adduction par refoulement :

L'adduction par refoulement est utilisée lorsque le point de captage se situe à un niveau inférieur à celui du réservoir d'accumulation. Dans ce cas, l'eau ne peut pas s'écouler naturellement vers le réservoir, et il est nécessaire de la relever mécaniquement au moyen d'une station de pompage qui lui communique l'énergie nécessaire pour vaincre la différence de niveau (hauteur géométrique) et les pertes de charge dans la conduite de refoulement. (Dupont, 1971)[9]

La hauteur manométrique totale (HMT) que doit fournir la pompe est calculée comme suit :

$$HMT = (Z_{\text{réservoir}} - Z_{\text{captage}}) + \Sigma \Delta h_f + \Delta h_{\text{singulières}}$$

Où :

$(Z_{\text{réservoir}} - Z_{\text{captage}})$ = hauteur géométrique de refoulement (en m)

$\Sigma \Delta h_f$ = pertes de charge régulières dans la conduite (en m)

$\Delta h_{\text{singulières}}$ = pertes de charge singulières (coudes, vannes, etc.) (en m)

Caractéristiques Techniques

La conduite de refoulement fonctionne entièrement en charge (sous pression), le long de la totalité de son tracé.

Le débit de refoulement est généralement constant (débit de pompe), contrairement au débit de distribution qui varie au cours de la journée.

Il est indispensable de prévoir des dispositifs de protection contre les coups de bélier (suppresseurs, soupapes de décharge, cheminées d'équilibre) qui peuvent survenir lors des démarrages et des arrêts brusques des pompes.

La station de pompage doit être équipée de pompes de secours et, dans les systèmes critiques, d'un groupe électrogène pour garantir la continuité du service.

Avantages et Limites

Cette solution permet de s'affranchir des contraintes topographiques et d'alimenter des réservoirs situés à des altitudes significativement supérieures à la source. Son principal inconvénient est le coût énergétique du pompage, qui peut représenter une part importante des charges d'exploitation du système d'AEP. L'optimisation du dimensionnement de la conduite de refoulement (compromis entre le coût de la conduite et le coût de l'énergie de pompage) est une étape clé de la conception.

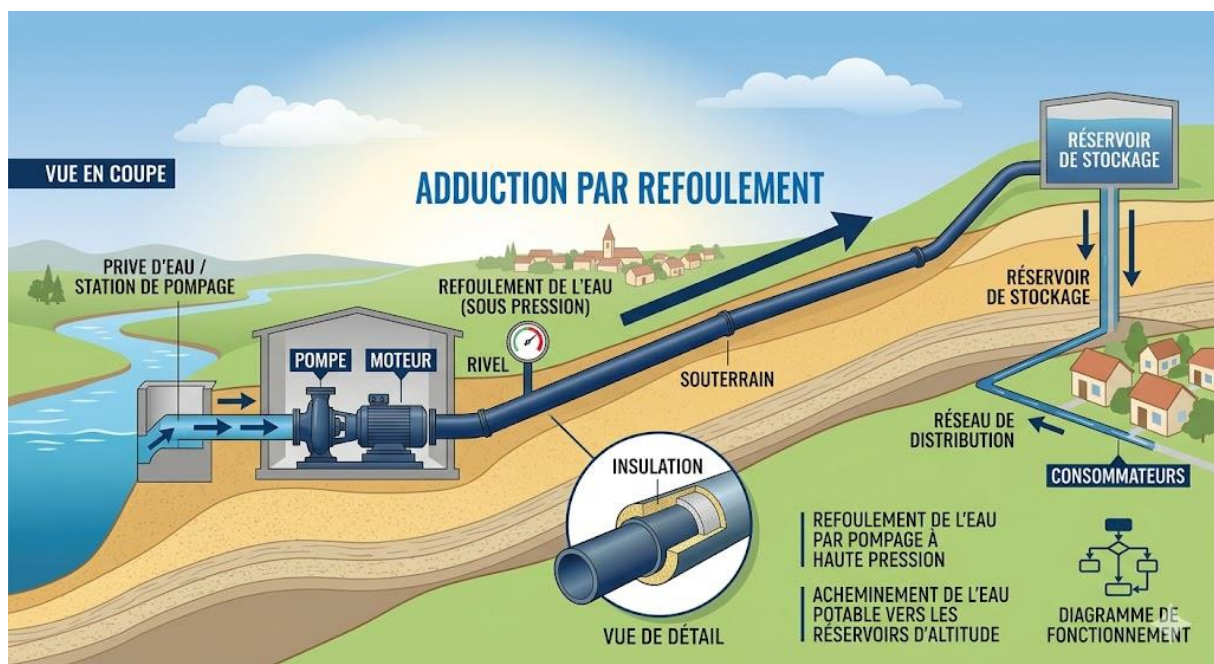


Figure 1-2: Adduction par refoulement[11]

III.3 Adduction mixte :

L'adduction mixte est une adduction qui combine les deux modes précédents : une partie du tracé fonctionne en conduite par refoulement (pompage) et une autre partie fonctionne en conduite gravitaire. Le passage d'un mode à l'autre est assuré par un réservoir intermédiaire, appelé réservoir tampon, qui joue le rôle de point de rupture entre les deux régimes hydrauliques.[9]

Concrètement, le tracé d'une adduction mixte peut se présenter de la manière suivante :

Premier tronçon (refoulement) : l'eau est pompée depuis le captage vers un réservoir tampon situé sur une hauteur intermédiaire.

Réservoir tampon : il accumule et régule les débits, et constitue le point de départ de la conduite gravitaire.

Deuxième tronçon (gravitaire) : l'eau s'écoule naturellement depuis le réservoir tampon vers le réservoir d'accumulation ou de distribution.

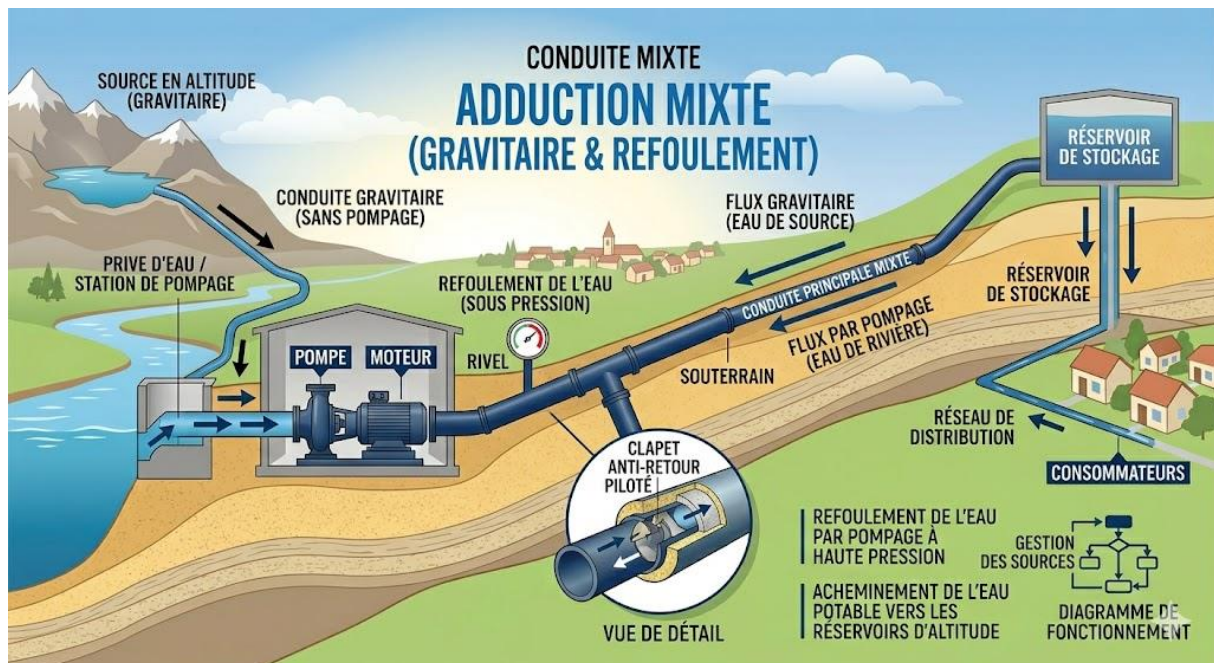


Figure 1-3 : Adduction Mixte[12]

IV Conclusion

L'alimentation en eau potable (AEP) constitue un pilier fondamental du développement urbain et rural ainsi qu'un facteur déterminant de santé publique. Sa conception repose sur une analyse approfondie intégrant la topographie, la densité de population, la demande en eau

et les contraintes économiques. Les ouvrages d'adduction assurent le transport de l'eau entre le point de captage et le point d'accumulation, souvent sur de longues distances, et nécessitent un dimensionnement hydraulique rigoureux en raison du régime d'écoulement turbulent.

Par ailleurs, le choix du réseau d'AEP doit résulter d'une étude technique et économique précise. Les réseaux ramifiés se caractérisent par leur simplicité et leur faible coût, tandis que les réseaux maillés garantissent une meilleure sécurité d'alimentation. Les réseaux mixtes offrent un compromis efficace, alors que les réseaux étagés, gravitaires ou par pompage permettent de s'adapter aux contraintes topographiques et hydrauliques spécifiques. Ainsi, une conception appropriée et une gestion rigoureuse sont indispensables pour assurer une distribution durable, fiable et conforme aux normes de qualité, contribuant au développement harmonieux des territoires et à la protection de la santé publique.

Chapitre 02 :

Présentation de la zone d'étude

I Introduction

Dans le cadre de l'étude du réseau d'alimentation en eau potable (AEP) de la région de Belarbi, ce chapitre a pour objectif de présenter une description détaillée de la commune de Belarbi, située dans la wilaya de Sidi Bel Abbès. L'analyse porte sur les aspects géographiques, climatiques, démographiques, socio-économiques et techniques liés au système actuel d'approvisionnement en eau. Une attention particulière est accordée à l'évolution démographique, aux besoins futurs en eau, ainsi qu'à l'état des infrastructures existantes afin de proposer un diagnostic précis et des orientations stratégiques pour le développement durable du service d'AEP.[8]



Figure 2-1 :La commune de BELARBI .[13]

II Informations géographiques concernant la commune de Belarbi

Localisation du site

La commune de Belarbi est située dans la wilaya de Sidi Bel Abbès, à environ 25 km au sud-est du chef-lieu de wilaya. Elle occupe une position stratégique entre les plaines agricoles du nord et les zones steppiques du sud, ce qui lui confère une importance particulière dans le maillage territorial de la région. Le centre-ville de Belarbi est accessible via la route régionale reliant Sidi Bel Abbès à Tiaret, facilitant les échanges économiques et sociaux avec les communes voisines.

La commune est limitée :

Au **nord**, par la commune de Sidi Boubekeur ;

Au **sud**, par la commune de Beni Ouarsous ;

À l'**est**, par la commune de ElHassi ;

À l'**ouest**, par la commune de Zeboudja.

