الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

NATIONAL HIGHER SCHOOL FOR HYDRAULICS
"The MujahidAbdellah ARBAOUI"

المدرسة الوطنية العليا للري
"المجاهد عبد الله عرباوي"
ⴰⵖⵓⵔⴱⴰⵣ ⴰⵖⵓⵍⵏⴰⵡ ⵉⵎⵉⵏⵓⴳ ⵏ ⵜⵎⵓⵙⵡⵉⵜ

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

Pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'Etat en Hydraulique

Option: CONCEPTION DES SYSTEMES D'ALIMENTATION EN EAU POTABLE

THEME :

DIAGNOSTIC DU SYSTEME DE TRANSFERT DES EAUX DE LA STATION DE POMPAGE D'AIN KERCHA (W.OUM EL BOUAGHI) VERS LE BARRAGE DE KOUDIAT MEDOUAR (W. BATNA)

Présenté par :

GUEROUI Dhikra

Devant les membres du jury

Nom et Prénoms	Grade	Qualité
AMMARI Abdelhadi	Professeur	Président
TAMERABET Yassine	MCB	Examinateur
SALHI Schahrazed	MCB	Examinateur
MOKRANE Wahiba	MCB	Promotrice

Session : Décembre 2025

REMERCIEMENT

Tout d'abord, j'exprime ma profonde gratitude au Bon ***Dieu*** *tout-puissant qui m'a protégé tout au long de mon cursus d'études.*

Je tiens ensuite à témoigner ma plus sincère reconnaissance à mes chers parents. Leur soutien inébranlable et leurs encouragements constants ont été une force motrice essentielle durant toutes mes études.

Mes remerciements s'adressent également à ma promotrice, ***Mme W. MOKRANE.*** *Son encadrement expert, ses conseils judicieux et son aide précieuse ont été la clé de la réussite de ce projet.*

Je remercie chaleureusement l'ensemble des enseignants qui ont contribué à ma formation, avec une mention spéciale pour ceux de ***l'ENSH*** *et de* ***l'ENPC.***

Un grand merci aussi aux membres du jury pour l'honneur qu'ils me font en évaluant ce travail.

Enfin, j'adresse ma gratitude à ***Mr. SAIDANI Emir*** *(DHW). Sa disponibilité, sa patience et son aide précieuse pour répondre à mes nombreuses questions ont été d'une importance capitale*

GUEROUI Dhikra

Dédicace

Du fond du cœur, je dédie ce modeste travail :

À mes très chers parents : *à qui je dois tout.*

À mes chères sœurs et frères : *mes meilleurs amis, complices et compagnons de route.*

À ma grand-mère : *pour le soutien qu'elle m'a toujours apporté.*

À mes tantes maternelles : *pour tout l'amour et l'affection qu'elles m'ont toujours offerts.*

GUEROUI Dhikra

ملخص :

تواجه ولاية باتنة و خنشلة تدهورا ملحوظا في شبكة جلب المياه الصالحة للشرب, و يتجلى هذا التدهور في عدد متزايد من التسربات و العجز التدريجي عن تلبية الاحتياجات المائية لسكانها المتزايدين باستمرار. تهدف هذه المذكرة الى اجراء تقييم تفصيلي للأداء الهيدروليكي للشبكة و رفع كفاءة نظام نقل المياه الرابط بين محطة الضخ عين كرشة (ولاية ام البواقي) و سد كدية مدور (ولاية باتنة).

تعتمد هذه الدراسة اساسا على اجراء تشخيص شامل للبنية التحتية للنظام شمل محطات الضخ, قنوات النقل و محطة المعالجة, كما تضمنت الدراسة شقا تقنيا- اقتصاديا لمعالجة مشكلة الانفجارات و اختيار البديل الامثل لتصميم قنوات المياه, مع تحديد الاقطار المناسبة للأنابيب و نوعية الحماية اللازمة ضد الظواهر الفيزيائية و الكيميائية, لاسيما تآكل الانابيب و ظاهرة المطرقة المائية و ذلك لضمان استدامة نظام نقل المياه الصالحة للشرب لسكان باتنة و خنشلة.

الكلمات المفتاحية : نظام نقل المياه, باتنة و خنشلة, محطة الضخ, تشخيص شامل للبنية التحتية, الانفجارات, ظاهرة المطرقة المائية, تآكل الانابيب.

Abstract:

The Wilayas of BATNA and KHENCHELA are facing a significant degradation of their drinking water supply networks. This deterioration is manifested by an increasing number of leaks and a progressive inability to meet the water demands of a constantly growing population. This thesis aims to conduct a detailed evaluation of the network's hydraulic performance and to improve the efficiency of the water transfer system connecting the Ain Kercha pumping station (W. OUM EL BOUAGHI) to the Koudiat Medouar dam (W. BATNA).

The study is primarily based on a comprehensive diagnostic of the system's infrastructure, including pumping stations, discharge pipelines, and the treatment plant. It also encompasses a techno-economic study designed to address the frequent bursting of discharge pipes. The goal is to select the optimal design solution, determine appropriate pipe diameters, and identify necessary protections against physical and chemical phenomena—specifically corrosion and water hammer. These measures are essential to ensure the long-term sustainability of the water transfer system for the residents of BATNA and KHENCHELA.

Keywords: Water transfer system, Batna and Khenchela, Pumping station, Infrastructure diagnostic, Pipe bursts, Water hammer, Corrosion.

Résumé :

Les Wilayas de BATNA et KHENCHELA sont confrontées à une dégradation importante de leur réseau d'adduction d'eau potable. Cette dégradation se traduit par une augmentation du nombre de fuites et une incapacité progressive à satisfaire les besoins en eau d'une population en constante croissance. Ce mémoire vise à réaliser une évaluation détaillée des performances hydrauliques du réseau et à améliorer l'efficacité du système de transfert des eaux reliant la station de pompage d'Ain Kercha (W. OUM EL BOUAGHI) et le barrage de Koudiat Medouar (W.BATNA).

Cette étude repose principalement sur un diagnostic complet des infrastructures du système, incluant les stations de pompage, les conduites de refoulement et la station de traitement. Elle comprend également une étude technico-économique visant à résoudre le problème des éclatements

des conduites de refoulement et à sélectionner la solution optimale pour la conception du réseau et déterminer les diamètres appropriés et les protections nécessaires contre les phénomènes physico-chimiques, notamment la corrosion et les coups de bélier, afin de garantir la pérennité du système de transfert des eaux pour les habitants de BATNA et KHENCHELA.

Mots clés : Système de transfert des eaux, BATNA et KHENCHELA, station de pompage, diagnostic complet des infrastructures, éclatements, coup de bélier, corrosion.

Sommaire

Introduction générale : ……...…… 1

Chapitre I : Présentation de la zone d'étude

Introduction :……... 2
I .1 Objectif du projet :…… 2
I .2 Description de la zone d'étude :…… 3
I.2.1 Situation géographique :……. 3
I 2.2 Topographie :……... 3
I 2.3 Géologie :…… 4
I 2.4 Climatologie :……... 5
I 2.5 Hydrographie :…… 6
I 2.6 Sismicité :…… 7
I 2.7 Données démographiques :……. 7
I.3 Transfert des eaux brutes depuis le barrage de Beni Haroun (W. MILA) vers le barrage de Koudiat Medouar (TIMGAD-W. BATNA) :…….. 7
I.3.1 Barrage Benni Haroun (W. MILA) :……... 8
I.3.2 Barrage d'Oued Athmania (W. MILA) :……. 9
I.3.3 Barrage Koudiat Medouar (W. BATNA) :…….…….... 9
I .4 Qualité des eaux :…….. 12
Conclusion :……. 14

Chapitre II : Evaluation des besoins en eau

Introduction :……... 15
II.1 Evaluation de la population :…… 15
II.2 Estimation des besoins en eau :…… 16
II.2.1 Choix de la dotation domestique :……. 16
II.2.2 Besoins domestiques :…… 17
II.2.3 Estimation des débits moyens des équipements :…….. 18
II.2.4 Bilan des besoins moyens en eau :……. 20
II.3 Variation de la consommation journalière :……. 22
II.3.1 Evaluation de la consommation maximale journalière :…… 22
II.4 Balance hydrique :……..…….. 23
Conclusion :……. 26

Chapitre III : Etude de pompage

Introduction :……... 27
III.I Définition d'une pompe :……. 27
III.2 Critères de l'emplacement de la station de pompage :…… 27
III.3 Choix du type de pompe :……... 28
III.4 Choix du nombre de pompes :……..…….. 28
III.5 Couplage des pompes :…… 28
III.6 Le moteur électrique :……..……... 28
III.7 Le point de fonctionnement d'une pompe :…… 29
III.7.1 Courbe caractéristique de la conduite :……..……. 29
III.8 Description de la station de pompage d'Ain Kercha : ……... 29

III.8.1 Description des pompes existantes : …… 34
III.9 Diagnostic hydraulique de pompage : …… 34
III.9.1 Etude de pompage : ……. 34
III.9.2 Courbe caractéristique des pompes : ……... 35
III.9.3 Point de fonctionnement des pompes : …… 36
III.9.4 Etude de la cavitation : …… 37
III.9.5 Calage de la pompe : ……... 39
III.9.6 Protection de conduites contre le phénomène de coups de bélier : …… 41
III.9.6.1 Présentation du phénomène : …… 41
III.9.6.2 Moyen et équipement de protection :……... 41
III.9.6.3 Calcul des réservoirs d'air : …….. 41
III.9.6.4 Dimensionnement de réservoir d'air par la méthode de PUETCH et MEUNIER :…….…... 42
III.10 Diagnostic physique de la station de pompage d'Ain Kercha : ……. 45
III.10.1 Constat : …… 45
III.11 Description de la station de pompage SP1-1 : ……. 47
III.11.1 Description des pompes existantes : …….. 49
III.12 Diagnostic hydraulique de pompage : …… 49
III.12.1 Etude de pompage : ……... 49
III.12.2 Courbe caractéristique des pompes : ……. 50
III.12.3 Point de fonctionnement des pompes : …….. 51
III.12.4 Etude de la cavitation : …….. 52
III.12.5 Protection de conduites contre le phénomène de coups de bélier :…… 53
III.12.5.1 Dimensionnement de réservoir d'air par la méthode de PUETCH et MEUNIER:…….. 53
III.13 Diagnostic physique de la station de pompage SP1-1: ……... 55
III.13.1 Constat: ……. 55
III.14 Description de la station de pompage SP1-2 : ……..... 55
III.15 Diagnostic hydraulique de pompage : …… 56
III.15.1 Etude de pompage: ……... 56
III.15.2 Courbe caractéristique des pompes : ……. 57
III.15.3 Point de fonctionnement des pompes : …….. 58
III.15.4 Etude de la cavitation : …….. 59
III.15.5 Calage de la pompe : ……. 60
III.15.6 Protection de conduites contre le phénomène de coups de bélier :……
III.15.6.1 Dimensionnement de réservoir d'air par la méthode de PUETCH et MEUNIER:…….. 60
III.16 Diagnostic physique de la station de pompage SP1-2: ……... 61
III.16.1 Constat: ……. 61
III.17 Recommandations :……. 62
III.17.1 Station de pompage d'Ain Kercha :……... 62
III.17.2 Station de pompage SP1-1 :……... 62
III.17.3 Station de pompage SP1-2 :……... 62
Conclusion :……. 63