Coordonnées géographiques de Belarbi :

Latitude : 34° 58' 00" Nord (34,9667°)

Longitude : 0° 36' 00" Est (0,6000°)

Altitude moyenne : 450 mètres

Belarbi se situe dans une zone de transition entre les plaines céréalières du Tell et les hautes steppes intérieures, ce qui influence fortement ses activités agricoles et son mode de vie rural.[6]



Figure 2-1 :Informations géographiques concernant la commune de Belarbi sur googleearth[13]

III Situation climatique

III.1 Climat

La zone d'étude de Belarbi est caractérisée par un climat de type semi-aride. Ce climat se distingue par des hivers relativement frais et des étés chauds et secs. La saison humide s'étend généralement de novembre à avril, tandis que la période estivale, très sèche, couvre les mois de juin à septembre. Ces conditions climatiques influencent directement les ressources en eau disponibles et les besoins en irrigation agricole.[14]

III.2 Pluviométrie

III.2.1 Précipitations annuelles

Les données pluviométriques recueillies pour la période allant de **1980 à 2016** révèlent une grande variabilité interannuelle des précipitations. Le tableau ci-dessous présente les valeurs annuelles observées :

Années	P (mm)	Années	P (mm)
1980/1981	285,3	1999/2000	302,1
1981/1982	105,7	2000/2001	330,4

Chapitre 02 : Présentation de la zone D'étude

Années	P (mm)	Années	P (mm)
1982/1983	380,2	2001/2002	440,6
1983/1984	230,8	2002/2003	245,2
1984/1985	460,5	2003/2004	205,3
1985/1986	310,2	2004/2005	350,7
1986/1987	235,4	2005/2006	370,2
1987/1988	260,1	2006/2007	170,5
1988/1989	275,3	2007/2008	380,1
1989/1990	310,4	2008/2009	570,3
1990/1991	290,6	2009/2010	385,4
1991/1992	220,1	2010/2011	390,2
1992/1993	190,3	2011/2012	290,5
1993/1994	240,5	2012/2013	420,7
1994/1995	440,2	2013/2014	410,3
1995/1996	200,4	2014/2015	460,1
1996/1997	205,1	2015/2016	295,3
1997/1998	380,6		
1998/1999	130,2		

Tableau 14 :perspiration annuelle

À partir de ces données, la précipitation moyenne annuelle sur la période 1980–2016 est estimée à 312,4 mm.[15]

III.2.2 Précipitations mensuelles

La répartition mensuelle des précipitations montre une concentration principalement durant les mois d'hiver et de printemps. Les valeurs moyennes sont présentées dans le tableau suivant :

Mois	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février
P (mm)	14,8	25,7	48,3	39,1	43,2	41,0
Mois	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août
P (mm)	36,1	30,5	20,1	6,2	1,6	3,0

Tableau 15 : précipitations mensuelles

On observe que les mois les plus pluvieux sont **novembre, décembre, janvier** et **mars**, alors que les mois d'été (juin, juillet, août) sont presque totalement dépourvus de précipitations.[16]

III.2.3 Précipitations saisonnières

La répartition des précipitations par saison

s met en évidence la forte dominance de la saison hivernale :

Saison	Mois	P (mm)
Hiver	Décembre, Janvier, Février	123,3
Printemps	Mars, Avril, Mai	86,7
Été	Juin, Juillet, Août	10,8
Automne	Septembre, Octobre, Novembre	88,8

Tableau 16 : précipitations saisonnières

L'hiver concentre près de **40 %** des précipitations annuelles, soulignant la nécessité d'un stockage efficace pour faire face à la sécheresse estivale.[17]

III.2.4 Température

Les températures moyennes mensuelles sur la période 1980–2016 sont indiquées dans le tableau suivant :

Mois	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février
T (°C)	23,1	17,8	12,9	9,8	8,6	9,9
Mois	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août
T (°C)	12,4	14,5	18,8	23,0	26,6	26,3

Tableau 17 : température

La température moyenne annuelle avoisine **16,2 °C**, avec un maximum atteint en juillet et août (autour de 26,5 °C) et un minimum en janvier (8,6 °C). Cette amplitude thermique importante est typique des zones steppiques.[18]

III.3 Agriculture

L'agriculture constitue la colonne vertébrale de l'économie de Belarbi. Elle revêt une double vocation :

- **Agricole intensive** dans les plaines fertiles du nord, où dominent les cultures céréalières (blé tendre, orge), les oliviers et les légumineuses.
- **Sylvo-pastorale** dans les zones périphériques et collinaires, favorisant l'élevage ovin et bovin.

La commune dispose d'un potentiel hydrique limité mais exploité principalement par des systèmes d'irrigation localisés. Des coopératives agricoles locales jouent un rôle clé dans la transformation et la commercialisation des produits locaux. Un réseau d'appui technique, géré par la Direction de l'Agriculture de la wilaya, accompagne les agriculteurs dans l'amélioration des rendements et la modernisation des pratiques culturales.[19]

III.4 Equipements :

Le tableau ci-dessous présente les différents équipements publics existants et leurs besoins en eau correspondants:

Chapitre 02 : Présentation de la zone D'étude

Classe Equipement	Nom Equipement	Nombre
Administration	Siège APC	1
	Agence postale	1
	Bureau de l'ADE	1
Education	Ecole primaire	3
	CEM	2
	Lycée	1
	Cantines scolaires	3
Santé	Polyclinique	1
	Pharmacie	2
Sport	Stade municipal	1
Culture	Centre culturel	1
Culte	Mosquée	3

Tableau 18 :équipements

III.5 Réseau routier :

Belarbi est une commune qui est liée par deux routes principale à savoir :

1- la Route nationale **RN 92** reliant la commune de sidi bel Abbes en passant par Telmouni et arrivant à Belarbi.

2- le chemin de wilaya **CW37** reliant la commune de ZERWALA et Belarbi.[21]

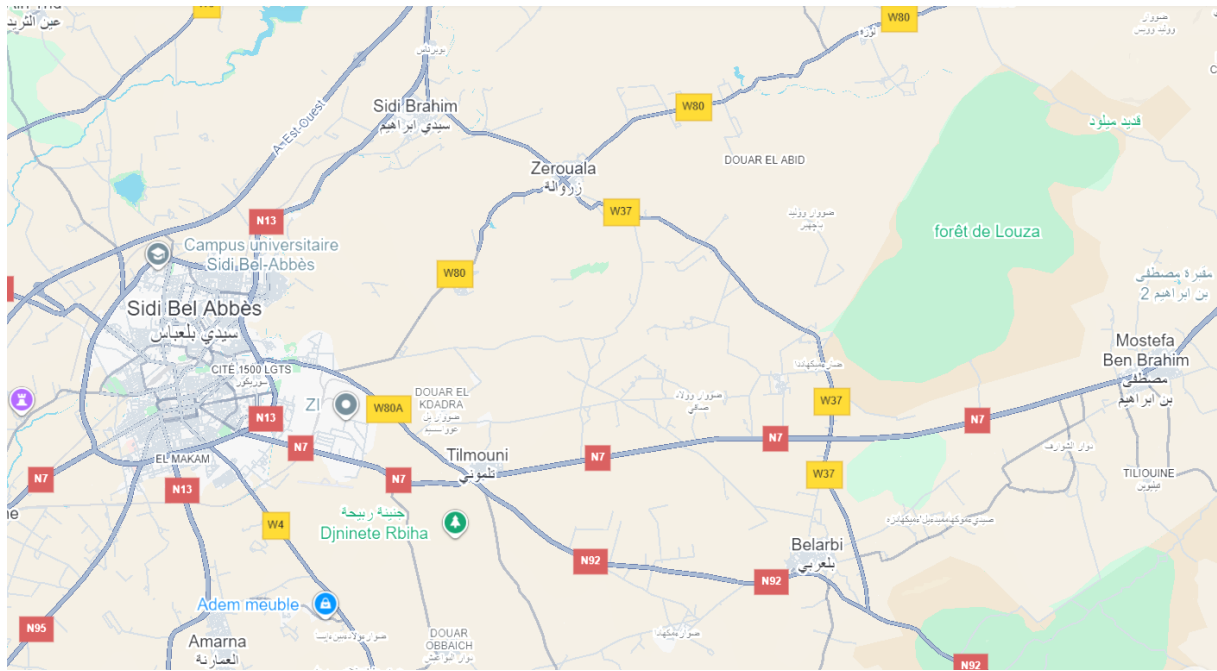


Figure 2-1 : Carte du réseau routier de la commune de BELARBI[21]

III.6 Démographie :

Population (année de référence) :

Selon le dernier Recensement Général de la Population et de l'Habitat (RGPH) de 2024, la population totale du centre de Belarbi est estimée à 9209 habitants.

Horizon	Population du centre de Belarbi (hab)
Actuel (2024)	9209

Tableau 19 : Population (année de référence){Citation}

population (Horizon d'étude) :

Pour évaluer la population future à l'horizon de 30 ans, on utilise la relation des intérêts composés suivante:

$$N = N_0 (1 + T)^n$$

Où:

N : Population future à l'horizon considéré

N_0 : Population de l'année de référence 2024 = 9209 habitants

Chapitre 02 : Présentation de la zone D'étude

T : Taux d'accroissement démographique annuel = 1.30 %

n : Nombre d'années séparant l'horizon d'étude et l'année de référence.

L'horizon d'étude a été arrêté pour l'année 2054. Les résultats des calculs sont portés dans le tableau suivant:

Horizon	Population du centre de Belarbi
Actuel (2024)	9209
Moyen terme (2034)	10486
Long terme (2054)	13442

Tableau 20 : population (Horizon d'étude)

III.7 Situation actuelle de l'alimentation en eau potable

Ressources mobilisées

Le centre de Belarbi est actuellement alimenté à partir de l'adduction GouacemBelarbi. Le débit affecté et actuellement mobilisé est d'environ 35 200 m³ par mois, soit un débit moyen continu de **13,58 l/s**.

Ouvrages de stockage

Il existe deux réservoirs semi-enterrés d'une capacité utile de 400 m³ et 500 m³ respectivement. Les deux réservoirs sont implantés à l'extérieur de l'agglomération. La capacité totale de stockage actuelle est de 900 m³. [22]

Réseau de distribution

Le réseau d'alimentation en eau potable du centre est de type ramifié. Il a subi plusieurs modifications et extensions au fil des années. Il est constitué de conduites en PVC et PEHD de diamètres nominaux suivants: DN 250, DN 200, DN 160, DN 125, DN 110, DN 90, DN 75 et DN 63.

Gestion des installations

Les installations d'AEP du centre de Belarbi sont gérées par l'ADE. Le taux de raccordement au réseau est estimé à 100%.

Le taux de pertes et fuites dans le réseau est actuellement estimé à environ 80%.

III.8 Situation actuelle de l'assainissement :

- Le réseau d'assainissement du centre de belarbi est du type unitaire. Les diamètres varient du 315 au 400 mm en PVC.
- Le collecteur de rejet est en DN500 mm en PVC et qui déverse vers son exutoire sans aucun traitement.[23]

III.9 Estimation des besoins en eau :

BESOINS EN EAU DES EQUIPEMENTS :

Le tableau ci-dessous présente les différents équipements publics existants et leurs besoins en eau correspondants:

Classe Equipement	Nom Equipement	Nombre	Besoin en eau m3/j
Administration	Siège APC	1	1.5
	Agence postale	1	1.0
	Bureau de l'ADE	1	0.5
Education	Ecole primaire	3	3.0
	CEM	2	2.0
	Lycée	1	1.0
Santé	Cantines scolaires	3	3.0
	Polyclinique	1	2.0
	Pharmacie	2	1.0
Sport	Stade municipal	1	1.0
Culture	Centre culturel	1	0.5
Culte	Mosquée	3	1.5
	Total		17.5

Tableau 21 : BESOINS EN EAU DES EQUIPEMENTS[24]

Chapitre 02 : Présentation de la zone D'étude

Calcul de la consommation moyenne journalière

Le choix de la dotation hydrique est effectué conformément à la norme retenue pour cette étude:

Taille de l'agglomération	Dotation hydrique l/j/hab
Moins de 5000 habitants	150
5000 à 20000 habitants	180
20000 à 100000 habitants	250

Tableau 22 : Calcul de la consommation moyenne journalière

La population du centre de Belarbi est comprise entre 5000 et 20000 habitants sur l'ensemble de la période d'étude, la dotation hydrique retenue est donc de 180 l/j/hab.

besoins en eau domestiques

Horizon	Nombre d'habitants	Dotation hydrique l/j/hab	Q domestique m3/j
Actuel (2024)	9209	180	1658
Moyen terme (2034)	10486	180	1887
Long terme (2054)	13442	180	2420

Tableau 23 : besoins en eau domestiques[25]

Coefficient de majoration

Un coefficient de majoration est appliqué pour tenir compte des fuites dans le réseau, des consommations non comptabilisées et des extensions futures. Conformément à la méthodologie de l'étude:

N = 10% : pourcentage des pertes techniques dans le réseau

M = 15% : pourcentage pour extension et consommations non prévues

CM = 10 + 15 = 25% : coefficient de majoration total[26]

Récapitulation des besoins en eau

Horizon	Type de besoin	Q calculé m3/j	Majoration 25%	Q majoré m3/j	Q majoré l/s
2024	Domestique	1658	414,5	2072,5	
	Equipements	17,5	4,4	21,9	
	Total	1675,5	418,9	2094,4	24,24
2034	Domestique	1887	471,8	2358,8	
	Equipements	17,5	4,4	21,9	
	Total	1904,5	476,1	2380,6	27,55
2054	Domestique	2420	605	3025	
	Equipements	17,5	4,4	21,9	
	Total	2437,5	609,4	3046,9	35,26

Tableau 24 : Récapitulation des besoins en eau

III.10 Coefficients de variation et débits de dimensionnement

Pour le dimensionnement des ouvrages et du réseau, on détermine les différents débits de référence en appliquant les coefficients de variation suivants:

Coefficient journalier maximal K_{jmax}

Le coefficient journalier maximal retenu est de 1,3 pour les besoins domestiques et 1 pour les équipements, soit une valeur moyenne $K_{jmax} = 1,3$. [25]

Coefficient de variation horaire K_{hmax}

Le coefficient de variation horaire est calculé par la relation: [25]

$$K_{hmax} = \alpha_{max} \times \beta_{max}$$

Avec $\alpha_{max}=1,3$ retenu pour l'ensemble de l'étude, et β_{max} fonction de la population:

Horizon	Population	β_{max}	Kh_{max}
2024	9209	1,32	1,72
2034	10486	1,30	1,69
2054	13442	1,25	1,63

Tableau 25 : Coefficients de variation et débits de dimensionnement

Coefficient de pointe K_p

$$K_p = K_{jmax} \times K_{hmax}$$

Horizon	K_{jmax}	K_{hmax}	K_p
2024	1,3	1,72	2,24
2034	1,3	1,69	2,20
2054	1,3	1,63	2,12

Tableau 26 : Coefficient de pointe K_p

Récapitulation des débits de dimensionnement

Débit de pointe (Q_p)

$$Q_p = K_p \times Q_{moy.j \text{ majeure'}}$$

Chapitre 02 : Présentation de la zone D'étude

Horizon	Q moy j majoré	Q max journalier	Débit de pointe
	m3/j	l/s	m3/j
2024	2094,4	24,24	2722,7
2034	2380,6	27,55	3094,8
2054	3046,9	35,26	3961,0

Tableau 27 : Débit de pointe (Qp)[27]

Problématique du projet :

Le réseau d'A.E. P du centre BELARBI est constitué de différents types et diamètres.

Les travaux de rénovation du réseau d'AEP du centre de belarbi ont permis de changer une partie en PEHD à environs 30% et les 70% qui restent sont en PVC à colles et à joint ce qui à engendrer une dégradation du réseau et par conséquent des fuites d'eau appréciables ce qui à induit un médiocre rendement du réseau d'AEP.

Solutions envisageables :

Pour remédier à cette situation et améliorer le rendement du réseau d'AEP, les responsables locaux ont lancer une opération de rénovation du réseau d'AEP en passant par une étude du schéma directeur d'AEP pour permettre une bonne gestion à l'ADE et remédier aux problème des fuites qui peuvent atteindre jusqu'à 30%.

L'étude a été prise par un bureau d'études privé qui nous à assister durant toute notre période [28]de stage et mémoire fin d'étude.

IV. Conclusion

Ce chapitre a permis de présenter de manière détaillée la zone d'étude de Belarbi à travers ses caractéristiques géographiques, climatiques, démographiques et socio-économiques. L'analyse a mis en évidence que la commune connaît une évolution démographique progressive, avec une population passant de 9 209 habitants en 2024 à 13 442 habitants à l'horizon 2054, ce qui entraînera une augmentation significative des besoins en eau potable.

L'étude du système actuel d'alimentation en eau potable a montré que malgré un taux de raccordement satisfaisant, le réseau de distribution présente plusieurs insuffisances liées à son

Chapitre 02 : Présentation de la zone D'étude

vieillessement et à l'importance des pertes d'eau, affectant ainsi son rendement et la qualité du service assuré aux usagers.

L'évaluation des besoins futurs en eau a permis de déterminer les débits de dimensionnement nécessaires pour satisfaire la demande actuelle et future de la population ainsi que des équipements publics. Les résultats obtenus constituent une base essentielle pour la conception et le dimensionnement des ouvrages hydrauliques du réseau.

Ainsi, les éléments développés dans ce chapitre fournissent les données fondamentales nécessaires à l'élaboration de l'étude de rénovation et de dimensionnement du réseau d'AEP de Belarbi. Le chapitre suivant sera consacré à l'analyse hydraulique du réseau et à la proposition des solutions techniques permettant d'améliorer ses performances et d'assurer une alimentation en eau potable fiable et durable.[29]

Chapitre 03 : Etude de Cas

I. Introduction

L'alimentation en eau potable représente un enjeu majeur pour le développement durable des agglomérations urbaines et rurales. La planification et le dimensionnement d'un réseau d'alimentation en eau potable (AEP) nécessitent une approche méthodologique rigoureuse intégrant l'analyse démographique, l'évaluation des besoins en eau et la simulation hydraulique du réseau de distribution.

Dans le cadre de cette étude, le réseau AEP de la zone de **Belarbi Centre** a fait l'objet d'un audit hydraulique complet utilisant le logiciel **EPANET**, développé par l'**Agence de Protection de l'Environnement des États-Unis (US EPA)**. Cette étude couvre trois horizons de planification :

Horizon 2024 : Situation actuelle (année de référence)

Horizon 2035 : Court-moyen terme (11 ans)

Horizon 2054 : Long terme (30 ans)



Figure 3-1 : Levé Topographique de la zone de BELARBI Sur AutoCad

II. Evolution Démographique

II.1 Méthodologie de Projection Démographique

La projection de la population aux différents horizons a été réalisée en utilisant le **modèle de croissance géométrique**, conforme aux pratiques en vigueur en Algérie pour les études de planification des infrastructures hydrauliques. Ce modèle repose sur la formule suivante :

$$P_n = P_0 \times (1+t)^n$$

Équation 1 : Equation De calcul de Population Projetée à L'Horizon

Où :

P_n : Population projetée à l'horizon n (habitants)

P₀ : Population initiale de référence (habitants)

t : Taux de croissance annuel (adimensionnel)

n : Nombre d'années de projection

Paramètre Démographique de base

Paramètre	Valeur
Population de référence (2024)	9 209 habitants
Taux de croissance annuel	1,3 %
Année de référence	2024

Tableau 28 : Paramètre Démographique de la Zone BELARBI

Calcul des Projections Démographiques

► Horizon 2035 (n = 11 ans) :

$$P_{2024} = 9209 \times (1 + 0,013)^{11}$$

$$P_{2024} = 9209 \times (1,013)^{11}$$

$$P_{2024} = 9209 \times 1,15256$$

$$P_{2024} = 10\,614,91 \text{ habitants}$$

► Horizon 2054 (n = 30 ans) :

$$P_{2054} = 9209 \times (1 + 0,013)^{30}$$

$$P_{2054} = 9209 \times (1,013)^{30}$$

$$P_{2054} = 9209 \times 1,47329$$

$$P_{2054} = 13\,567,38 \text{ habitants}$$

Tableau Récapitulatif des Projections Démographiques

Horizon	Population (hab.)	Initiale	Taux de Croissance	n (années)	Population (hab.)	Projetée
2024	9 209		1,3 %	0	9 209	
2035	9 209		1,3 %	11	10 614,91	
2054	9 209		1,3 %	30	13 567,38	

Tableau 29 : Tableau Récapitulatif des Projections Démographiques

II.2 Analyse de l'Évolution Démographique

La croissance démographique projetée pour Belarbi Centre est modérée et progressive, avec un taux annuel de 1,3 % maintenu constant sur toute la période d'étude. Entre 2024 et 2054, la population passera de 9 209 à 13 567 habitants, soit un accroissement de 47,33 % en trente ans.

Cette évolution implique une augmentation substantielle des besoins en eau potable qui doit être anticipée dans le dimensionnement des infrastructures hydrauliques, notamment les conduites de transport, les ouvrages de stockage et les équipements de traitement.

III. Évaluation des Besoins en Eau Potable

III.1 Composantes des Besoins en Eau

Les besoins en eau potable de la zone de Belarbi Centre sont décomposés en deux catégories :

Besoins domestiques :

$$Q_{\text{dom}} = P \times D$$

Équation 2 : Calcul de Débits Domestiques

Où D est la dotation journalière par habitant (L/j/hab).

Besoins des équipements collectifs :

Valeur forfaitaire fixée à 13,5 m³/j, couvrant les besoins des équipements publics (mosquées, écoles, administrations, espaces verts, etc.).

Dotations Journalières Adoptées

Horizon	Dotation (L/j/hab)	Justification
2024	180	Norme algérienne pour agglomération de taille moyenne
2035	180	Maintien de la dotation actuelle
2054	180	Augmentation liée à l'amélioration du niveau de vie

Tableau 30 : Présente la dotation journalières Adoptées

Calcul des Besoins Journaliers Moyens

Horizon 2024

$$Q_{\text{dom},2024} = 9209 \times 180 = 1\,381\,350 \text{ L/j} = 1\,381,35 \text{ m}^3/\text{j}$$

$$Q_{\text{moy},j,2024} = 1\,381,35 + 13,50 = 1\,394,85 \text{ m}^3/\text{j}$$

$$Q_{\text{moy},j,2024} = (1\,394,85 \times 1000) / 86400 = 16,14 \text{ L/s}$$

Horizon 2035 :

$$Q_{\text{dom},2035} = 10\,614,91 \times 180 = 1\,922\,365 \text{ L/j} = 1\,922,36 \text{ m}^3/\text{j}$$

$$Q_{\text{moy},j,2035} = 1\,922,36 + 13,50 = 1\,935,86 \text{ m}^3/\text{j}$$

$$Q_{\text{moy},j,2035} = (1\,935,86 \times 1000) / 86400 = 22,41 \text{ L/s}$$

Horizon 2054 :

$$Q_{\text{dom},2054} = 13\,567,38 \times 180 = 2\,442\,128 \text{ L/j} = 2\,442,13 \text{ m}^3/\text{j}$$

$$Q_{\text{moy},j,2054} = 2\,442,13 + 13,50 = 2\,455,63 \text{ m}^3/\text{j}$$

$$Q_{\text{moy},j,2054} = (2\,455,63 \times 1000) / 86400 = 28,42 \text{ L/s}$$

Tableau des Besoins Journaliers Moyens

Horizon	Population (hab)	Dotation (L/J/Hab)	Besoins Domestiques(m ³ /j)	Equipements (m ³ /j)	Q_moy.j (m ³ /j)	Q_moy.j (L/s)
2024	9209	180	1 381,35	13,50	1 394,85	16,14
2035	10 614,91	180	1 922,36	13,50	1 935,86	22,41
2054	13 567,38	180	2 442,13	13,50	2 455,63	28,42

Tableau 31 : Tableau des Besoins Journaliers Moyens

IV. Coefficients de Pointe et Débits de Dimensionnement

IV.1 Définition et Formulation des Coefficients

La consommation d'eau présente des variations temporelles importantes qui doivent être prises en compte dans le dimensionnement des ouvrages. Ces variations sont caractérisées par les coefficients suivants :

Coefficient	Définition	Formule
$K_{j,max}$	Coefficient de pointe journalière	$K_{j,max} = Q_{max,j} / Q_{moy,j}$
A_{max}	Coefficient de pointe horaire (jour de pointe)	Valeur tabulée selon population
B_{max}	Coefficient de pointe horaire (jour moyen)	Valeur tabulée selon population
$K_{h,max}$	Coefficient de pointe horaire global	$K_{h,max} = K_{j,max} \times \alpha_{max}$
K_p	Coefficient de pointe global	$K_p = K_{j,max} \times \alpha_{max} \times \beta_{max}$

Tableau 32 : Définition et Formulation des Coefficients

IV.2 Valeurs des Coefficients par Horizon						
Horizon	Population (hab.)	$K_{j,max}$	α_{max}	β_{max}	$K_{h,max}$	K_p
2024	9 209	1,30	1,30	1,35	1,755	2,2815
2035	10 614,91	1,30	1,30	1,30	1,690	2,1970
2054	13 567,38	1,30	1,30	1,25	1,625	2,1125

Tableau 33 : Valeurs des coefficients par Horizon

La diminution progressive de β_{max} avec la croissance de la population (de 1,35 à 1,25) traduit le lissage naturel des pointes de consommation dans les agglomérations plus importantes.