Chapitre IV : Diagnostic des conduites de refoulement

Introduction : …….. 64
IV.1 Description de transfert : …… 64
IV.2 Diagnostic hydraulique du transfert : ……. 65
IV.3 Interprétation des résultats de simulation : …… 68
IV.4 Diagnostic physique du transfert : ……..…… 69
IV.5 Recommandations : …… 71
Conclusion : …… 72

Chapitre V : Diagnostic de la station de traitement

Introduction : ……. 73
V.1 Le choix de l'emplacement de la station de traitement : ……. 73
V.2 Description de la station de traitement : …….. 73
V.3 La chaine de traitement : ……. 74
V.3.1 Arrivé d'eau brute et station de pompage : ……. 74
V.3.2 Cascade d'aération : …… 75
V.3.3 Ouvrage de décantation : …… 75
V.3.4 Filtration : ……... 76
V.3.5 Salle des machines : …… 77
V.3.6 Réservoir eau traitée : ……. 78
V.3.7 Chloration : ……. 78
V.3.8 Dosage de l'eau de javel : ……... 79
V.3.9 Dosage de sulfate d'alumine : ……. 79
V.3.10 Dosage de lait de chaux : …… 79
V.3.11 Dosage de permanganate de potassium : …… 80
V.3.12 Dosage de polymère : ……..... 80
V.3.13 Dosage d'acide sulfurique : …… 81
V.3.14 Système de neutralisation des réactifs : …….. 81
V.4 Les caractéristiques moyennes de l'eau traitée : ……. 82
V.5 Diagnostic physique de la station de traitement : …… 84
V.6 Recommandations : ……. 87
Conclusion : …… 88

Chapitre VI : Etude d'adduction

Introduction : ……. 89
VI.1 Type d'adduction : ……. 89
VI.1.1 Adduction gravitaire : ……. 89
VI.1.2 Adduction par refoulement : …….. 89
VI.1.3 Adduction mixte : ……... 89
VI.2 Type d'écoulements : ……..…... 89
VI.2.1 Ecoulement à surface libre : ……... 89
VI.2.2 Ecoulement en charge : ……... 90
VI.3 Choix du tracé d'adduction : …….. 90
VI.4 Description du tracé d'adduction du couloir 01 : ……..…….. 90
VI.5 Choix du matériau de la conduite : ……. 91
VI.6 Diagnostic hydraulique du réseau d'adduction : ……..……. 92

VI.6.1 Cas gravitaire : …… 93
VI.6.2 Cas de refoulement : ……... 94
VI.7 Dimensionnement de l'adduction par refoulement : …….. ….. 98
VI.8 Dimensionnement de l'adduction gravitaire : …… 103
VI.9 Diagnostic physique du réseau d'adduction : ……...……. 108
VI.9.1 Etat physique de couloir 01 : ……... 108
VI.9.2 Etat des équipements du réseau (Accessoires) : ……. 108
VI.9.3 Constats : …… 110
VI.9.4 Recommandations : …… 110
Conclusion : …… 111

Chapitre VII : Etude de stockage

Introduction : ……. 112
VII.1 Définition d'un réservoir : …….. 112
VII.2 Fonctionnement d'un réservoir : …… 112
VII.3 Classifications des réservoirs : ……... 112
VII.4 Emplacement des réservoirs : ……. 113
VII.5 Equipement du réservoir : …….. 113
VII.6 Hygiène et sécurité : ……... 114
VII.7 Détermination de la capacité du réservoir : …… 114
VII.7.1 Cas d'une adduction par refoulement : ……. 114
VII.7.2 Cas d'une adduction gravitaire : ……... 117
VII.8 Analyse de la capacité de stockage : ……..... 117
VII.9 Dimensionnement des réservoirs du système d'adduction : …….. 120
VII.10 ANALYSE DES RESULTATS : ……... 124
VII.11 Forme des réservoirs : …… 124
Conclusion : …… 125

Chapitre VIII : Choix de matériaux et réhabilitation des conduites de refoulement

Introduction : ……. 126
VIII.1 Aperçu sur les différents matériaux : ……. 126
VIII.2 Avantages et inconvénients des types de canalisations : …… 128
VIII.3 Comparaison technique entre les conduites en fonte, acier et BPAT :……... 130
VIII.4 Comparaison des pressions : ……..…... 132
VIII.5 Critères de choix du matériau de la conduite : ……... 133
VIII.6 Etude technico-économique des conduites de refoulement SP Ain Kercha – Barrage de Koudiat Medouar : ……..…... 135
VIII.6.1 Variante 01 : ……..…... 135
VIII.6.2 Variante 02 : ……. 135
VIII.7 Techniques d'assemblage : ……. 140
VIII.8 Protection contre la corrosion : ……... 142
Conclusion : …… 144

Chapitre IX : Management de projet et organisation de chantier

Introduction : ……. 145
IX.1 Différents travaux à entreprendre : …… 145
IX.1.1 Travaux concernant l'adduction : …….. 145
IX.1.2 Travaux concernant les réservoirs : …… 145
IX.2 Calcul des volumes des travaux : …….. 146
IX.2.1 Calcul des volumes des travaux de transfert : …… 146
IX.2.2 Calcul des volumes des travaux de l'adduction : …… 149
IX.2.3 Calcul des volumes des travaux de réservoir projeté : ……... 150
IX.3 Calcul des coûts des travaux : …… 155
IX.4 Planification des travaux : …….. 156
IX.4.1 Méthodes de GANTT (diagramme de barre) : ……... 157
IX.4.1.1 Définition : …… 157
IX.4.1.2 Méthodologie de construction d'un diagramme de GANTT :…….. 157
IX.4.1.3 Intérêt du diagramme de GANTT :……... ….. 157
IX.4.1.4 Définition des tâches et leurs durées :……... 157
IX.4.2 Planification par la méthode du réseau (la méthode CPM) :……... 159
IX.4.2.1 Adduction et transfert : ……. 159
IX.4.2.2 Réservoirs : ……... ….. 159
IX.5 Protection Et Sécurité Du Travail : …… 161
IX.6 Causes des accidents de travail dans un chantier hydraulique :…….. 161
IX.7 Mesures préventives pour éviter les causes des accidents :…… 162
IX.7.1 Protection individuelle :. ……. 162
IX.7.2 Autres protections : ……. 162
IX.8 Choix des engins de terrassement…… 162
Conclusion : …… 162
Conclusion générale : ……. 163

LISTES DES FIGURES

Chapitre I : Présentation de la zone d'étude

Figure I. 1: Image satellite non traitée de la siituation de la zone d'étude. 3
Figure I. 2: Carte de reliefs de la zone de projet 4
Figure I. 3: Barrage Benni haroun (W. MILA).....9
Figure I. 4: Barrage Oued Athmania (W.MILA).....10
Figure I. 5: Barrage Koudiat Medouar (W.BATNA) 11
Figure I. 6: Schéma synoptique du tansfert de Barrage Benni haroun 12

Chapitre II : Evaluation des besoins en eau

Figure II. 1: Evaluation de la population de la zone d'étude à différents horizons.....17
Figure II. 2: Bilan ressource disponible-besoins en 2025 pour chaque couloir.....25
Figure II. 3: Bilan ressource disponible-besoins en 2040 pour chaque couloir.....26
Figure II. 4: Bilan ressource disponible-besoin en 2055 pour chaque couloir 26

Chapitre III : Etude de pompage

Figure III. 1: Station de pompage d'Ain Kercha 31
Figure III. 2: Pont roulant.....31
Figure III. 3: Réservoirs anti-bélier.....32
Figure III. 4: Transformateur de puissance 32
Figure III. 5: Collecteur d'aspiration 33
Figure III. 6: Collecteur de refoulement.....33
Figure III. 7: Système anti incendie 34
Figure III. 8: Représentation de la pompe existante.....35
Figure III. 9: Les courbes caractéristiques de la pompe.....36
Figure III. 10: Point de fonctionnement pour 6 pompes 37
Figure III. 11: Fuite au niveau de joint de raccordement 45
Figure III. 12: Fuite observéé au niveau d'une vanne 45
Figure III. 13: Fuite observée au niveau de joint de la pompe 46
Figure III. 14: Cables posés de manière lache.....46
Figure III. 15: Système de refroidissment hors service.....47
Figure III. 16: Station de pompage SP1-1 49
Figure III. 17: Réservoirs anti bélier de la SP1-1 49
Figure III. 18: Les courbes caractéristiques de la pompe 51
Figure III. 19: Point de fonctionnement des pompes choisies.....52
Figure III. 20: Station de pompage SP1-2 56
Figure III. 21 : Réservoir anti bélier de la SP1-2 57
Figure III. 22 : Les courbes caractéristiques de la pompe 58
Figure III. 23 : Point de fonctionnement des pompes choisies.....59

Chapitre IV : Diagnostic des conduites de refoulement

Figure IV. 1: Simulation début lot A conduite EST 67
Figure IV. 2: Simulation fin lot D conduite OUEST 67
Figure IV. 3: Profil de pression conduite EST 68
Figure IV. 4: Profil de pression conduite OUEST 68
Figure IV. 5: Un élément en BPAT DN2000 éclaté longitudinalement 69
Figure IV. 6: Corrosion des armatures 69
Figure IV. 7: Fuite sur coude Acier DN2000 70
Figure IV. 8: Chambre de vanne DN1800 70
Figure IV. 9: Boulonnerie détériorée 71
Figure IV. 10: Prise de potentiel endommagée 71

Chapitre V : Diagnostic de la station de traitement

Figure V. 1: Schémas de station de Koudiat Medaouar 74
Figure V. 2: Station de pompage 75
Figure V. 3: Cascade d'aération 75
Figure V. 4: Système de coagulation/floculation et décantation 76
Figure V. 5: Pompes de lavage des filtres (rétrolavage) 77
Figure V. 6: Salle des machines 77
Figure V. 7: Réservoir d'eau traitée 78
Figure V. 8: Bâtiment de chloration 78
Figure V. 9: Unité de production de l'eau de javel 79
Figure V. 10: Injection du sulfate d'alumine 79
Figure V. 11: Injection de lait de chaux 80
Figure V. 12: Dosage de permanganate de potassium 80
Figure V. 13: Dosage de polymère 81
Figure V. 14: Local de stockage et de dosage d'acide 81
Figure V. 15: Bâtiment des réactifs 82
Figure V. 16: Colmatage des filtres par l'accroissement d'algues 85
Figure V. 17: Unité d'injection d'eau de javel 85
Figure V. 18: Galerie des filtres 86
Figure V. 19: Cascade d'aération 86
Figure V. 20: Vannes de régulation 86

Chapitre VI : Etude d'adduction

Figure VI. 1: Schéma général de l'ensemble du transfert 91
Figure VI. 2: Schéma d'adduction du couloir 01 92
Figure VI. 3: Bilan des frais d'exploitation et d'amortissement 100
Figure VI. 4: Bilan des frais d'exploitation et d'amortissement 100
Figure VI. 5: Pose de conduite DN 1000 108
Figure VI. 6: Brise charge BC1-4 110
Figure VI. 7: Chambre de comptage n° 16.1 Batna 110

Chapitre VII : Etude de stockage

Figure VII. 1: Représentation graphique de la consommation et de l'apport d'eau 116
Figure VII. 2: Graphique des capacités de stockage.....119

Chapitre VIII : Choix des matériaux et réhabilitation des conduites de refoulement