IV.3 Calcul des Débits de Pointe

Débit Maximal Journalier

$$Q_{max,j} = K_{j,max} \times Q_{moy,j}$$

Équation 3 : Débit Maximal Journalier

Horizon	$K_{j,max}$	$Q_{moy,j} (m^3/j)$	$Q_{max,j} (m^3/j)$	$Q_{max,j} (L/s)$
2024	1,30	1 394,85	1 813,305	20,99
2035	1,30	1 605,74	2 087,46	24,16
2054	1,30	2 455,63	3 192,32	36,95

Tableau 34 : Débit Maximale Journalier

Débit de pointe Horaire

$$Q_p = K_p \times Q_{moy,j}$$

Équation 4 : Débit de Pointe Horaire

► Horizon 2024 :

$$Q_{p,2024} = 2,2815 \times 1\,394,85 = 3\,182,35 \text{ m}^3/j = 46 \text{ L/s}$$

► Horizon 2035 :

$$Q_{p,2035} = 2,197 \times 1\,605,74 = 3\,527,80 \text{ m}^3/j = 50.54 \text{ L/s}$$

► Horizon 2054 :

$$Q_{p,2054} = 2,1125 \times 2\,455,63 = 5\,187,51 \text{ m}^3/j = 60,04 \text{ L/s}$$

IV. Tableau Récapitulatif Final des Besoins

Horizon	Population (hab.)	$Q_{moy,j}$ (m ³ /j)	$Q_{moy,j}$ (L/s)	$Q_{max,j}$ (m ³ /j)	$Q_{max,j}$ (L/s)	Q_p (m ³ /j)	Q_p (L/s)
2024	9 209	1 394,85	16,14	1813,305	20,99	3 182,35	46
2035	10 614,91	1 605,74	18,58	2 087,46	24,16	3 527,80	50.45
2054	13 567,38	2 455,63	28,42	3 192,32	36,95	5 187,51	60,04

Tableau 35 : Tableau Récapitulatif Final des Besoins

V. Présentation du Logiciel EPANET

V.1 Description Générale

EPANET (Environmental Protection Agency NETWORK) est un logiciel de simulation hydraulique et de qualité de l'eau développé par l'Agence de Protection de l'Environnement des États-Unis (US EPA). Distribué gratuitement, il est largement utilisé à travers le monde par les ingénieurs hydrauliciens, les gestionnaires de réseaux d'eau et les chercheurs pour :

La modélisation hydraulique des réseaux de distribution d'eau potable en régime permanent et en régime transitoire étendu (simulation sur 24 heures) ;

Le calcul des débits dans les conduites, des pressions aux nœuds et des hauteurs dans les réservoirs ;

La simulation du comportement de la qualité de l'eau (âge de l'eau, concentration en chlore, propagation de contaminants) ;

L'analyse des scénarii d'exploitation et de gestion des réseaux.

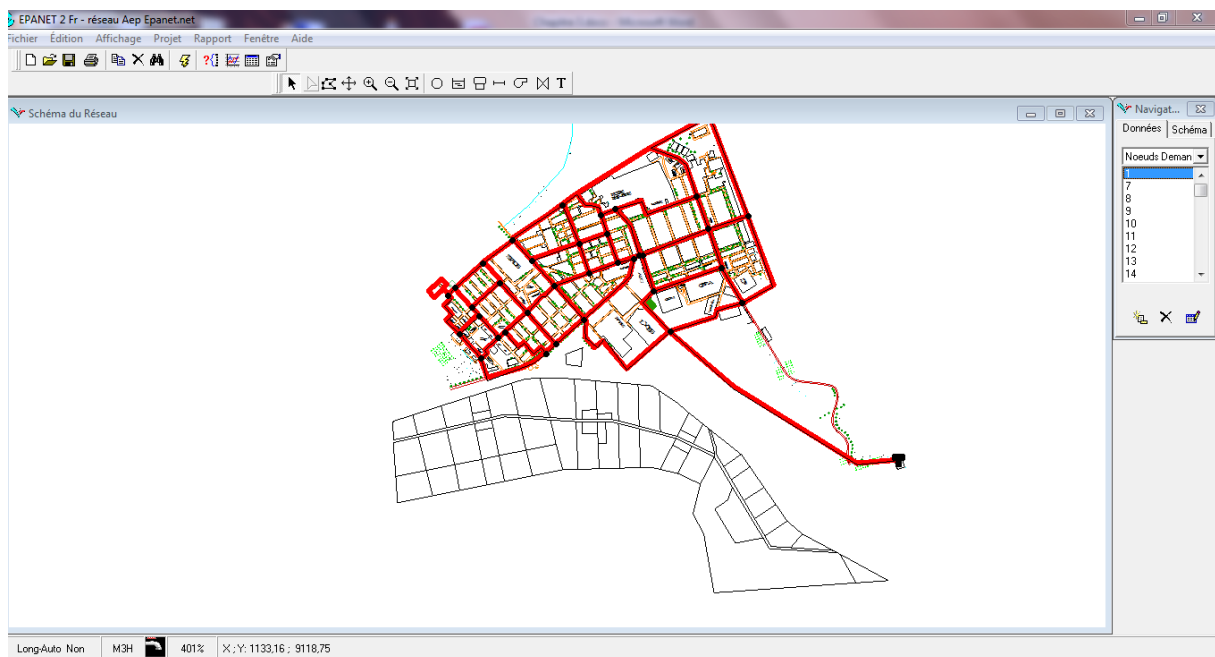


Figure 3-1 : Logiciel EPANET

V.2 Fondements Théoriques d'EPANET

EPANET résout simultanément les équations de conservation de la masse aux nœuds et les équations de conservation de l'énergie dans les mailles, en utilisant un algorithme itératif du gradient pour la résolution du système d'équations non linéaires.

V.2.1 Équation de Continuité aux Nœuds (Loi de Kirchhoff des Nœuds)

Pour chaque nœud i du réseau, la somme algébrique des débits entrants et sortants est nulle :

$$\sum Q_{ij} - D_i = 0$$

Équation 5 : Equation de Continuité aux Nœuds (Loi de Kirchhoff des Nœuds)

Où :

Q_{ij} : débit dans la conduite reliant le nœud i au nœud j (L/s)

D_i : débit consommé au nœud i (L/s)

V.2.1 Equation de Perte de charge (Hazen Williams)

EPANET utilise la formule de Hazen-Williams pour calculer les pertes de charge dans les conduites :

$$H_f = \frac{10,67 \times L \times Q^{1,852}}{C^{1,852} \times D^{4,87}}$$

Équation 6 : Equation de Perte de charge (Hazen Williams)

Où :

H_f : perte de charge (m)

L : longueur de la conduite (m)

Q : débit (m³/s)

C : coefficient de Hazen-Williams (adimensionnel)

D : diamètre intérieur (m)

La vitesse d'écoulement dans chaque conduite est calculée par :

$$V = \frac{4Q}{\pi D^2}$$

Équation 7 : Equation de la Vitesse D'écoulement)

V.3 Paramètres de Simulation Adoptés

Paramètre	Valeur Adoptée
Formule de Perte de charge	Hazen-Williams
Coefficient de Hazen-WilliamsC (PEHD)	180
Type d'analyse	Régime permanent
Unité de Débit	L/S
Précision de convergence	0.001
Nombre D'itération Max	40

Tableau 36 : Paramétré De Simulation Adoptés

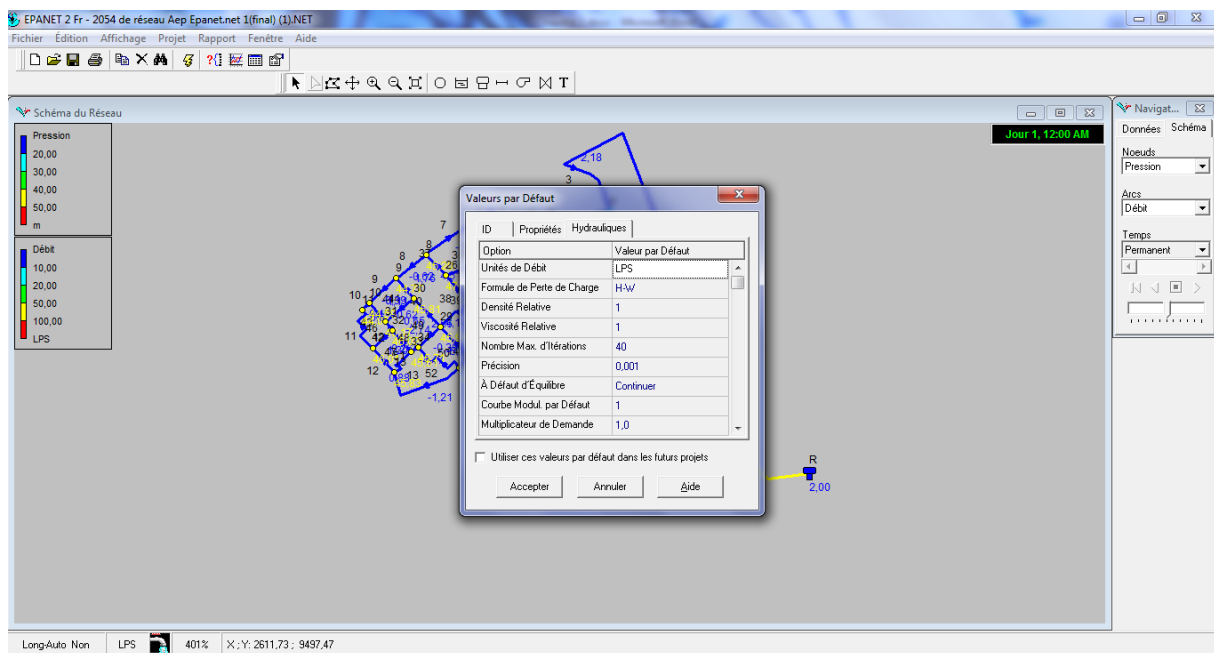


Figure 3-2 : Paramètre de Simulation adoptés .

VI. Construction Du Modèle EPANET

VI.1 Eléments du Modèle

Le modèle EPANET du réseau AEP de Belarbi Centre a été construit avec les éléments suivants :

Élément	Nombre	Description
Réservoir (source)	1	Nœud R, point d'alimentation
Nœuds de jonction	34	Nœuds 1 à 34
Conduites	54	Conduites 1 à 54

Tableau 37 : Eléments Du Modèle EPANET.

VI.2 Saisie des Données dans EPANET

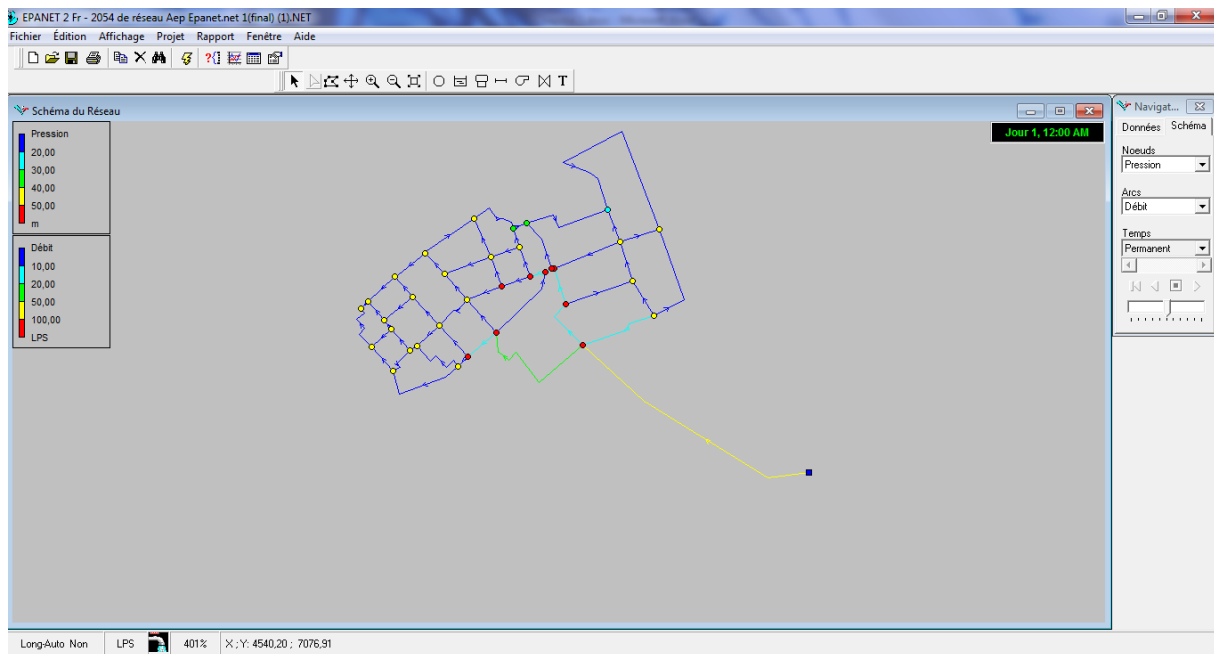


Figure 3-1 : Schéma Du Réseau AEP de La Zone BELARBI

VI.2.1 Données du Réservoir

Le réservoir R est défini dans EPANET par sa charge hydraulique totale (niveau d'eau + altitude du fond), qui constitue la condition aux limites du modèle. La charge hydraulique au réservoir a été fixée de manière à reproduire les gradients hydrauliques observés aux nœuds (gradient au nœud 1 = 625,78 m).