Figure VIII. 1: Schéma d'une conduite en béton précontraint à âme tôle.....128
Figure VIII. 2: Schéma variante 01 135
Figure VIII. 3: Schéma variante 02 136
Figure VIII. 4: Assemblage à brides.....140
Figure VIII. 5: Assemblage flexible à joint automatique 140
Figure VIII. 6: Assemblage flexible à joint mécanique 141
Figure VIII. 7: Joint soudé pour les tuyaux acier 141

Chapitre IX : Management de projet et organisation de chantier

Figure IX. 1: Diagramme de GANTT.....158
Figure IX. 2: Réseau à nœuds du transfert et d'adduction.....159
Figure IX. 3: Réseau à nœuds du réservoir.....159

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre I : Présentation de la zone d'étude

Tableau I. 1: Valeur des températures (2008 à 2018).....5
Tableau I. 2: Ensoleillement (2008 à 2018).....6
Tableau I. 3: Humidité (2008 à 2018) 6
Tableau I. 4: Valeurs des vitesses du vent (2008 à 2018) 6
Tableau I. 5: Evapotranspiration (2008 à 2018) 6
Tableau I. 6: Qualité physico-chimique des eaux Brutes (année 2022) 13
Tableau I. 7: Qualité physico-chimique des eaux brutes de Koudiat Medouar (année 2023).....13
Tableau I. 8: Qualité physico-chimique des eaux brutes de Benni haroun (année 2023) 14
Tableau I. 9: Qualité physico-chimique des eaux brutes de Koudiat Medouar (année 2024).....14
Tableau I. 10: Qualité physico-chimique des eaux brutes de Benni haroun (année 2024) 14

Chapitre II : Evaluation des besoins en eau

Tableau II. 1: Evolution de la population en différents horizons.....16
Tableau II. 2: Récapitulation d'évolution de la population en différents horizons.....17
Tableau II. 3: Estimation des débits moyens domestiques pour 2025 18
Tableau II. 4: Estimation des débits moyens domestiques pour 2030 18
Tableau II. 5: Estimation des débits moyens domestiques pour 2040 18
Tableau II. 6: Estimation des débits moyens domestiques pour l'horizon de 2055.....19
Tableau II. 7: Catégorie d'usagers 19
Tableau II. 8: Coefficient de majoration selon la typologie de l'agglomération 19
Tableau II. 9: Estimation des débits moyens des équipements pour 2025.....19
Tableau II. 10: Estimation des débits moyens des équipements à l'horizon 2030.....20
Tableau II. 11: Estimation des débits moyens des équipements à l'horizon 2040.....20
Tableau II. 12: Estimation des débits moyens des équipements à l'horizon 2055.....20
Tableau II. 13: Bilan de la consommation moyenne journalière à l'horizon de 2025 21
Tableau II. 14: Bilan de la consommation moyenne journalière à l'horizon de 2030 21
Tableau II. 15: Bilan de la consommation moyenne journalière à l'horizon de 2040 21
Tableau II. 16: Bilan de la consommation moyenne journalière à l'horizon de 2055 21
Tableau II. 17: la consommation moyenne journalière nette à l'horizon de 2025 22
Tableau II. 18: la consommation moyenne journalière nette à l'horizon de 2030 22
Tableau II. 19: la consommation moyenne journalière nette à l'horizon de 2040 22
Tableau II. 20: la consommation moyenne journalière nette à l'horizon de 2055 23
Tableau II. 21: Evaluation des débits maximums journaliers à l'horizon de 2025 24
Tableau II. 22: Evaluation des débits maximums journaliers à l'horizon de 2055 24
Tableau II. 23: Tableau des déficits à combler à l'an 2025……..……..…23
Tableau II. 24: Tableau des déficits à combler à l'an 2040……..…… 24
Tableau II. 25: Tableau des déficits à combler à l'an 2055……..……..…24

Chapitre III : Etude de pompage

Tableau III. 1: Caractéristique des pompes en fonction de leur nombre.....34
Tableau III. 2: Courbe caractéristique des conduites de refoulement.....36

Tableau III. 3: Variation de la tension de vapeur d'eau en fonction de la température 38
Tableau III. 4: Calcul de la célérité de l'onde et de la valeur du coup de bélier.....43
Tableau III. 5: Tableau du profil en long absolu pour la station d'Ain Kercha 44
Tableau III. 6: Caractéristique des pompes en fonction de leur nombre.....50
Tableau III. 7: Courbe caractéristique de la conduite de refoulement (SP1-1- SP1-2).....52
Tableau III. 8: Calcul de célérité d'onde et de la valeur de coup de bélier.....53
Tableau III. 9: Tableau du profil en long absolu pour la station de pompage SP1-1.....54
Tableau III. 10: Caractéristique des pompes en fonction de leur nombre.....57
Tableau III. 11: Courbe caractéristique de la conduite de refoulement (SP1-2_RMC1-1).....59
Tableau III. 12: Calcul de célérité d'onde et de la valeur de coup de bélier……60
Tableau III. 13: Tableau du profil en long absolu pour la station de pompage SP1-2.....61

Chapitre IV : Diagnostic des conduites de refoulement

Tableau IV. 1: Pressions dans les nœuds de la conduite EST 65
Tableau IV. 2: Débits et vitesses dans la conduite EST 65
Tableau IV. 3: Pressions dans les nœuds de la conduite OUEST 66
Tableau IV. 4: Débits et vitesses dans la conduite OUEST 66

Chapitre V : Diagnostic de la station de traitement

Tableau V. 1: Résultats des analyses des eaux traitées.....82
Tableau V. 2: Résultats des analyses des paramètres de pollution des eaux traitées.....82
Tableau V. 3: Résultats d'analyses des paramètres bactériologiques des eaux traitées.....83
Tableau V. 4: Résultats d'analyse des paramètres de minéralisation globale des eaux traitées.....83
Tableau V. 5: Résultats d'analyse des paramètres indésirables des eaux traitées.....84

Chapitre VI : Etude d'adduction

Tableau VI. 1: Linéaire du réseau existant selon le diamètre et matériaux.....92
Tableau VI. 2: Coefficient K', m et β pour différents type du tuyau 93
Tableau VI. 3: Variation journalière des tarifs de l'énergie 97
Tableau VI. 4: Calcul de la HMT pour le tronçon SP1-1- SP1-2.....98
Tableau VI. 5: frais d'exploitation correspondante aux différents diamètres 99
Tableau VI. 6: Calcul des frais d'investissement du tronçon SP1-1 – SP-1-2 99
Tableau VI. 7: Bilan des frais d'exploitation et d'investissement.....100
Tableau VI. 8: Calcul de la HMT pour le tronçon SP1-2- RMC1-1 101
Tableau VI. 9: frais d'exploitation correspondante aux différents diamètres 101
Tableau VI. 10: Calcul des frais d'investissement du tronçon SP1-2 – RMC1-1 102
Tableau VI. 11: Bilan des frais d'exploitation et d'investissement.....102
Tableau VI. 12: Les longueurs des différents tronçons 103
Tableau VI. 13: Diamètres avantageux de la conduite gravitaire.....105
Tableau VI. 14: Détermination des côtes piézométriques et des pressions.....105
Tableau VI. 15: Récapitulatif de différents tronçons de l'adduction gravitaire 107
Tableau VI. 16: Récapitulation des recommandations.....111

Chapitre VII : Etude de stockage

Tableau VII. 1: Détermination de la capacité du stockage nécessaire 118
Tableau VII. 2: Bilan de capacité de stockage 119
Tableau VII. 3: Variation du nombre de démarrage par heure en fonction de la puissance de la pompe 120
Tableau VII. 4: Calcul du volume du réservoir tampon 121
Tableau VII. 5: les dimensions de réservoir projeté à la ville de BATNA 125

Chapitre VIII : Choix des matériaux et réhabilitation des conduites de refoulement

Tableau VIII. 1: Avantages et inconvénients des différents matériaux 128
Tableau VIII. 2: Comparaison technique entre les conduites en fonte, acier et BPAT 130
Tableau VIII. 3: Les déférentes pressions en fonction des diamètres et les classes des conduites pour les conduites en fonte 132
Tableau VIII. 4: Les déférentes pressions en fonction des diamètres et les classes des conduites pour les conduites en Acier 132
Tableau VIII. 5: Les déférentes pressions en fonction des diamètres et les classes des conduites pour les conduites en BPAT 133
Tableau VIII. 6: Description de variante 01 136
Tableau VIII. 7: Calcul de la HMT pour la variante 01 137
Tableau VIII. 8: Frais d'exploitation du tronçon SP AK – Barrage de Koudiat Medouar 137
Tableau VIII. 9: Frais d'investissement du tronçon SP AK – Barrage de Koudiat Medouar 137
Tableau VIII. 10: Cout Global du tronçon SP AK – Barrage de Koudiat Medouar 137
Tableau VIII. 11: Description de variante 02 138
Tableau VIII. 12: Calcul de la HMT pour la variante 02 138
Tableau VIII. 13: Frais d'exploitation du tronçon SP AK – Barrage de Koudiat Medouar 138
Tableau VIII. 14: Frais d'investissement du tronçon SP AK – Barrage de Koudiat Medouar 139
Tableau VIII. 15: Cout Global du tronçon SP AK – Barrage de Koudiat Medouar 139

Chapitre IX : Management de projet et organisation de chantier

Tableau IX. 1: Calcul du volume du déblai de transfert 146
Tableau IX. 2: Calcul du volume du lit de sable 147
Tableau IX. 3: Calcul des volumes des conduites 147
Tableau IX. 4: le volume excédentaire 147
Tableau IX. 5: Volumes des travaux de transfert 148
Tableau IX. 6: Calcul du volume du déblai de l'adduction 148
Tableau IX. 7: Calcul du volume du lit de sable 149
Tableau IX. 8: Calcul des volumes des conduites 149
Tableau IX. 9: Calcul des volumes des remblais 149
Tableau IX. 10: Le volume excédentaire 149
Tableau IX. 11: Volumes des travaux de l'adduction de couloir 01 149
Tableau IX. 12: Calcul des volumes des déblais pour les réservoirs et les chambres de manœuvres151
Tableau IX. 13: Calcul des volumes du tout-venant 151
Tableau IX. 14: Calcul des volumes du béton de propreté 151
Tableau IX. 15: Calcul du volume du béton armé 152

Tableau IX. 16: Calcul du volume du béton armé pour la coupole 153
Tableau IX. 17: Calcul du volume du béton armé de la chambre de manœuvre.....153
Tableau IX. 18: Calcul du volume du remblai compacté 154
Tableau IX. 19: Coût des travaux de transfert.....154
Tableau IX. 20: Coût des travaux de l'adduction 154
Tableau IX. 21: Coût des travaux de réservoir 155
Tableau IX. 22: Bilan des coûts.....155
Tableau IX. 23: Temps de réalisation des opérations de transfert et d'adduction.....157
Tableau IX. 24: Temps de réalisation des opérations du réservoir.....157
Tableau IX. 25: Tâches qui précèdent et qui succèdent chaque opération de transfert et l'adduction158
Tableau IX. 26: Tâches qui précèdent et qui succèdent chaque opération du réservoir.....158

LISTE DES PLANCHES

Planche N̊01 : Plan station de pompage d'Ain Kercha (W.Oum El Bouaghi).

Planche N̊02a : Tracé des conduites de refoulement – LOT A-.

Planche N̊03d : Profil piézométrique – LOT D-.

Planche N̊04 : Plan de la station de traitement.