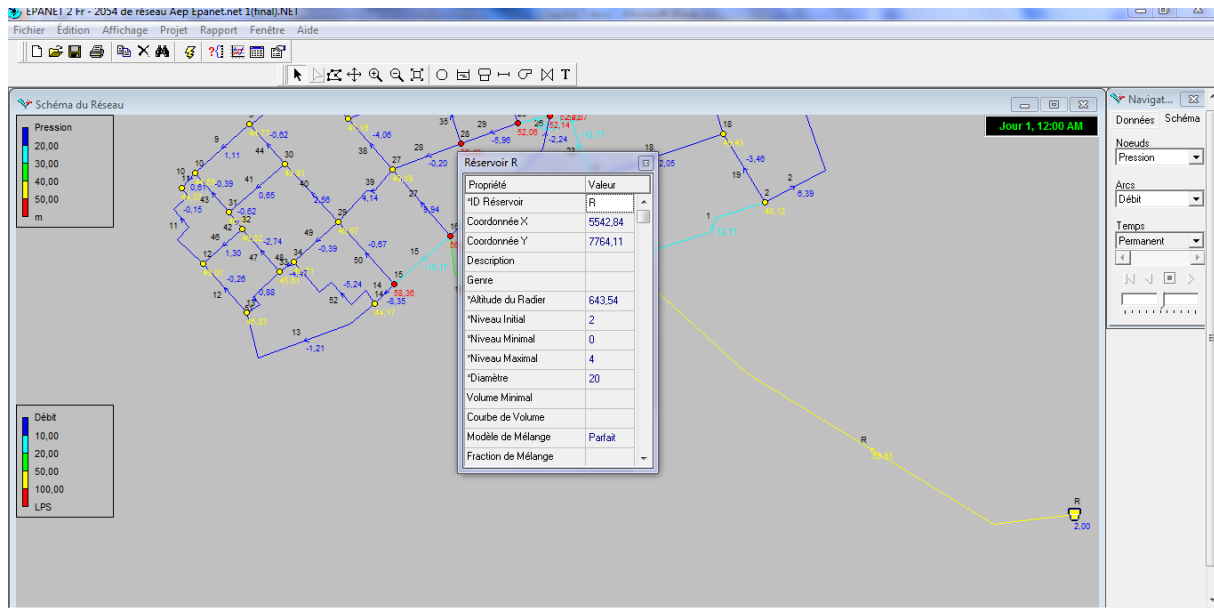


Figure 3-2 : Données de Réservoir

VI.2.1 Données des Nœuds

Chaque nœud de jonction est défini par :

Son élévation (cote du terrain naturel, en m NGF)

Sa demande de base (débit consommé, en L/s)

Les données nodales saisies dans EPANET sont les suivantes :

Nœud	Élévation (m)	Demande de base (L/s)
1	587,94	3.36
2	591,66	2.86
3	589,87	4.86
4	588,42	4,46
5	579,83	2.02

Chapitre 03 : Etude de cas

6	579,05	1.066
7	576,38	1.91
8	576,96	1.54
9	576,57	1.27
10	575,60	0,89
11	575,87	0,76
12	577,27	1.41
13	578,39	1.83
14	581,22	1.90
15	581,47	1.15
16	583,27	3.66
17	584,46	2.02
18	589,78	1.87
19	591,89	2,29
20	585,86	1.35
21	585,75	0,75

22	585,14	1.27
23	584,32	0,95
24	581,47	1.98
25	581,17	1.88
26	578,41	1.43
27	580,60	1.94
28	583,09	1.21
29	579,61	1.85
30	577,94	1,29
31	577,18	0,88
32	577,61	0,82
33	578,69	0.85
34	578,77	1.16
Total	—	60.04 L/s

Tableau 38 : Les données nodales saisies dans EPANET

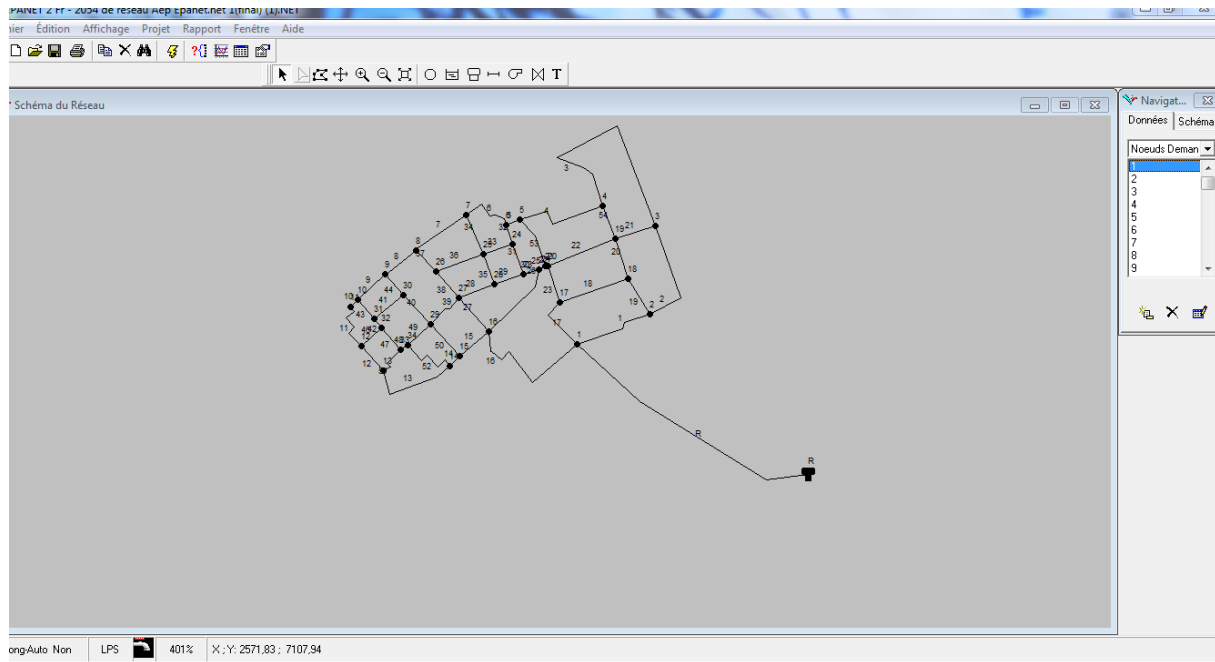


Figure 3-3 : la Numérotation de les Nœuds Sur le réseau .

VI.2.2 Données des Conduites

Chaque conduite est définie dans EPANET par :

Les nœuds de départ et d'arrivée

La longueur (m)

Le diamètre (mm)

Le coefficient de Hazen-Williams C

Le tableau complet des conduites avec leurs caractéristiques est présenté dans la section des résultats.

VI.1 Vérification de la Cohérence du Modèle

Avant le lancement de la simulation, EPANET effectue automatiquement une vérification de la cohérence du modèle :

Vérification	Résultat
Connexité du réseau	Réseau entièrement connecté
Conservation des débits	$\Sigma Q \text{ entrée} = \Sigma Q \text{ sortie} = 60 \text{ L/s}$
Définition des éléments	Tous les éléments correctement définis

Convergence de l'algorithme Convergence atteinte

Tableau 39 : Vérification de la cohérence du modèle

VII. Résultats de la Simulation EPANET

VII.1 Résultats sur les Conduites

VII.1.1 Tableau Complet des Résultats des Conduites

Conduite	Débit (L/s)	Vitesse (m/s)	Perte de charge unitaire (m/km)	État
R	59,93	1,22	4,64	Ouvert
1	12,71	0,63	2,31	Ouvert
2	6,39	1,00	10,67	Ouvert
3	2,18	1,11	25,55	Ouvert
4	-1,86	0,95	18,96	Ouvert
5	-3,47	0,79	8,36	Ouvert
6	-2,63	0,84	11,66	Ouvert
7	-1,21	0,62	8,60	Ouvert
8	1,76	0,56	5,53	Ouvert
9	1,11	0,56	7,25	Ouvert

Chapitre 03 : Etude de cas

10	0,61	0,49	7,14	Ouvert
11	-0,15	0,48	15,53	Ouvert
12	-0,26	0,32	4,37	Ouvert
13	-1,21	0,62	8,61	Ouvert
14	-8,35	1,89	42,50	Ouvert
15	-10,17	0,83	5,08	Ouvert
16	-26,01	0,83	2,93	Ouvert
17	17,84	0,89	4,33	Ouvert
18	2,05	0,32	1,30	Ouvert
19	-3,46	0,54	3,42	Ouvert
20	3,64	0,38	1,42	Ouvert
21	0,65	0,81	23,86	Ouvert
22	0,10	0,21	2,66	Ouvert

23	-13,77	1,12	8,92	Ouvert
24	12,52	1,02	7,48	Ouvert
25	11,37	1,79	30,95	Ouvert
26	-2,24	0,72	8,70	Ouvert
27	9,94	2,25	58,72	Ouvert
28	-0,20	0,63	25,83	Ouvert
29	-5,96	1,35	22,80	Ouvert
30	-12,34	1,30	13,56	Ouvert
31	5,42	1,74	44,66	Ouvert
32	1,91	2,38	175,52	Ouvert
33	2,53	0,81	10,89	Ouvert
34	3,33	1,70	55,89	Ouvert

35	-4,56	1,46	32,40	Ouvert
36	1,88	0,96	19,31	Ouvert
37	4,51	1,45	31,73	Ouvert
38	-4,06	1,30	26,15	Ouvert
39	4,14	1,33	27,08	Ouvert
40	2,56	0,82	11,15	Ouvert
41	0,65	0,33	2,72	Ouvert
42	-0,62	0,50	7,40	Ouvert
43	-0,39	0,80	31,38	Ouvert
44	-0,62	0,77	21,86	Ouvert
46	1,30	0,42	3,17	Ouvert
47	-2,74	0,62	5,40	Ouvert
48	-4,47	0,70	5,49	Ouvert

Chapitre 03 : Etude de cas

49	-0,39	0,49	9,42	Ouvert
50	-0,67	1,36	83,42	Ouvert
51	0,88	0,20	0,65	Ouvert
52	-5,24	0,82	7,37	Ouvert
53	0,41	1,30	99,34	Ouvert
54	0,60	1,90	201,16	Ouvert

Tableau 40 : Résultats hydrauliques des conduites obtenus par EPANET

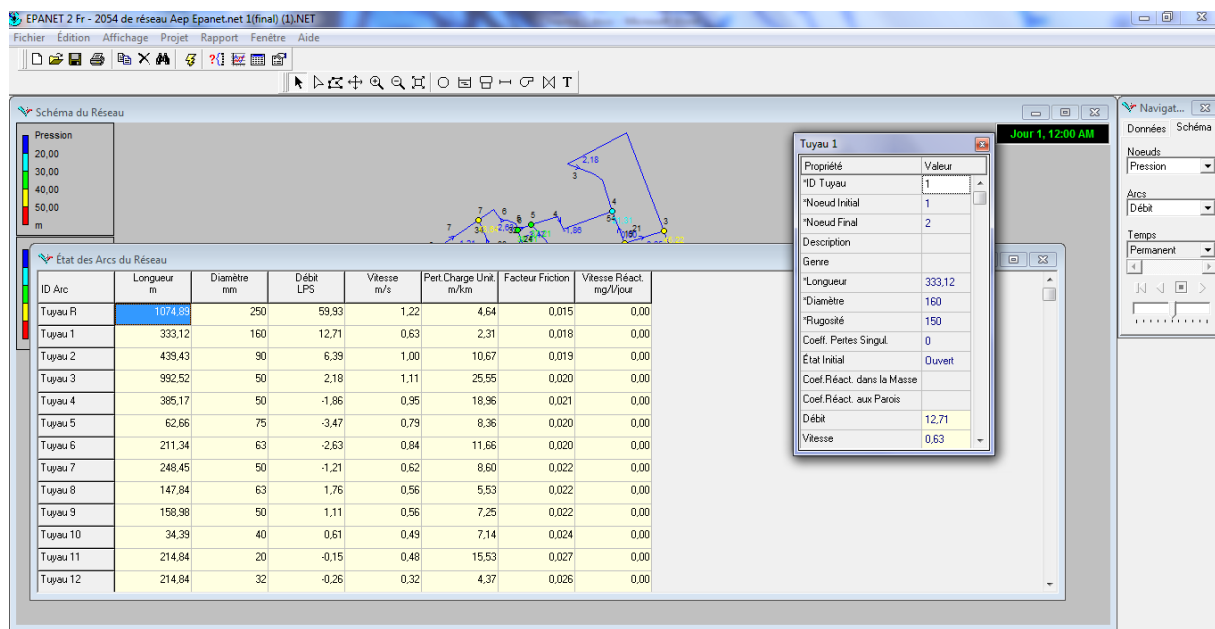


Figure 3-1 : Résultats hydrauliques des conduites obtenus par EPANET.

VII.1.2 Analyse des Vitesses d'Écoulement

EPANET calcule la vitesse dans chaque conduite selon :

$$V = \frac{4 \times Q}{\pi D^2}$$

La classification des vitesses selon les normes algériennes donne :

Plage de vitesses	Nombre de conduites	Pourcentage	Niveau de conformité
$V < 0,30$ m/s	2	3,77 %	Non conforme
$0,30 \leq V \leq 2,00$ m/s	48	90,57 %	Conforme
$V > 2,00$ m/s	3	5,66 %	Non conforme
Total	54	100 %	—

Tableau 41 : La classification des vitesses selon les normes algériennes

VII.2 Résultats aux Nœuds

VII.2.1 Tableau Complet des Résultats Nodaux

Nœud	Élévation (m)	Demande (L/s)	Gradient Hydraulique (m)	^s Pression (m H ₂ O)	Statut
1	587,94	3,36	640,55	52,61	✓
2	591,66	2,86	639,78	48,12	✓
3	589,87	4,86	635,09	45,22	✓

Chapitre 03 : Etude de cas

4	588,42	4,64	609,73	21,31	✓
5	579,83	2,02	617,04	37,21	✓
6	579,05	1,07	617,56	38,51	✓
7	576,38	1,92	620,02	43,64	✓
8	576,96	1,54	622,16	45,20	✓
9	576,57	1,27	621,34	44,77	✓
10	575,60	0,89	620,19	44,59	✓
11	575,87	0,76	619,94	44,07	✓
12	577,27	1,41	623,28	46,01	✓
13	578,39	1,83	624,22	45,83	✓
14	581,22	1,90	625,39	44,17	✓
15	581,47	1,15	639,83	58,36	✓
16	583,27	3,66	640,10	56,83	✓
17	584,46	2,02	639,59	55,13	✓
18	589,78	1,87	639,21	49,43	✓

Chapitre 03 : Etude de cas

19	591,89	2,29	638,99	47,10	✓
20	585,86	1,35	638,23	52,37	✓
21	585,75	0,75	638,18	52,43	✓
22	585,14	1,27	637,28	52,14	✓
23	584,32	0,95	636,38	52,06	✓
24	581,47	0,98	630,81	49,34	✓
25	581,17	1,88	629,48	48,31	✓
26	578,41	1,43	625,60	47,19	✓
27	580,60	1,94	629,79	49,19	✓
28	583,09	1,21	633,58	50,49	✓
29	579,61	1,85	625,58	45,97	✓
30	577,94	1,29	623,75	45,81	✓
31	577,18	0,88	623,35	46,17	✓
32	577,61	0,82	623,63	46,02	✓

Chapitre 03 : Etude de cas

33	578,69	0,85	624,30	45,61	✓
34	578,77	1,16	624,48	45,71	✓

Tableau 42 : Tableau complet des Résultats Nodaux

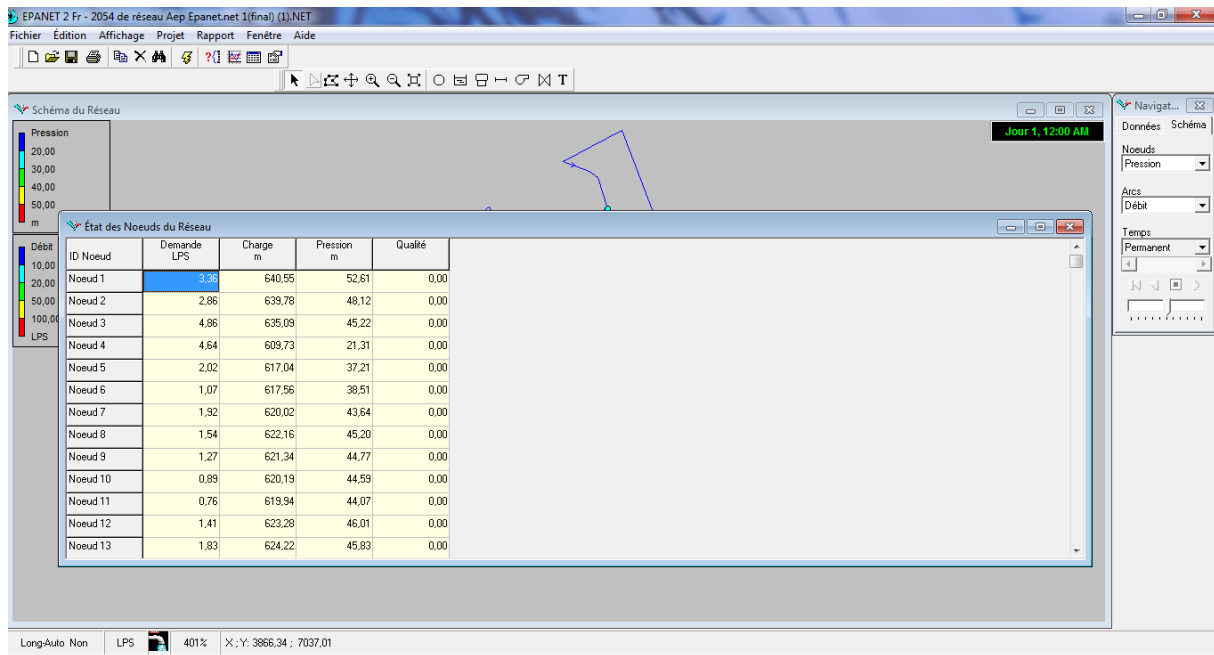


Figure 3-2 : Résultats nodaux sur EPANET

VII.2.2 Analyse Statistique des Pressions par EPANET

Paramètre	Valeur
Nombre total de nœuds	34
Pression minimale	21,31 mCE (Nœud 4)
Pression maximale	58,36 mCE (Nœud 15)
Pression moyenne	46,06 mCE

Nombre de nœuds avec $P < 20$ mCE	0
Nombre de nœuds avec $20 \leq P < 30$ mCE	1
Nombre de nœuds avec $30 \leq P < 40$ mCE	4
Nombre de nœuds avec $40 \leq P < 50$ mCE	19
Nombre de nœuds avec $50 \leq P \leq 60$ mCE	10
Nombre de nœuds avec $P > 60$ mCE	0
Conformité hydraulique	Conforme

Tableau 43 : Analyse Statistique des pressions par EPANET

VIII. Analyse Hydraulique Détaillée par EPANET

VIII.1 Analyse des Pertes de Charge

EPANET calcule les pertes de charge unitaires dans chaque conduite selon la formule de Hazen-Williams. Les pertes de charge les plus significatives sont observées sur :

conduites	P. charge unitaire (m/km)	Niveau d'analyse
1, 18, 20, 22, 41, 46, 47, 51	0 – 5	Très faibles pertes de charge (bon fonctionnement hydraulique)
R, 2, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 17,	5 – 15	Pertes de charge faibles à modérées

19, 24, 26, 33, 40, 42, 44, 52		(réseau acceptable)
3, 11, 21, 23, 25, 28, 29, 30, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 43, 49	15 – 40	Pertes de charge élevées (zones sensibles du réseau)
14, 27, 31, 32, 50, 53, 54	> 40	Très fortes pertes de charge (zones critiques)

Tableau 44 : Analyse des Perte de charge.

VIII.2 Bilan Hydraulique Global

EPANET effectue le bilan hydraulique complet du réseau :

Paramètre	Valeur
Débit entrant (depuis réservoir R)	60.04 L/s
Débit total consommé aux nœuds	59.93 L/s
Erreur de fermeture	0,11 L/s
Conservation de la masse	Parfaite

Tableau 45 : Billon Hydraulique Global

IX. Synthèse Finale et Conclusion

IX.1 Tableau de Bord de l'Audit Hydraulique

Indicateur	Résultat Actuel	Norme/Objectif
Débit total distribué	59,93L/s	Q _p 2054 = 60.04 L/s

Pression minimale	33,0 m H ₂ O (nœud critique)	≥ 30 m H ₂ O
Pression maximale	37,8 m H ₂ O	≤ 60 m H ₂ O
Pression moyenne	$\approx 35,4$ m H ₂ O	35-50 m H ₂ O
Vitesse minimale	0,63 m/s (conduite critique)	$\geq 0,30$ m/s
Vitesse maximale	1,22 m/s	$\leq 2,50$ m/s
Bilan hydraulique	59,93 L/s entrant = 59,93 L/s sortant	Équilibré
Conduites conformes vitesse	100 % (selon résultats EPANET)	100%
Nœuds conformes pression	100 %	100%

Tableau 46 : Tableau de Bord de l'Audit Hydraulique

IX.2 Conclusion

le réseau AEP de Belarbi Centre est globalement bien conçu et capable de répondre aux besoins actuels et futurs jusqu'à l'horizon 2054. Il assure une distribution satisfaisante en termes de pression, de débit et de continuité de service. Néanmoins, quelques améliorations localisées restent envisageables afin d'optimiser davantage son efficacité et de renforcer sa durabilité à long terme.

Chapitre 04 :

Estimation du coût du projet d'Alimentation en Eau Potable (AEP) de la commune de Belarbi – Wilaya de Sidi Bel Abbès

Chapitre 04 : Estimation du coût du projet d'Alimentation en Eau Potable (AEP) de la commune de Belarbi – Wilaya de Sidi Bel Abbès

I. Introduction

L'estimation financière constitue une étape essentielle dans toute étude d'alimentation en eau potable (AEP). Elle permet d'évaluer les ressources financières nécessaires à la réalisation des travaux projetés, de vérifier la faisabilité économique du projet et d'établir le budget prévisionnel.

Dans le cadre de la rénovation et du renforcement du réseau d'AEP de la commune de Belarbi (Wilaya de Sidi Bel Abbès), un devis quantitatif et estimatif a été élaboré à partir des quantités calculées lors de l'étude technique du réseau.



Figure 4-1 : Réseau AEP globale de BELARBI .

II. Objectif de l'estimation financière

L'estimation financière vise à :

Déterminer le coût global des travaux.

Évaluer le montant des différents postes du projet.

Prévoir les crédits nécessaires à l'exécution du projet.

Faciliter la planification et le financement des travaux.

Comparer différentes variantes techniques éventuelles.

III. Décomposition du coût du projet

Le coût total du projet est réparti en quatre grands postes :

Travaux de terrassement.

Fourniture et pose des canalisations.

Robinetterie et branchements particuliers.

Travaux divers et remise en état.

IV. Détermination des quantités de travaux

Avant l'établissement du devis quantitatif et estimatif, il a été nécessaire de déterminer avec précision les quantités de travaux à réaliser.

Cette étape repose sur l'analyse détaillée du tracé du réseau projeté et sur l'identification des différents diamètres de conduites retenus lors du dimensionnement hydraulique

Les conduites du réseau sont constituées de canalisations en PEHD PN16 de différents diamètres :

DN 63 mm

DN 90 mm

DN 110 mm

DN 160 mm

Chapitre 04 : Estimation du coût du projet d'Alimentation en Eau Potable (AEP) de la commune de Belarbi – Wilaya de Sidi Bel Abbès

DN 200 mm

Pour chaque diamètre, les longueurs ont été extraites à partir du plan du réseau puis additionnées afin d'obtenir la longueur totale à poser.

La longueur totale du réseau projeté est de :

$L_{\text{totale}} = 10916,12 \text{ m}$

Cette valeur constitue la base de calcul des volumes de terrassement et des quantités de matériaux nécessaire.

V. Calcul des volumes de terrassement

Les volumes de terrassement ont été calculés à partir des dimensions normalisées des tranchées.

La largeur de fouille varie en fonction du diamètre de la conduite afin de garantir les conditions de pose et de compactage conformément aux prescriptions techniques.