LISTE DES ANNEXES

Annexe (II.1) : Répartition horaire des débits horaires en fonction du nombre d'habitants.
Annexe (III.1) : détermination de coefficient B par l'abaque de PUETCH et MEUNIER –Station de pompage d'Ain Kercha-
Annexe (III.2) : détermination de coefficient B par l'abaque de PUETCH et MEUNIER –Station de pompage SP1-1-
Annexe (III.3) : détermination de coefficient B par l'abaque de PUETCH et MEUNIER –Station de pompage SP1-2-
Annexe (IV.1) : Pressions dans les nœuds de la conduite EST.
Annexe (IV.2) : Débits et vitesses dans la conduite EST.
Annexe (IV.3) : Pressions dans les nœuds de la conduite OUEST.
Annexe (IV.4) : Débits et vitesses dans la conduite OUEST.
Annexe (IV.5) : Simulation fin lot A conduite EST.
Annexe (IV.6) : Simulation début lot B conduite EST.
Annexe (IV.7) : Simulation fin lot B conduite EST.
Annexe (IV.8) : Simulation début lot C conduite EST.
Annexe (IV.9) : Simulation fin lot C conduite EST.
Annexe (IV.10) : Simulation début lot D conduite EST.
Annexe (IV.11) : Simulation fin lot D conduite EST.
Annexe (IV.12) : Simulation Début lot A conduite OUEST.
Annexe (IV.13) : Simulation fin lot A conduite OUEST.
Annexe (IV.14) : Simulation Début lot B conduite OUEST.
Annexe (IV.15) : Simulation fin lot B conduite OUEST.
Annexe (IV.16) : Simulation Début lot C conduite OUEST.
Annexe (IV.17) : Simulation fin lot C conduite OUEST.
Annexe (IV.18) : Simulation Début lot D conduite OUEST
Annexe (IV.1) : Tableau des prix des conduites en fonte ductile d'après l'entreprise KOUG.C

ABRIVIATIONS

ANBT	**:**	Agence Nationale des Barrages et des Transferts
ONS	**:**	Office National des Statistiques
OMS	**:**	Organisation Mondiale de la Santé
ADE	**:**	Algérienne Des Eaux
RGPH	**:**	Recensement Général de la Population et de l'Habitat
SP	**:**	Station de Pompage
PK	**:**	Point kilométrique
NGA	**:**	Niveau Géodésique Algérien
PNE	**:**	Plan national des Eaux
PN	**:**	Pression Nominale
PFA	**:**	Pression de Fonctionnement Admissible
PMA	**:**	Pression Maximale Admissible
PEA	**:**	Pression d'Épreuve Admissible
mCE	**:**	Mètre colonne d'eau
DN	**:**	Diamètre Nominal
BPAT	**:**	Béton Précontraint à Ame Tôle
PEHD	**:**	Polyéthylène Haute Densité
RMC	**:**	Réservoir Mise en Charge
BC	**:**	Brise Charge
DIN	**:**	Deutsches Institut für Normung (Institut allemand de normalisation)
ISO	**:**	Organisation internationale de normalisation
BS	**:**	British Standards (Normes britanniques)
ANSI	**:**	American National Standards Institute (Institut national américain de normalisation)
MES	**:**	Matière En Suspension
NTU	**:**	Nephelometric Turbidity Unit (unité de turbidité néphélométrique)
T	**:**	Température
pH	**:**	Potentiel Hydrogène
Rédox	**:**	Potentiel d'oxydoréduction
TH	**:**	Titre Hydrotimétrique (Dureté totale)
TA	**:**	Titre Alcalimétrique
TAC	**:**	Titre Alcalimétrique Complet
Ca^{2+}	**:**	Ion calcium
Mg^{2+}	**:**	Ion magnésium
Na^{+}	**:**	Ion sodium
K^{+}	**:**	Ion potassium
HCO_3^{-}	**:**	Ion hydrogénocarbonate (ou bicarbonate)
Cl^{-}	**:**	Ion chlorure
SO_4^{2-}	**:**	Ion sulfate
NO_3^{-}	**:**	Ion nitrate
MO	**:**	Matières Organiques
Fe^{2+}	**:**	Ion ferreux (ou fer II).
Mn^{2+}	**:**	Ion manganeux (ou manganèse II)
$Fe(OH)_3$	**:**	Hydroxyde de fer (III)
$KMnO_4$	**:**	Permanganate de potassium
MnO_2	**:**	Dioxyde de manganèse
NO_2	**:**	Ion nitrite
PO_4	**:**	Ion phosphate
NH_4	**:**	Ion ammonium

Introduction générale

Dans un contexte de défis globaux, marqués par le changement climatique, la croissance démographique et l'urbanisation, la gestion des ressources en eau est devenue un enjeu stratégique majeur. Les régions semi-arides et arides, en particulier, font face à des défis complexes liés à la rareté de l'eau, à la variabilité climatique et à la croissance démographique. L'Algérie, et plus spécifiquement ses régions orientales, ne fait pas exception à cette problématique. L'accès à une eau potable de qualité et en quantité suffisante pour les populations et les activités économiques est une nécessité impérieuse qui conditionne le développement socio-économique et la résilience territoriale.

C'est dans ce contexte que s'inscrit le présent mémoire de fin d'études, qui a pour objectif l'étude et le diagnostic du Système de Transfert des eaux de la station de pompage d'Ain Kercha (W.OUM EL BOUAGHI) vers le barrage de Koudiat Medouar (W.BATNA). Ce système hydraulique est d'une importance capitale pour l'approvisionnement en eau des wilayas de Batna et Khenchela, deux régions dynamiques du nord-est algérien. Notre travail vise à analyser en profondeur les différentes composantes de ce système et ses infrastructures, en passant par ses stations de pompage et de traitement. L'objectif est de dresser un état des lieux précis des installations existantes, d'identifier les insuffisances, les dysfonctionnements et les points de vulnérabilité, et de proposer des solutions techniques et économiques pour en optimiser la performance et en assurer la pérennité.

La méthodologie de cette étude s'articule autour de plusieurs axes majeurs. Dans un premier temps, nous présenterons une analyse détaillée de la zone d'étude, en intégrant des données géographiques, topographiques, climatologiques, géologiques et démographiques essentielles pour la compréhension de l'environnement du projet. Par la suite, nous évaluerons les besoins en eau de la population ciblée, en projetant la demande future. Les chapitres suivants seront dédiés à l'établissement d'un diagnostic technique approfondi des composantes essentielles du système. Cette analyse ciblera notamment les stations de pompage, les conduites de refoulement, la station de traitement, ainsi que le couloir d'adduction 01.

Enfin, nous proposerons des solutions concrètes pour améliorer la fiabilité et la capacité du système, en y associant une estimation des couts et un planning de réalisation.

Chapitre I : Présentation de la zone d'étude

Introduction :

Pour élaborer un système d'approvisionnement en eau potable, il est impératif de maitriser parfaitement le site d'implantation du projet. Cette phase de reconnaissance passe par une investigation initiale visant à rassembler les données essentielles de la zone, notamment ses aspects géographiques, géologiques, climatiques, topographiques, géologiques et hydrodynamiques.

Par conséquent, cette présentation globale est le fondement indispensable pour un projet d'adduction efficace, durable et répondant aux attentes de la population.

I.1 Objectif du projet :

Le Système de Transfert d'Eau d'Athmania est conçu pour fournir de l'eau aux habitants des villes situées le long de ses canalisations et irriguer les zones agricoles environnantes, en utilisant l'eau stockée dans le barrage d'Athmania.

Pour cela, le système prévoit plusieurs éléments importants:

- **Barrage Koudiat Medouar** : Il dispose d'une capacité de retenue de 62.5 Mm^3 d'eau.
- **Barrage d'Ourkiss :** Sa capacité de stockage s'élève à 65 Mm^3.
- **Un réseau de canalisations étendu :** L'eau est acheminée par près de 250 Km de canalisations dont le diamètre varie de 2 à 2.4 m. la plus grande partie du réseau est doublée, à l'exception du segment reliant la station de pompage d'Ain Kercha au barrage d'Ourkiss, qui sera équipé d'une conduite unique.
- **Des stations de pompage :** Ces installations, réparties sur des sites clés (deux à Oued Seguin et deux à Ain Kercha).
- **Un réservoir d'équilibrage :** Un réservoir sera aménagé à Ouled Hamla pour stocker temporairement l'eau et réguler son débit dans le système.
- **Des connexions aux barrages existants :** Le nouveau système sera relié aux barrages d'Athmania et de Koudiat Medaouar, ainsi qu'au nouveau barrage d'Ourkiss. Cette connexion permettra de créer un réseau d'approvisionnement en eau plus vaste et plus fiable pour la région.

Notre part du projet vise à améliorer l'accès à l'eau potable pour les populations de la wilaya de BATNA et KHENCHLA et à soutenir l'agriculture locale grâce à un système de transfert d'eau moderne et bien conçu.

Delà, Notre étude se concentre sur le système transfert des eaux de la station de pompage d'Ain Kercha (W. OUM EL BOUAGHI) vers le barrage de Koukiat Medouar (W. BATNA).

(Source : Agence Nationale des Barrage et Transferts).

I.2 Description de la zone d'étude :

I.2.1 Situation géographique :

L'aire géographique sur laquelle s'effectue ce projet s'étend considérablement à travers le nord-est algérien. Elle englobe une vaste zone allant de l'est de la wilaya d'Oum El-Bouaghi jusqu'aux limites sud-ouest de la wilaya de Batna.

Par ailleurs, il est intéressant de noter la distance significative qui sépare certaines des infrastructures hydrauliques existantes. En mesurant la distance à vol d'oiseau entre les retenues d'Oued Athmania et de Koudiat Medaouar, on obtient une indication de l'échelle du réseau de transfert d'eau envisagé, avec une distance d'environ 80 kilomètres entre ces deux points.

Cette distance souligne l'importance d'un système de canalisations bien conçu et de stations de pompage efficaces pour acheminer l'eau sur une longueur de 54.7 km.

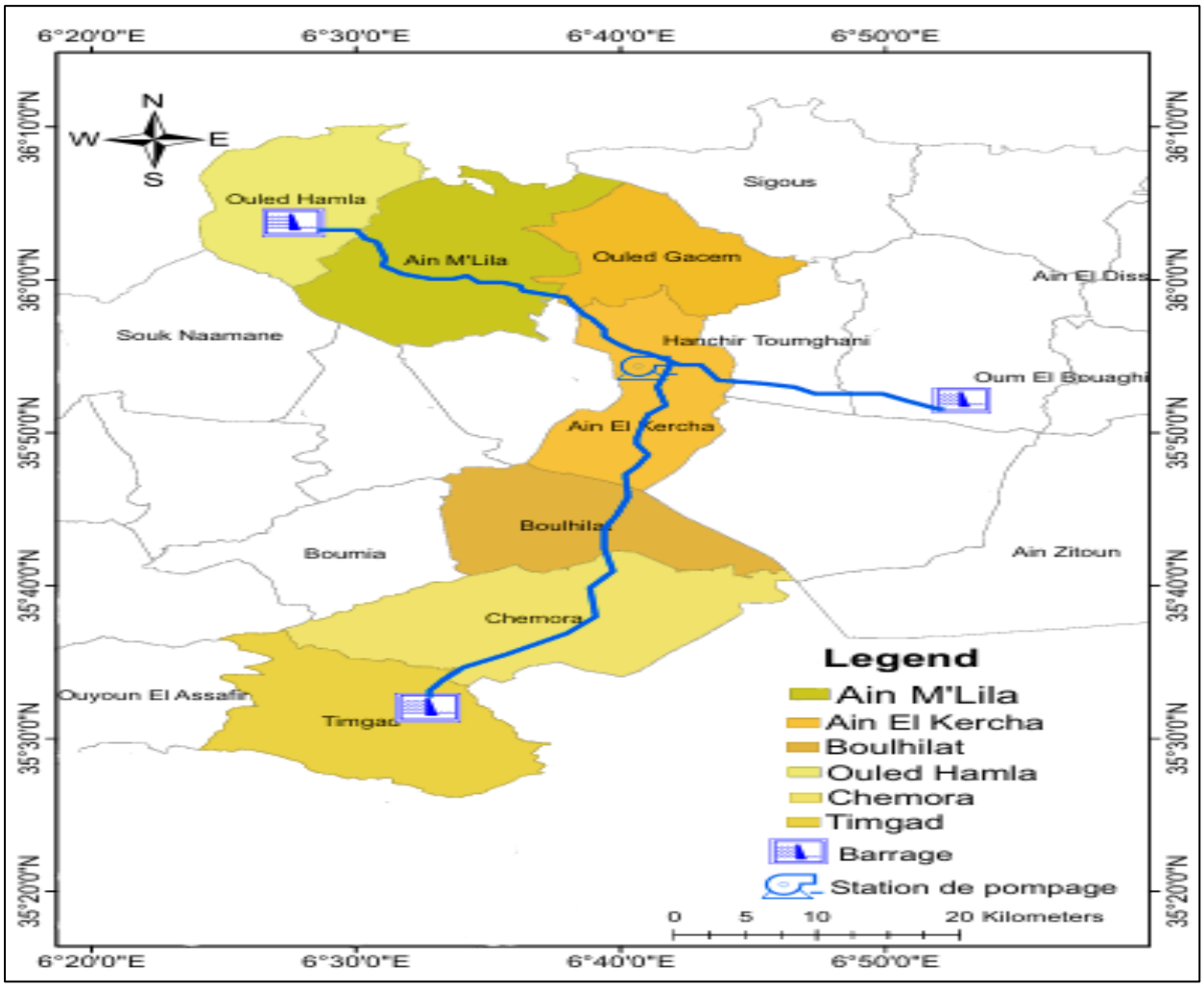


Figure I. 1 : Situation géographique de la zone d'étude**.**
(Source : ArcMap 2025).

I.2.2 Topographie :

D'un point de vue topographique, la zone d'étude présente un relief généralement caractérisé par des plaines étendues. On observe cependant une variation altitudinale notable au sein de cette zone. Les altitudes les plus élevées se situent aux abords du barrage de Koudiat Medaouar, atteignant environ 1 000 mètres au-dessus du niveau de la mer. En se déplaçant vers l'est, en direction d'Oued Seguin, on constate une diminution progressive de l'altitude, qui descend jusqu'à environ 670 mètres. Ce gradient altitudinal devra être pris en compte dans la conception et l'exploitation du système de transfert d'eau, notamment pour la conception des stations de pompage et la gestion des pressions dans les conduites.

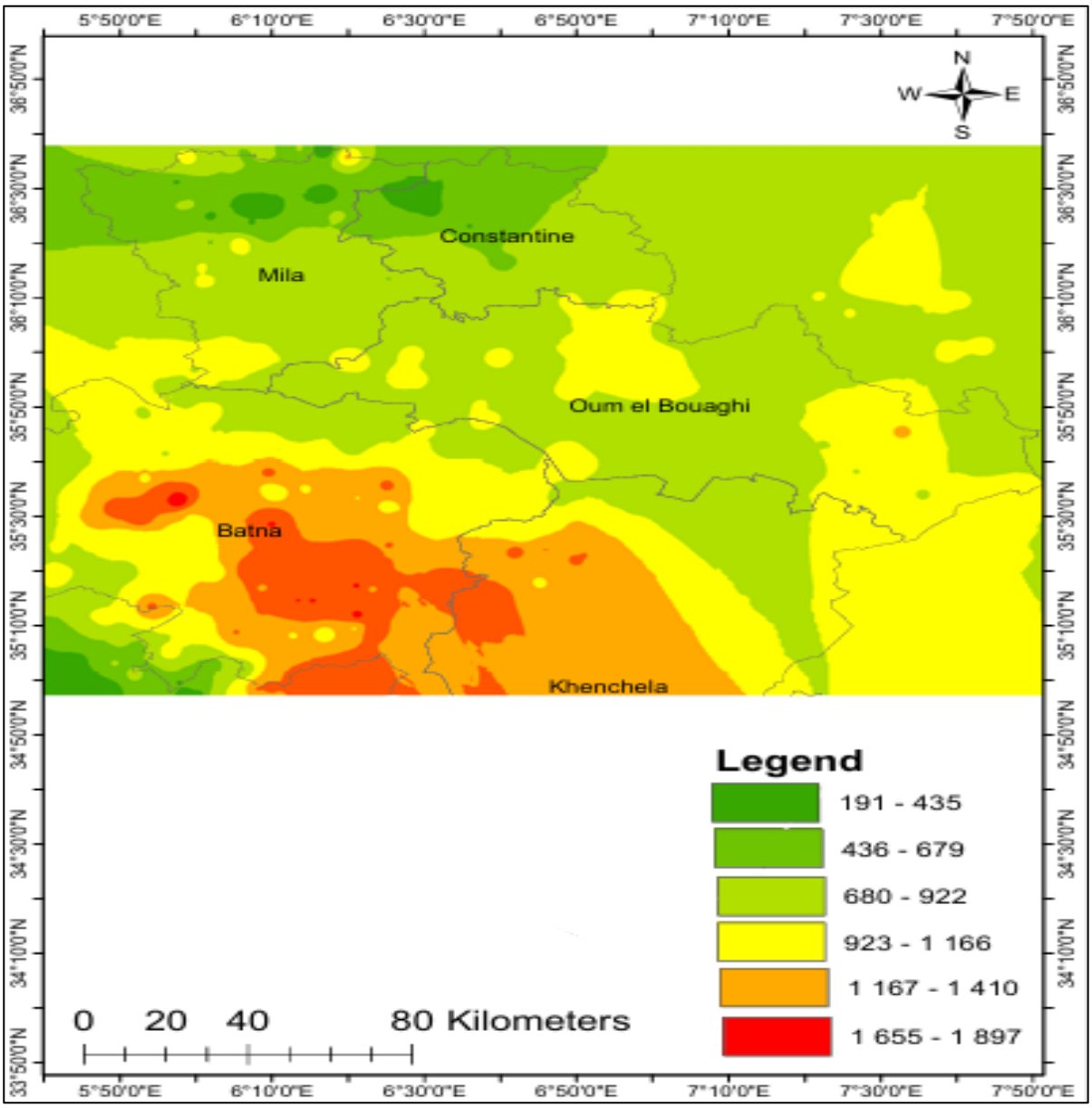


Figure I. 2: Carte de reliefs de la zone de projet

(Source: ArcMap 2025)

I.2.3 Géologie :

La géologie de la zone d'étude, présente une transition entre le Domaine des flysch et le Domaine externe, plus précisément les séries telliennes, avec une possible influence des formations de l'avant-pays allochtone à proximité de Koudiat Medouar.

Départ d'Aïn Kercha : Domaine des flysch. La région autour d'Aïn Kercha se situe dans le Domaine des flysch. Ce domaine est caractérisé par une accumulation importante de sédiments argilo-gréseux, déposés dans un environnement marin profond entre le Crétacé (la période des dinosaures) et le Paléocène (le début de l'ère tertiaire). Ces roches sont souvent plissées et peuvent présenter une certaine complexité structurale, car ce domaine occupe une position allochtone, c'est-à-dire qu'il a été déplacé tectoniquement de son lieu de formation initial.

Transition vers le sud-ouest en direction de Koudiat Medouar : Domaine externe et séries telliennes**.** En se déplaçant vers le sud-ouest en direction de Koudiat Medouar, le terrain passerait au. La composante principale de ce domaine, selon le texte, est constituée par les séries telliennes.

Les séries telliennes sont décrites comme d'épaisses séquences de roches à dominante marno-calcaire, datant de l'Éocène (une époque de l'ère tertiaire). Ces séries sont le résultat du dépôt de sédiments dans un bassin marin appelé le sillon tellien. La présence de marnes (un mélange d'argile et de calcaire) et de calcaires indique un environnement sédimentaire avec une certaine profondeur et une activité biologique marine significative.

(Durand Delga M, (1969).)

I.2.4 Climatologie :

- Pluviométrie :

La répartition des précipitations montre une période pluvieuse s'étalant de novembre à mai, suivie par une saison sèche de juin à octobre. Les données révèlent que près de 40% des précipitations totales tombent au printemps. La pluviométrie annuelle moyenne est de 600mm pour le barrage d'Athmania et de 375mm pour le barrage de koudiat Medouar.

(Source : Agence Nationale des Barrage et Transferts).

- Données climatiques moyennes mensuelles relevées à la station climatique de Batna :

Le tableau ci-dessous (Tableau I.1) présente l'évolution des relevés de température enregistrés sur la période du 2008 au 2018.

Tableau I. 1 : Valeur des températures (2008 à 2018)

Paramètre	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jui	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
Température moyenne (°C)	5.4	6.8	9.1	11.8	16.2	21.8	25.2	24.2	20.3	14.7	9.8	6.4

(Source : Agence Nationale des Barrages et Transferts).

Le tableau suivant (Tableau I.2) récapitule les durées d'ensoleillement effectives enregistrées au cours du mois de Janvier au Décembre, permettant d'évaluer l'exposition lumineuse de la zone étudiée.

Tableau I. 2 : Ensoleillement (2008 à 2018)

Paramètre	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jui	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
Ensoleillement (heures par mois)	5.9	6.3	6.9	7.6	9.0	10.5	11.4	10.2	8.4	7.2	6.4	5.9

(Source : Agence Nationale des Barrages et Transferts).

Le tableau suivant présente les relevés du taux d'humidité relative enregistrés sur le site, permettant de suivre les conditions hygrométriques durant la période de 2008 au 2018.

Tableau I. 3 : Humidité (2008 à 2018)

Paramètre	Jan	fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jui	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
Humidité (%)	71.7	69.2	64.7	62.4	58.2	50.8	41.8	45.1	56.7	61.2	69.3	71.5

(Source : Agence Nationale des Barrages et Transferts).

Les données suivantes illustrent l'évolution de la vitesse du vent exprimée en m/s sur l'ensemble de la période d'observation (Tableau I.4).

Tableau I. 4 : Valeurs des vitesses du vent (2008 à 2018)

Paramètre	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jui	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
Vitesse du vent (m/s)	3.5	3.5	3.9	4.1	3.3	3.7	3.7	3.5	3.2	3.2	3.4	4.1

(Source : Agence Nationale des Barrages et Transferts).

Les données suivantes (Tableau I.5) illustrent l'intensité du transfert d'eau vers l'atmosphère par évapotranspiration, données fondamentales pour l'établissement du bilan hydrique de la zone d'étude.

Tableau I. 5 : Evapotranspiration (2008 à 2018)

Paramètre	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jui	Aou	Sep	Oct	Nov	Déc
Evapo transpiration (mm)	35	43	81	113	145	183	217	194	137	85	46	27

(Source : Agence Nationale des Barrages et Transferts).