Le volume de fouille est calculé par :

Équation 8 : Volume de terrassement

$$V = L \times l \times h$$

Avec :

L : longueur de la conduite (m)

l : largeur de la tranchée (m)

h : profondeur de la fouille (m)

Les calculs ont été effectués séparément pour chaque diamètre.

Exemple de calcul

Pour la conduite DN 200

Longueur totale : 1953,83 m

Largeur de tranchée : 0,80 m

Profondeur moyenne : 1,20 m

Chapitre 04 : Estimation du coût du projet d'Alimentation en Eau Potable (AEP) de la commune de Belarbi – Wilaya de Sidi Bel Abbès

On obtient :

$$V_f = 1953,83 \times 0,80 \times 1,20$$

$$V_f = 1875,68 \text{ m}^3$$

La même démarche a été appliquée à l'ensemble des diamètres du réseau.

V.1 Volume total des déblais

Après sommation des volumes de fouilles de tous les tronçons

$$V_{\text{déblais}} = 9202,44 \text{ m}^3$$

2	VOLUME DU DEBLAI					
3	Diametre	Longueur (m)	largeur m	volume m3		
4	Φ200	1074,89	0,8	1031,8944		
5		333,12	0,8	319,7952		
6		221,96	0,8	213,0816		
7		165,56	0,8	158,9376		
8		158,3	0,8	151,968		
9		1953,83		1875,6768		
10	Φ160	29,17	0,76	26,60304		
11		66,15	0,76	60,3288		
12		95,32		86,93184		
13	Φ110	439,43	0,71	374,39436	long totale=	17270,74
14		62,66	0,71	53,38632		16195,85
15		51,55	0,71	43,9206		
16		154,71	0,71	131,81292		
17		545,23	0,71	464,53596		
18		285	0,71	242,82		
19		152,3	0,71	129,7596		
20		6,64	0,71	5,65728		
21		122,92	0,71	104,72784		
22		212,78	0,71	181,28856		
23		2033,22		1732,30344		

Figure 4-1 : Calcule des volume de Déblai Sur Excel

V.2 Volume de sable de protection

Le lit de pose est constitué d'une couche de sable de 10 cm sous la conduite et de 10 cm au-dessus. Le volume total de sable nécessaire est :

Chapitre 04 : Estimation du coût du projet d'Alimentation en Eau Potable (AEP) de la commune de Belarbi – Wilaya de Sidi Bel Abbès

$V_{\text{sable}} = 563,97 \text{ m}^3$

VOLUME DU SABLE			
Diametre	Longueur (m)	volume m3	v sable
Φ200	1074,89	33,751546	343,9648
	333,12	10,459968	106,5984
	221,96	6,969544	71,0272
	165,56	5,198584	52,9792
	158,3	4,97062	50,656
		61,35	625,2256
Φ160	29,17	0,58620032	9,3344
	66,15	1,3293504	21,168
		1,916	30,5024
Φ110	439,43	4,17392586	1,33565627
	62,66	0,59517601	0,19045632
	51,55	0,48964768	0,15668726
	154,71	1,46951294	0,47024414
	545,23	5,17886716	1,65723749
	285	2,7070725	0,8662632
	152,3	1,44662155	0,4629189
	6,64	0,06307004	0,02018241
	122,92	1,16755562	0,3736178
	212,78	2,02109083	0,64674907
		19,31	6,18001
►► V,DEBLAIS V,REMBLAIS V,SABLE V,EVA			

Figure 4-2 : calcul de Volume de sable sur Excel .

V.3 Volume de remblai

Le volume de remblai est obtenu en retranchant du volume de fouille le volume occupé par la conduite et le sable de protection

$V_{\text{remblai}} = 6134,96 \text{ m}^3$

Chapitre 04 : Estimation du coût du projet d'Alimentation en Eau Potable (AEP) de la commune de Belarbi – Wilaya de Sidi Bel Abbès

VOLUME DU REMBLAIS			
Diametre	Longueur(m)	largeur m	V Remblais
Φ200	1074,89	0,8	687,9296
	333,12	0,8	213,1968
	221,96	0,8	142,0544
	165,56	0,8	105,9584
	158,3	0,8	101,312
			1250,4512
Φ160	29,17	0,76	17,73536
	66,15	0,76	40,2192
			57,95456
Φ110	439,43	0,71	249,59624
	62,66	0,71	35,59088
	51,55	0,71	29,2804
	154,71	0,71	87,87528
	545,23	0,71	309,69064
	285	0,71	161,88
	152,3	0,71	86,5064
	6,64	0,71	3,77152
	122,92	0,71	69,81856
	212,78	0,71	120,85904
			1154,86896

Figure 4-3 : Calcule de volume du Remblais

V.4 Volume des déblais à évacuer

Après remblaiement des tranchées, le surplus de déblais doit être transporté vers une décharge publique. Le volume à évacuer est estimé à :

$$V_{\text{évacuation}} = 3067,48 \text{ m}^3$$

VI. Élaboration du devis quantitatif et estimatif

Le devis quantitatif et estimatif a été établi sur la base :

des quantités calculées ;

des prix unitaires pratiqués dans les marchés similaires de la région ;

des coûts de fourniture et de pose des équipements

Chapitre 04 : Estimation du coût du projet d'Alimentation en Eau Potable (AEP) de la commune de Belarbi – Wilaya de Sidi Bel Abbès

VII. Coût des travaux de terrassement

Les travaux de terrassement comprennent :

L'ouverture des fouilles en tranchée.

La fourniture et la mise en place du lit de sable.

Le remblaiement des tranchées.

L'évacuation des déblais excédentaires.

Désignation	Quantité	Prix unitaire (DA)	Montant (DA)
Fouille en tranchée	9 202,44 m ³	500	4 601 221,10
Lit de sable	563,97 m ³	1 000	563 970,00
Remblaiement	6 134,96 m ³	250	1 533 740,00
Évacuation des déblais	3 067,48 m ³	150	460 122,00

Tableau 47 : Cout des Travaux de Terrassement

Montant du terrassement

Total Terrassement = 7 159 053,10 DA

VIII. Coût des canalisations

Ce poste représente la part la plus importante du projet. Il comprend :

Chapitre 04 : Estimation du coût du projet d’Alimentation en Eau Potable (AEP) de la commune de Belarbi – Wilaya de Sidi Bel Abbès

La fourniture et la pose des conduites PEHD PN16.

Les accessoires de raccordement.

Le grillage avertisseur.

Réalisation de regard en B.A

VIII.1 Grillage avertisseur

Désignation	Quantité	Prix Unitaire (DA)	Montant (DA)
Grillage avertisseur bleu	10 916,12 ml	100	1 091 612,00

Tableau 48 : Cout de Grillage Avertisseur

VIII.2 Conduites PEHD

Conduite DN 200 mm

Quantité	Prix unitaire
1 953,83 ml	6 410,88 DA/ml

Tableau 49 : cout de conduites DN 200 mm

Montant :

12 525 769,67 DA

Conduite DN 160 mm

Quantité	Prix unitaire
95,32 ml	2 916 DA/ml

Chapitre 04 : Estimation du coût du projet d’Alimentation en Eau Potable (AEP) de la commune de Belarbi – Wilaya de Sidi Bel Abbès

Tableau 50 : Cout de la conduites DN 160mm

Montant :

277 953,12 DA

Conduite DN 110 mm

Quantité	Prix unitaire
2 033,22 ml	2 497,82 DA/ml

Tableau 51 : Cout de La conduites DN 110mm

Montant :

5 078 625,71 DA

Conduite DN 90 mm

Quantité	Prix unitaire
2 276,21 ml	928,80 DA/ml

Tableau 52 : Cout de la conduite DN90 mm

Montant :

2 114 143,85 DA

Conduite DN 63 mm

Quantité	Prix unitaire
9 553,58 ml	456,62 DA/ml

Tableau 53 : Cout de la conduite DN 63mm

Chapitre 04 : Estimation du coût du projet d'Alimentation en Eau Potable (AEP) de la commune de Belarbi – Wilaya de Sidi Bel Abbès

Montant :

4 362 355,70 DA

VIII. Réalisation de regard en B.A

Désignation des travaux	Unité	Quantité	Prix Unitaire (DA)	Montant (DA)
Réalisation de regard en béton armé dosé à 350 kg/m ³ de dimensions (1,20 × 1,20 × h), y compris tampon en fonte série lourde (85 × 85 cm), coffrage, ferrailage et toutes sujétions d'exécution	U	13	50 000	650 000

Tableau 54 : cout de la réalisation de regard

Total Canalisations

Le coût total des canalisations et accessoires est estimé à :

25 100 460.05 DA

IX. Coût de la robinetterie et des branchements

Ce poste comprend la fourniture et la pose des vannes de sectionnement ainsi que les branchements particuliers.

IX.1 Robinets-vannes

Vannes	Quantité	Montant (DA)
Vanne DN 65 mm	2	50 000
Vanne DN 80 mm	4	128 000

Chapitre 04 : Estimation du coût du projet d’Alimentation en Eau Potable (AEP) de la commune de Belarbi – Wilaya de Sidi Bel Abbès

Vanne DN 100 mm	4	60 000
Vanne DN 150 mm	1	28 000
Vanne DN 200 mm	2	100 000

Tableau 55 : Montant de Robinet Vannes

Total Robinetterie

366 000 DA

IX.2 Branchements particuliers

Branchement	Quantité	Prix unitaire
Branchement Particuliers	255U	10 000

Tableau 56 : Montant de branchements Particuliers

Montant :

2 550 000 DA

Total Robinetterie et branchements

2 916 000 DA

X. Travaux divers

Les travaux divers concernent principalement :

Raccordement au réseau existant

Quantité	Prix unitaire	Montant
----------	---------------	---------

Chapitre 04 : Estimation du coût du projet d’Alimentation en Eau Potable (AEP) de la commune de Belarbi – Wilaya de Sidi Bel Abbès

1 U	10 000 DA	10 000 DA
-----	-----------	-----------

Tableau 57 : Montant de raccordement au Réseau existant.

Réfection de chaussée

Quantité	Prix unitaire	Montant
3 887,00 m ²	3 000 DA/m ²	11 661 012 DA

Tableau 58 : Montant de Réfection de chaussée.

Total travaux divers

11 671 012 DA

X.1 Récapitulatif Général des Cout

Poste	Montant (DA)
Terrassement	7 159 035.10
Canalisations	25 450 460.05
Robinetterie et branchements	2 916 000.00
Regards en Béton armé	650 000 .00
Travaux divers	11 671 012.00
Total HT	47 846 525.15

Chapitre 04 : Estimation du coût du projet d'Alimentation en Eau Potable (AEP) de la commune de Belarbi – Wilaya de Sidi Bel Abbès

Tableau 59 : Récapitulatif Générale des cout de projet.