I.2.5 Hydrographie :

La situation hydrographique de la zone d'étude est le résultat direct de l'interaction entre le climat et l'hydrogéologie que nous avons décrits. Elle se caractérise par la présence et la dynamique des eaux de surface dans cette zone.

- **Oued Sguin :** C'est là le cours d'eau principale visible sur la carte. Son débit change beaucoup : il peut y avoir de fortes montées des eaux (crues) pendant la saison des pluies (automne et printemps), et très peu d'eau, voire plus du tout (étiage), en été. Cette rivière récupère l'eau d'une partie de la région et reçoit probablement de l'eau des nappes souterraines. La présence d'une station de pompage montre qu'on utilise l'eau de cette rivière.
- **Source d'Aïn Kercha :** C'est un endroit où l'eau souterraine sort naturellement. Cela indique qu'il y a une couche de roche souterraine contenant de l'eau (aquifère) qui arrive à la surface ici. La quantité d'eau qui sort de cette source dépendra de la quantité d'eau qui remplit l'aquifère et de la quantité d'eau qui pourrait être prélevée. C'est un point d'eau permanent dans le paysage.
- **Bassin d'expansion Ouled Hamla :** C'est un bassin créé par l'homme pour stocker temporairement de l'eau, probablement pompée depuis les stations de pompage. Il sert à contrôler le débit de l'eau et à avoir une réserve pour une utilisation future.
- **Retenue du Barrage de Koudiat Medouar :** Le barrage a créé un grand lac artificiel qui récupère l'eau de la région en amont. Cette réserve permet de garder l'eau pendant les périodes où il y en a beaucoup pour l'utiliser plus tard, notamment pour l'irrigation et peut-être pour l'eau potable. La taille de ce lac varie en fonction de la quantité d'eau qui arrive et de la quantité qui est utilisée.

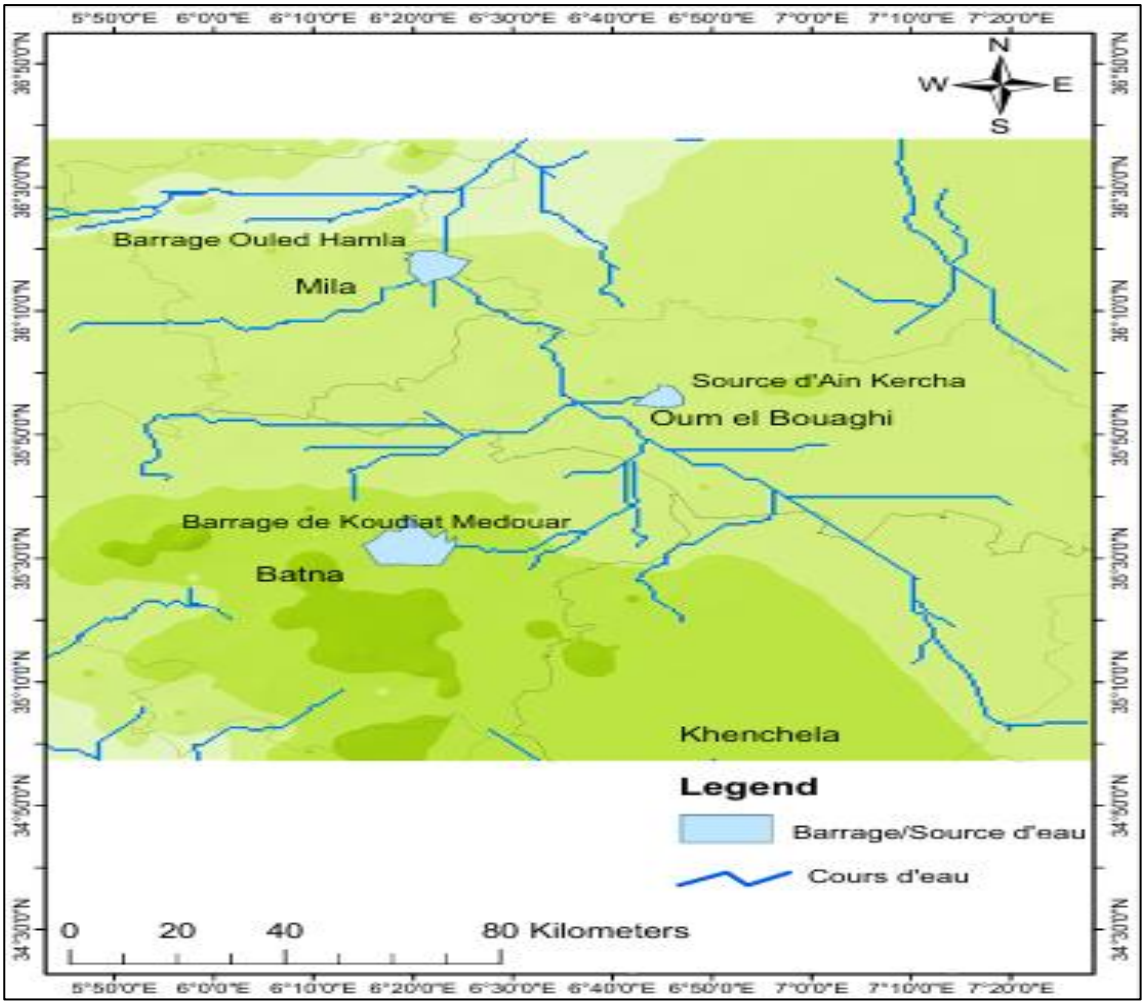


Figure I. 3 : Réseau hydrographie de la zone de projet.

(Source : ArcMap 2025)

I.2.6 Sismicité :

Le territoire algérien est caractérisé par une sismicité peu profonde. Pour une gestion optimisée du risque, le pays est cartographié en quatre zones distinctes, dont la délimitation est établie en fonction de l'intensité potentielle des mouvements telluriques :

- **Zone 0 :** Domaine où l'aléa est négligeable.
- **Zone I :** Domaine de faible sismicité.
- **Zone II :** Domaine de sismicité moyenne.
- **Zone III :** Domaine de sismicité forte.

Conformément aux règles parasismiques algériennes, la zone d'étude est classée en Zone I, ce qui correspond à une faible sismicité.

I.2.7 Données démographiques :

Selon les chiffres de 2008 publiés par l'Office National des Statistiques (ONS) : la ville de Batna comptait 290 645 résidents sur une surface de 85 Km^2, ce qui représente une densité de 3 419 habitants par Kilomètre carré. Cette densité est considérée comme l'une des plus élevées du territoire algérien.

La wilaya de BATNA, regroupe 61 communes, totalisait une population de 1 175 643 habitants à l'année de 2025.

(Source : Plan National de l'Eau)

I.3 Transfert des eaux brutes depuis le barrage de Beni Haroun (W.MILA) vers le barrage de Koudiat Medouar (TIMGAD-W.BATNA) :

Le barrage de Beni-Haroun, une immense réserve d'eau près de Mila, est désormais relié au barrage de Koudiat Medouar, près de Batna, par une conduite de 155 kilomètres de long et de 1,45 mètre de diamètre. Ce transfert est une partie intégrante du système plus large qui connecte le barrage d'Oued Athmania (en aval de Beni-Haroun) à la station de pompage d'Ain Kercha (Oum El Bouaghi). Son but essentiel est de résoudre le problème de manque d'eau potable à Batna, exacerbé par la sécheresse qui a vidé en partie le barrage de Koudiat Medouar.

Grâce à cette nouvelle "ligne verte", 282 millions de mètres cubes d'eau par an transiteront par la station d'Ain Kercha pour alimenter la wilaya de Batna en eau potable pendant les 30 prochaines années. Sur cette quantité, 84 millions de mètres cubes sont spécifiquement destinés à la consommation humaine, tandis que 171 millions de mètres cubes serviront à irriguer 34 000 hectares de terres agricoles dans les régions de Chemora, d'Ouled Fadel et d'Ain Touta. De plus, 27 millions de mètres cubes seront acheminés vers la wilaya voisine de Khenchela (Source : Agence Nationale des Barrage et Transferts).

I.3.1 Barrage Benni Haroun (W. MILA):

Cette figure (Figure I.3) représente l'ensemble du barrage de Beni Haroun illustre la structure et la retenue d'eau de cet ouvrage stratégique, le plus grand complexe hydraulique d'Algérie.

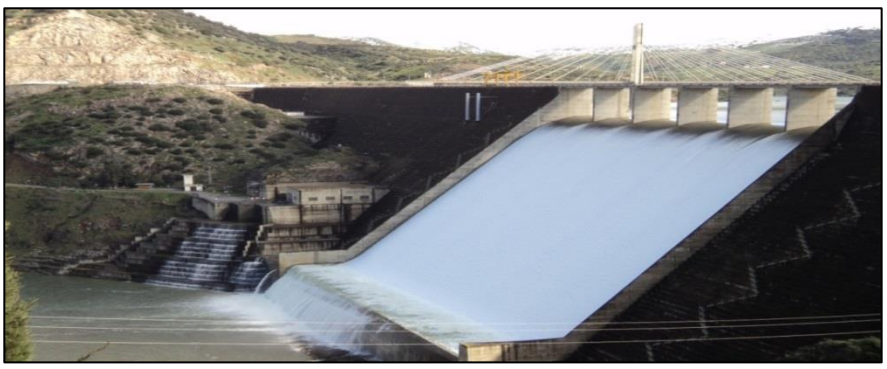


Figure I. 3: Barrage Benni haroun (W. MILA)

(Source : Agence Nationale des Barrage et Transferts).

- Type de barrage : Barrage poids en Béton Compacté au Rouleau (BCR) ;
- Situation : Wilaya : Mila ;
- Coordonnées : 36° 33′ 19″ N, 6° 16′ 11″ E ;
- Volume initial de la retenue : 960 millions de m³ ;
- Apport moyen annuel (oued) : 435 millions de m³ ;
- Apport solide annuel (oued) : 6 millions de m³ ;
- Évacuateur de surface :
    - Type : à seuil libre ;
    - Longueur totale : 122,40 m ;
    - Débit maximum : 16 000 m³/s ;
- Vidanges de demi-fond :
    - Nombre : 2 ;
    - Cote : 140 m ;
    - Capacité totale : 700 m³/s (350 m³/s par pertuis) ;
- Retenue :
    - Niveau Normal (RN) : 200 m ;
    - Niveau des Plus Hautes Eaux (PHE) : 214,80 m ;
    - Superficie à la cote 200 m : 3 768 hectares.

I.3.2 Barrage d'Oued Athmania (W. MILA):

Cette figure (Figure I.4) illustre le barrage d'Oued Athmania, un ouvrage de stockage intermédiaire essentiel au système de transfert des eaux du complexe de Beni Haroun.



Figure I. 4: Barrage Oued Athmania (W.MILA)

(Source : Agence Nationale des Barrage et Transferts).

- Situation : wilaya de Mila ;
- Cordonnées : 36° 13' 38''Nord, 6° 16' 35'' Est ;
- Apports de barrage : oued Rhumel ;
- Hauteur du Barrage : 49.5 m ;
- Longueur en crête : 772 m ;
- Apports annuels : 30 millions de m^3 /an ;
- Capacité totale : 45 millions de m^3 ;
- Apport régularisé : 15.77 millions de m^3 /an ;
- Volume prévu pour l'irrigation : 12 millions de m^3.

I.3.3 Barrage Koudiat Medouar (W. BATNA) :

Cette figure (Figure I.5) représente le barrage de Koudiat Medouar, qui sert de réservoir terminal pour le système de transfert des eaux vers les wilayas de Batna et de Khenchela.



Figure I. 5 : Barrage Koudiat Medouar (W.BATNA)

(Source : Agence Nationale des Barrage et Transferts).

- Type : Barrage en terre et enrochement, les talus amont et aval sont protégés par la roche (rip-rap) ;
- Situation : Wilaya de BATNA ;
- Coordonnées : 35° 30′ 57″ Nord, 6° 30′ 48″ Est ;
- Digue principale : longueur 1 280 m, hauteur 48m ;
- Digue de col : 990m, hauteur 26 m ;
- Cote de la retenue normale : 992.50 m ;
- Cote max : 996.65 m ;
- Superficie du bassin versant : 59 000 km^2 ;
- Précipitation moyenne annuelle : 375 mm ;
- Largeur de la crête : 10m ;
- Largeur totale de la base : 350 m ;
- Capacité : 62,5 millions de m^3.

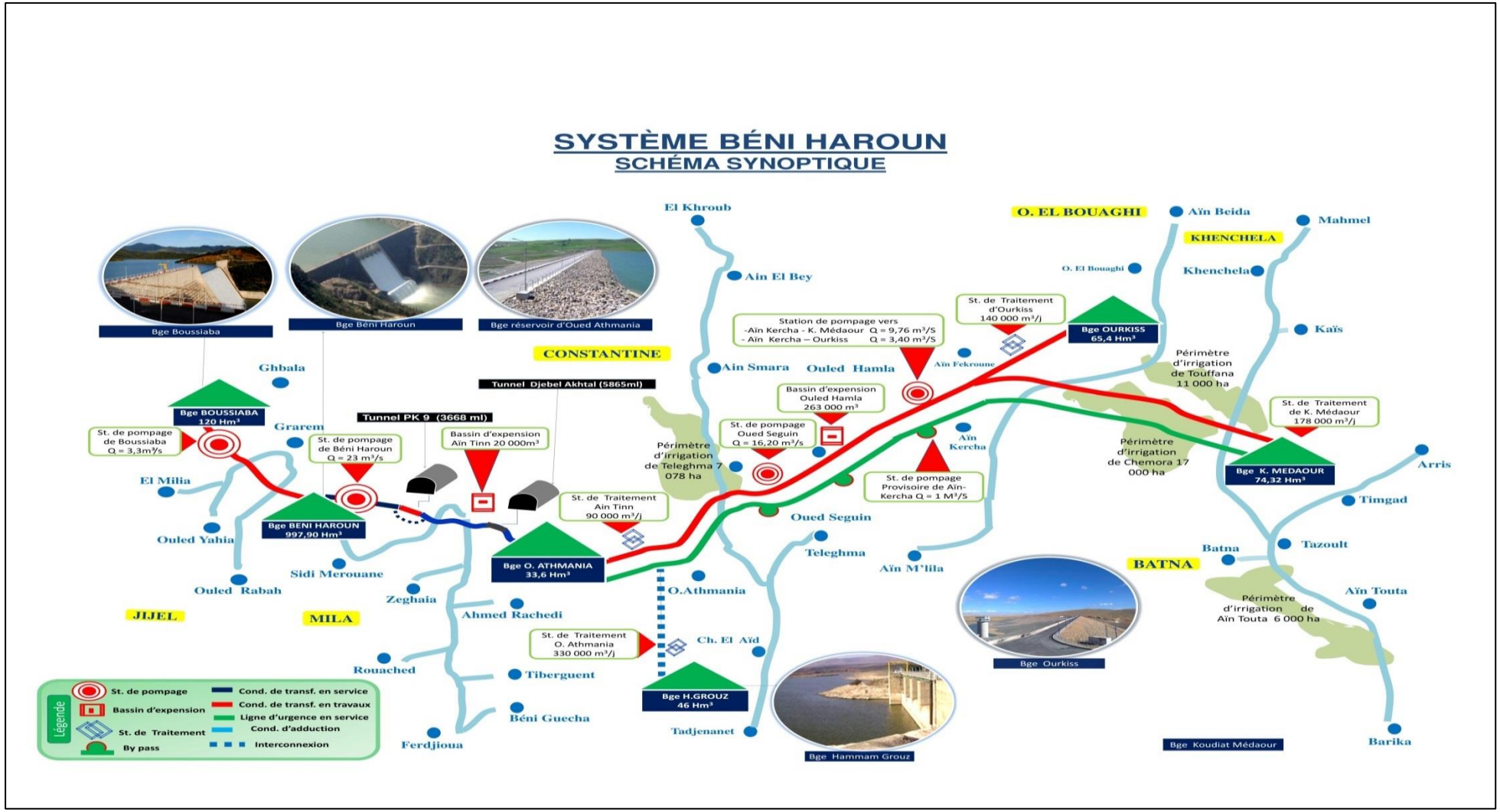


Figure I. 6 : Schéma synoptique du transfert de Barrage Benni haroun

(Source : Agence Nationale des Barrage et Transferts).

I.4 Qualité des eaux :

Les barrages de Beni Haroun et Koudiat Medouar sont des réserves d'eau capitales pour les habitants et l'agriculture dans le nord-est de l'Algérie.

Il est primordial de surveiller la qualité de l'eau de ces barrages. Parce que cela nous aide à garantir que l'eau est utilisable pour tous les besoins, tout en nous permettant de la préserver face aux défis environnementaux actuels.

(Source : Station de traitement et unité de production Koudait Medouar Timgad-Batna)

Le tableau ci-dessous (Tableau I.6) détaille les caractéristiques physico-chimiques des eaux brutes relevées en 2022, servant de base à l'ajustement des processus de traitement.

Tableau I. 6 : Qualité physico-chimique des eaux Brutes (année 2022)

Point d'eau Production/ Prélèvement	Volume produit	T° C	Paramètres														
			pH	Cond $\mu s/cm$	Turb NTU	TH °F	Ca^{2+} mg/l	Mg^{2+} mg/l	Na^{+} mg/l	TAC °F	HCO_3^- mg/l	Cl^- mg/l	SO_4^{2-} mg/l	NO_3^- mg/l	M.O mg/l	Fe^{2+} mg/l	Mn^{2+} mg/l
Station de traitement (station de relevage)	Nbr d'analyse	720	720	720	720	24	24	24	24	24	24	24	24	24	96	24	24
	2309438	6.8	7.52	1213	6.90	32	49.69	34.02	115	11.10	130.54	161.66	139.6	1.75	2.24	0.01	0.00
	2950400	26.3	8.73	1360	85.95	48	99.39	61.23	148	14.00	156.16	208.74	336.9	6.87	5.12	0.24	0.08
	2626964	16.9	8.31	1289	26.14	40.13	77.08	50.20	132.3	12.31	143.45	183.31	236.4	4.10	3.65	0.09	0.04

(Source : Algérienne Des Eaux-BATNA)

- **Observation** : L'analyse physico-chimique complète est faite pour l'eau de mélange (Koudiet Medouar + Beni Haroun)

Ce tableau (Tableau I.7) détaille les caractéristiques physico-chimiques des eaux brutes de Koudiat Medouar relevées en 2023.

Tableau I. 7 : Qualité physico-chimique des eaux brutes de Koudiat Medouar (année 2023)

Point d'eau Production/ Prélèvement	Volume produit	T° C	Paramètres														
			pH	Cond $\mu s/cm$	Turb NTU	TH °F	Ca^{2+} mg/l	Mg^{2+} mg/l	Na^{+} mg/l	TAC °F	HCO_3^- mg/l	Cl^- mg/l	SO_4^{2-} mg/l	NO_3^- mg/l	M.O mg/l	Fe^{2+} mg/l	Mn^{2+} mg/l
Station de traitement (station de relevage)	Nbr d'analyse	720	720	720	720	12	12	12	12	12	12	12	12	12	96	12	12
	1476072	5.5	7.45	766	30.10	40.4	91.4	32.1	21.5	7.10	130.7	26.40	161.3	3.04	2.88	0.00	0.00
	2765514	26.2	8.48	1450	85.05	47.6	126.7	56.4	154	13.50	184.2	237.85	313.4	7.22	5.92	0.40	0.06
	2141674	16.8	8.02	1107	53.36	43.93	108.9	40.90	58.7	9.41	151.7	85.45	258.7	4.91	3.63	0.24	0.03

(Source : Algérienne Des Eaux-BATNA)

Ce tableau (Tableau I.8) détaille les caractéristiques physico-chimiques des eaux brutes de Benni Haroun relevées en 2023.

Tableau I. 8 : Qualité physico-chimique des eaux brutes de Benni Haroun (année 2023)

Point d'eau Production/ Prélèvement	Volume produit	T° C	Paramètres														
			pH	Cond $\mu s/cm$	Turb NTU	TH °F	Ca^{2+} mg/l	Mg^{2+} mg/l	Na^{+} mg/l	TAC °F	HCO_3^- mg/l	Cl^- mg/l	SO_4^{2-} mg/l	NO_3^- mg/l	M.O mg/l	Fe^{2+} mg/l	Mn^{2+} mg/l
Station de traitement (station de relevage)	Nbr d'analyse	540	540	540	540	8	8	8	8	8	8	8	8	8	72	8	8
	1476072	19	7.98	1029	1.85	41	83.36	48.6	39.7	12.50	86.62	214.42	202.5	7.85	1.60	0.01	0.00
	2765514	21.2	8.35	1222	33.9	45.2	89.77	56.4	164	16.00	195.2	255.60	363.6	14.50	7.85	0.31	0.01
	2141674	20	8.18	1102	14.1	45.6	95.8	53.68	81	14.10	138.9	231.62	255.1	9.67	3.66	0.09	0.00

(Source : Algérienne Des Eaux-BATNA)

Ce tableau (Tableau I.9) détaille les caractéristiques physico-chimiques des eaux brutes de Koudiat Medouar relevées en 2024.