X.2TVA

La TVA appliquée est de 19 %.

$$TVA=47846525,15 \times 0,19$$

$$TVA=9090839,78DA$$

I. Coût global du projet

$$\text{Montant TTC} = \text{HT} + \text{TVA}$$

$$\text{Montant TTC} = 47846525,15 + 9090839,78$$

$$\text{Montant TTC} = 56\,937\,364.93\,DA$$

N°	Designation des travaux	U	Quantité	P/U	Montant
I	TERRASSEMENT				
1	Ouverture en fouille en tranchée terrain en tout es nature y/c réglage de fond de fouille et TS	m3	9,202.44	500.00	4,601,221.10
3	F/P de lit de sable noire p=10cm au dessous et au dessus de la conduite y/c TS	m3	563.97	1,000.00	563,970.00
4	Remblais de la tranché en tout venant expurgés de pierre set corps solides arrosé et compacté et TS	m3	6,134.96	250.00	1,533,740.00
5	Evacuation des terres excédentaires vers la décharge publique	m3	3,067.48	150.00	460,122.00
II	CANALISATION				-
1	F/P de grillage avertisseur bleu	ML	10,916.12	100.00	1,091,612.00
2	F/P de canalisation en PEHD Y/C piècesspéciales (Té, Raccord, K CB, Coude ,Bouchon.....)électro-soudageet TS				
	*DN200mm PN16	ML	1,953.83	6,410.88	12,525,769.67
	*DN110mm PN16	ML	2,033	2,497.82	5,078,625.71
	*DN160mm PN16	ML	95.32	2,916.00	277,953.12

Chapitre 04 : Estimation du coût du projet d'Alimentation en Eau Potable (AEP) de la commune de Belarbi – Wilaya de Sidi Bel Abbès

	*DN90mm PN16	ML	2,276.21	928.80	2,114,143.85
	*DN63mm PN16	ML	9,553.58	456.62	4,362,355.70
3	Réalisation d'égout en B.A350 kg/m ³ (1,20x1,20xh) Y/C Tampon en fonte série lourd (85x85cm) y/c coffrage et ferraillage et TS	U		50,000.00	-
III	ROBINETTERIE ET BRANCHEMENTS PARTICULIERS				
1	F/P de robinet trien fonte PN16 Y/C pièces spéciales et TS				
	*Robinet vanne DN100mm	U	4.00	15,000.00	60,000.00
	*Robinet vanne DN65mm	U	2	25,000.00	50,000.00
	*Robinet vanne DN80mm	U	4	32,000.00	128,000.00
	*Robinet vanne DN150mm	U	1	28,000.00	28,000.00
	*Robinet vanne DN200mm	U	2	50,000.00	100,000.00
3	Réalisation de branchements particuliers sur conduite en PEHD avec: Collier de prise en charge électro- soudable en PEHD PN16 Manchon électro-soudable en PEHD DN25 PN16 - Tuyau en PEHD DN25 PN16 longueur moyenne 20m l, Y/C terrassement, lit désable, grillage avertisseur et remise en état et T/S	U	255	10,000.00	2,550,000.00
IV	V-DIVERS				
1	Raccordement sur réseaux existants y compris pièces spéciales et Toutes sujétions de bonne exécution	U	1	10,000.00	10,000.00
2	Remise en état de la chaussée avec F/P de 0,3m de stérile arrosé et compacté et 0,05 m d'enrobé à chaud de toutes sujétions de Bonne exécution	M2	3,887	3,000.00	11,661,012.00

Chapitre 04 : Estimation du coût du projet d’Alimentation en Eau Potable (AEP) de la commune de Belarbi – Wilaya de Sidi Bel Abbès

TotalHT	47,196,525.16
TVA19%	8,967,339.78
TotalTTC	56,163,864.93

Arrêté le présent de vis à la somme de (T.T.C):

Le Subdivisionnaire

XI. Conclusion

L'étude économique du projet de rénovation et de renforcement du réseau d'Alimentation en Eau Potable de la commune de Belarbi a permis d'évaluer avec précision l'investissement nécessaire à sa réalisation. Les quantités de travaux ont été déterminées à partir des longueurs réelles des conduites et des volumes calculés de déblais, remblais et sable de protection. Le coût global du projet est estimé à 56 937 364,93 DA TTC, incluant les travaux de terrassement, la pose des canalisations, la réalisation des 13 regards en béton armé, les équipements hydrauliques, les branchements particuliers ainsi que les travaux de remise en état. Ce projet permettra d'améliorer durablement la desserte en eau potable de la commune de BELARBI et de répondre aux besoins actuels et futurs de la population.

Conclusion générale

I. Conclusion générale

Le travail de recherche et d'ingénierie développé dans le cadre de ce mémoire a porté sur l'étude de rénovation et de renforcement du réseau d'alimentation en eau potable (AEP) de la commune de Belarbi (Wilaya de Sidi Bel Abbès). Cette étude a permis d'apporter des solutions concrètes et scientifiquement validées à la problématique de vétusté et de faiblesse de rendement du réseau actuel.

Dans un premier temps, l'analyse des données de base a mis en lumière la vulnérabilité de la commune face à son climat semi-aride (précipitations moyennes de 312,4 mm/an) et la nécessité de sécuriser ses ressources hydriques. L'application du modèle de croissance géométrique, sur un taux annuel constant de 1,3 %, a révélé que la population de Belarbi Centre passera de 9 209 habitants en 2024 à plus de 13 400 habitants à l'horizon 2054. Cette transition démographique induit une augmentation substantielle de la demande en eau. En adoptant une dotation réglementaire de 180 L/j/hab et en intégrant un coefficient de majoration de 25 % pour pallier les pertes techniques futures, les besoins journaliers moyens ont été évalués à 3 046,9 m³/j (soit 35,26 L/s) pour le long terme, avec un débit de pointe horaire de dimensionnement fixé à 60,04 L/s.

Dans un second temps, la modélisation et l'audit hydraulique du réseau projeté ont été menés à l'aide du logiciel EPANET. La simulation numérique en régime permanent a validé les choix de dimensionnement basés sur un linéaire total de 10 916,12 mètres de canalisations modernes en PEHD (PN16). Les résultats obtenus confirment une excellente conformité du réseau aux normes algériennes en vigueur :

Au niveau des nœuds : 100 % des pressions sont conformes, oscillant entre un minimum de 21,31 mCE (au nœud critique 4) et un maximum de 58,36 mCE, évitant ainsi tout risque de sous-pression ou de rupture par surpression.

Au niveau des conduites : Plus de 90 % des tronçons présentent des vitesses d'écoulement parfaitement régulées (entre 0,30 et 2,00 m/s), ce qui empêche la stagnation de l'eau en bout de réseau et limite les pertes de charge excessives.

Le bilan hydraulique global affiche un équilibre parfait entre les débits entrants et sortants, attestant de la conservation de la masse et de la robustesse de la sectorisation proposée.

Conclusion générale

Enfin, l'évaluation économique a permis de quantifier précisément l'investissement requis pour concrétiser cette modernisation. Le devis estimatif global s'élève à un montant total de 56 937 364,93 DA TTC. Ce budget englobe de manière équilibrée les travaux de terrassement (fouilles de 9 202,44 m³), la fourniture et pose de canalisations du DN 63 au DN 200, l'installation de la robinetterie (vannes de sectionnement), la création de 13 regards en béton armé, la réalisation de 255 branchements particuliers et la réfection complète de la chaussée impactée.

En conclusion, le schéma directeur proposé démontre qu'il est techniquement et économiquement viable de substituer le réseau ramifié vétuste par un réseau moderne et performant. Ce projet permettra à l'Algérienne des Eaux (ADE) de réduire drastiquement le taux de fuites actuel de 80 % pour le ramener à des proportions techniques acceptables (inférieures à 30 %), optimisant ainsi la gestion de la ressource. Au-delà des aspects purement techniques, cette étude offre à la commune de Belarbi une infrastructure résiliente, capable de soutenir son développement agricole et urbain tout en garantissant un accès durable à l'eau potable pour les générations futures.

Références

Référence :

- [1] B. Bouzidi and A. Malek, "Analyse Micro économique des systèmes énergétiques-station de pompage," *Rev. Energ. Ren.: ICPWE*, pp. 53–60, 2003.
- [2] "Zoom sur le fonctionnement d'un réseau de distribution d'eau.," *Plomberie-sanitaire.net*. Accessed: Jun. 23, 2026. [Online]. Available: <https://www.plomberie-sanitaire.net/fonctionnement-reseau-de-distribution-deau/>
- [3] C. Baumann, "Architecture et gestion d'un réseau continu maillé haute-tension pour l'aéronautique," Institut National Polytechnique de Toulouse-INPT, 2009.
- [4] B. Salah, A. Kettab, and F. Massouh, "Coups De Bélier Dans Un Réseau Ramifié Enterré En Refoulement," *Courrier du Savoir scientifique et technique*, vol. 4, no. 4, pp. 53–58, 2014.
- [5] M. Ouassa and K. Ousaid, "Etude pour le renforcement du réseau d'AEP au niveau du village Tiguemounine," Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou, 2021.
- [6] A. Ouni, H. Rivano, and F. Valois, "Ordonnancement du trafic dans un réseau maillé sans fil," INRIA, 2010.
- [7] R. Perrigot, "Franchise et efficience: Application de la méthode DEA aux hôtels franchisés et succursalistes d'un réseau mixte," *Management & Avenir*, vol. 22, no. 2, pp. 188–205, 2009.
- [8] N. Noui, D. R. Saffeddine, and K. Harizi, "Detecting changes in land occupation and use (between 1984–2021) using "GEE" and GIS tools: focus on the green structure of the future metropolis of Annaba (north-east Algeria)," *Indonesian Journal of Social Science Research*, vol. 4, no. 2, pp. 155–170, 2023.
- [9] M. Z. Boukra, "La gestion juridique des risques de pénurie d'eau dans le cadre du changement climatique. Approche comparée du droit algérien et français," Université Côte d'Azur, 2024.
- [10] R. Melissa and B. Hafidh, "Contribution à l'analyse fiabiliste d'une adduction gravitaire Cas du siphon de Oued Aissi," Université Mouloud Mammeri, 2024.
- [11] A. Belahmadi, "Etude de l'adduction en refoulement vers le réservoir de Zighoud Youcef à partir des forages Hamma Bouziane (w. Constantine)," 2013.
- [12] A. Bouchkif, "Etude de l'adduction mixte à partir de la station de traitement de Belaas (w. Ain defla)," 2014.
- [13] "Google Earth." Accessed: Jun. 23, 2026. [Online]. Available: https://earth.google.com/web/search/BELARBI+Sidi+bel+abbes/@35.13729659,-0.45373284,589.64363528a,8345.54003023d,35y,0h,0t,0r/data=CoQBGiYSUAokMHhkN2ZhZDhkYmE2ZjdINtk6MHhjZmIxZjU5MTVhM2I1ODQ3GRPNqJ5xk0FAISjr3FlgNN2_KhZCRUxBUkJJfNpZGkgYmVsIGFiYmVzGAEGASImCiQJLwDIdhM0ARLQDIdhM8AZJYtcghcaSUAhIltcghcaScBCAggBOgMKATBCAggASg0I_____ARAA
- [14] G. Goujon, "L'Office National Météorologique," *L'Information Géographique*, vol. 2, no. 3, pp. 110–111, 1937.
- [15] H. Touahria *et al.*, "Analyse des tendances séculaires de l'évolution de la pluviosité dans les zones steppiques de l'Algérie," *BASE*, 2025.
- [16] A. MOULAY and M. A. Kermadi, "Cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraines à l'aide des modèles d'analyse multicritères cas de la nappe alluviale de la plaine de Sidi Bel Abbes (Nord-ouest Algérie)," Université KASDI-MERBAH Ouargla.
- [17] G. Narváez-Campo and C. Ardilouze, "Climat et prévision saisonnière," *Rapport Recherche* 2024, p. 50.
- [18] M. HAOUARI, "Evolution récente des températures moyennes en Algérie," *JAMA*, vol. 8, pp. 09–16, 2024.
- [19] S. B. Abbes, "La réutilisation des eaux usées, une alternative durable pour la gestion des ressources en eau de la ville de Sidi Bel Abbes (Algérie)," *Geo-Eco-Trop*, vol. 46, no. 2, pp. 301–313, 2023.
- [20] M. Lydia, "Le tourisme écologique Cas: village Sahel," Université Mouloud Mammeri Tizi-Ouzou, 2025.
- [21] "Belarbi," *Wikipédia*. Dec. 14, 2025. Accessed: Jun. 23, 2026. [Online]. Available: <https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=Belarbi&oldid=231443621>
- [22] A. BIGOT, "Inventaire des ouvrages hydrauliques et caractérisation de leur impact sur la continuité écologique dans le cadre du SAGE Cher aval".

Références

- [23] W. H. Organization, *Systèmes nationaux d'appui à l'eau potable, l'assainissement et l'hygiène: rapport sur la situation mondiale en 2019. Analyse et évaluation mondiales de l'ONU-Eau sur l'assainissement et l'eau potable, rapport GLAAS 2019*. World Health Organization, 2020.
- [24] M. Khelkhal, "Dimensionnement et conception du système d'AEP de la commune de Foug Toub (w. Batna)," 2024.
- [25] Degremont, *Mémento technique de l'eau*. Ed. Techniques Ingénieur, 1972.
- [26] J. Bonnin, *Hydraulique urbaine: appliquée aux agglomérations de petite et moyenne importance*. Eyrolles Paris., 1977.
- [27] È. Courbon, C. Tanguay, D. Lebel, and J.-F. Bussières, "Paternité des articles et intérêts concurrents: une analyse des recommandations aux auteurs des journaux traitant de pratique pharmaceutique," *The Canadian Journal of Hospital Pharmacy*, vol. 67, no. 3, p. 188, 2014.
- [28] A. Nebri and R. K. Ilimi, "Etude du Réseau D'AEP de la commune de Douera," Université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou, 2020.
- [29] P. Prévost and M. Roy, "Les études de cas: un essai de synthèse," *Revue Organisations & territoires*, vol. 21, no. 1, pp. 67–82, 2012.