Tableau I. 9 : Qualité physico-chimique des eaux brutes de Koudiat Medouar (année 2024)

Point d'eau Production/ Prélèvement	Volume produit	T° C	Paramètres														
			pH	Cond $\mu s/cm$	Turb NTU	TH °F	Ca^{2+} mg/l	Mg^{2+} mg/l	Na^{+} mg/l	TAC °F	HCO_3^- mg/l	Cl^- mg/l	SO_4^{2-} mg/l	NO_3^- mg/l	M.O mg/l	Fe^{2+} mg/l	Mn^{2+} mg/l
Station de traitement (station de relevage)	Nbr d'analyse	720	720	720	720	12	12	12	12	12	12	12	12	8	96	12	12
	69464	7.35	8.02	779	5.65	40.8	77.0	35	17	7.10	79.3	34.08	214.9	3.98	2.56	0.12	0.04
	2118326	25.20	8.40	1108	63.20	43.6	112.2	52.5	28.3	9.10	111	58.22	300.3	4.98	4.16	0.20	0.09
	589408	17.79	8.34	905	40.96	42.5	105.3	39.36	24.3	8.62	101.9	41.61	250.4	5.20	3.77	0.20	0.07

(Source : Algérienne Des Eaux-BATNA)

Ce tableau (Tableau I.10) détaille les caractéristiques physico-chimiques des eaux brutes de Benni Haroun relevées en 2024

Tableau I. 10 : Qualité physico-chimique des eaux brutes de Benni haroun (année 2024)

Point d'eau Production/ Prélèvement	Volume produit	T° C	Paramètres														
			pH	Cond $\mu s/cm$	Turb NTU	TH °F	Ca^{2+} mg/l	Mg^{2+} mg/l	Na^{+} mg/l	TAC °F	HCO_3^- mg/l	Cl^- mg/l	SO_4^{2-} mg/l	NO_3^- mg/l	M.O mg/l	Fe^{2+} mg/l	Mn^{2+} mg/l
Station de traitement (station de relevage)	Nbr d'analyse	720	720	720	720	12	12	12	12	12	12	12	12	8	96	12	12
	700466	9.9	7.98	1029	1.85	41	83.36	48.6	21.9	12.90	157.4	177.50	168.0	7.20	2.40	0.01	0.02
	3282407	21.8	8.35	1222	33.9	49.2	89.77	56.4	39.2	15.50	189.1	224.36	293.8	16.10	3.84	0.04	0.05
	2398850	16.2	8.18	1102	14.1	45.6	95.8	53.68	31.6	14.10	171.7	195.98	219.6	11.39	3.33	0.02	0.04

(Source : Algérienne Des Eaux-BATNA)

Conclusion :

Ce chapitre a fait l'objet de la présentation des caractéristiques géologiques (sol marno-calcaire), climatiques (température varie de 5.3 à 25.1 C° avec des précipitation moyennes annuelles pour le barrage d'Athmania et le barrage de Koudiat Medaouar est respectivement de 600 mm et 375 mm), hydrographiques (Oueds Seguin et Oued Hamla) et une démographie avec un taux d'accroissement de 1.9 % de la zone d'étude, ce qui a révélé une interaction significative influençant la dynamique de l'eau.

Ces caractéristiques naturelles soulignent l'importance du présent projet pour répondre aux défis hydriques de la région.

Chapitre II : Evaluation des besoins en eau

Introduction :

L'estimation des besoins en eau de la population de notre zone d'étude est l'objectif principal de ce chapitre, une estimation qui prend en compte l'évolution démographique et l'adoption d'une dotation domestique appropriée.

II.1 Evaluation de la population :

Le nombre d'habitants, pour les différents horizons de calcul, est estimé à base du recensement général de la population et de l'habitant RGPH et moyennant la formule suivante :

$$P_n = P_o\,(1+\tau)^{n} \qquad \text{(II-1)}$$

Avec :

- $\mathbf{P_n}$: Nombre d'habitant à l'horizon d'étude (l'an 2055 pour notre cas) ;
- $\mathbf{P_0}$: Nombre d'habitants à l'année de référence ;
- $\boldsymbol{\tau}$: Taux d'accroissement qui est égal à 1,9 % (selon L'ONS) ;
- **n** : Nombre d'année séparant l'horizon actuel et l'horizon d'étude (30 ans pour notre cas).

Ce tableau (Tableau II.1) détaille les données démographiques actuelles et projetées aux horizons 2030, 2040 et 2055, illustrant la tendance de croissance retenue pour l'étude.

Tableau II. 1 : Evolution de la population en différents horizons

Agglomérations		Année de référence 2008	Actuel 2025	Court terme 2030	Moyen terme 2040	Long terme 2055
Couloir 01	Batna	268 608	369 896	406 397	490 560	65 587
	Tazoult	23 033	31 719	34 849	42 066	55 789
	Ain touta	10 050	13 840	15 206	18 355	24 342
	Barika	103 107	141 987	155 998	188 305	249 732
	Seggana	6 335	8 724	9 585	11 570	15 344
	Hamla	32 625	44 927	49 360	59 583	79 019
Couloir 02	Kais	31 697	43 650	47 957	57 889	76 773
	Fais	9 840	13 550	14 887	17 970	23 832
	Khenchla	102 666	141 380	155 331	187 500	248 664
	Hamma	11 081	15 260	16 766	20 238	26 840
	El mehmel	35 059	48 280	53 044	64 029	84 917
	Ouled rechache	22 693	31 250	34 334	41 444	54 964
Couloir 03	Arris	18 154	25 000	27 467	33 155	43 971
	Ichemoul					
Couloir 04	Chemora	14 619	20 132	22 119	26 699	35 409
	Oued Abdi	11 511	15 852	17 416	21 023	27 881
	Ayoun Assafir					
Total		701 078	965 447	1 060 716	1 280 386	1 698 064

Ci-dessous (Tableau II.2) une récapitulation de la croissance de la population par horizon d'étude.

Tableau II. 2 : Récapitulation d'évolution de la population en différents horizons

Agglomérations	Actuel 2025	Court terme 2030	Moyen terme 2040	Long terme 2055
Couloir 01	611 093	671 395	810 439	1 074 813
Couloir 02	293 370	322 319	389 070	515 990
Couloir 03	25 000	27 467	33 155	43 971
Couloir 04	35 984	39 535	47 722	63 290
Total	6 465 287	1 060 716	1 280 386	1 698 064

Les résultats calculés dans le tableau sont illustrés dans la figure suivante (Figure II.1).

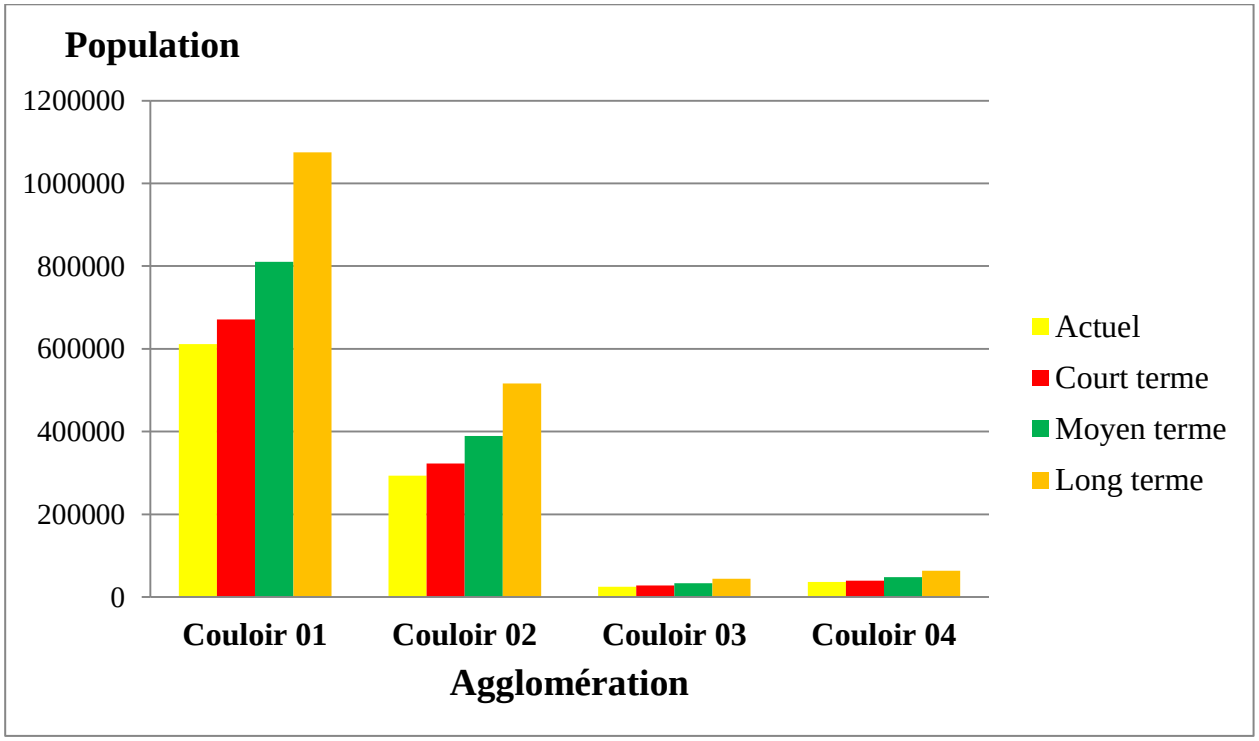


Figure II. 1 : Evaluation de la population de la zone d'étude à différents horizons

II.2 Estimation des besoins en eau :

II.2.1 Choix de la dotation domestique :

Une étude menée par SOGREA en 2002, sous mandat du Ministère de ressources en Eau, portait sur la tarification de l'eau destinée aux secteurs domestiques et industriels en Algérie. Les conclusions de ce travail ont établi une dotation unitaire moyenne nationale à 100l/j/hab.

Alors que les études de quantification des ressources disponibles, menée par l'agence nationale des ressources en eau ont abouti à limite de 180l/j/hab.

Pour ce projet, nous proposons de fixer une dotation unitaire à 150l/j/hab.

II.2.2 Besoins domestiques :

La consommation moyenne journalière domestique est obtenue par la relation suivante :

$$Q_{moy,\,j} = \frac{Ni \times Di}{1000} \qquad \text{(II-2)}$$

- **$Q_{moy,\,j}$** : consommation moyenne journalière en m^3/j.
- **Ni :** nombre d'habitant (hab).
- **Di :** dotation journalière en l/j/hab.

Les Besoins domestiques pour les différents horizons sont indiqués dans le tableau suivant (Tableau II.3).

Tableau II. 3 : Estimation des débits moyens domestiques pour 2025

Agglomérations	Population en 2025	Dotation (l/j/hab)	Débit domestique (m^3/j)
Couloir 01	611 093	150	91 663.95
Couloir 02	293 370		44 005.5
Couloir 03	25 000		3 750
Couloir 04	35 984		5 397.6
Total	965 447		144 817.05

Ci-dessous (Tableau II.4) une synthèse des débits moyens domestiques pour l'année 2030.

Tableau II. 4 : Estimation des débits moyens domestiques pour 2030

Agglomérations	Population en 2030	Dotation (l/j/hab)	Débit domestique (m^3/j)
Couloir 01	671 395	150	100 709.25
Couloir 02	322 319		48 347.85
Couloir 03	27 467		4 120.05
Couloir 04	39 535		5 930.25
Total	1 060 716		159 107.4

Ce tableau (Tableau II.5) représente les besoins en débits moyens domestiques pour l'année 2040.

Tableau II. 5 : Estimation des débits moyens domestiques pour 2040

Agglomérations	Population en 2040	Dotation (l/j/hab)	Débit domestique (m^3/j)
Couloir 01	810 439	150	121 565.85
Couloir 02	389 070		58 360.5
Couloir 03	33 155		4 973.25
Couloir 04	47 722		7 158.3
Total	1 280 386		192 057.9

Ci-dessous (Tableau II.6) les besoins en débits moyens domestiques pour l'année 2055.

Tableau II. 6 : Estimation des débits moyens domestiques pour l'horizon de 2055

Agglomérations	Population en 2055	Dotation (l/j/hab)	Débit domestique (m^3/j)
Couloir 01	1 074 813	150	161 221.95
Couloir 02	515 990		77 398.5
Couloir 03	43 971		6 595.65
Couloir 04	63 290		9 493.5
Total	1 698 064		254 709.6

II.2.3 Estimation des débits moyens des équipements :

Le calcul des besoins en eau pour les usages publics s'effectue en multipliant les dotations unitaires domestiques par des coefficients de majoration spécifiques. Ces coefficients sont adaptés à chacune des catégories d'usages définies. Le tableau présenté ci-après (Tableau II.7) récapitule ces facteurs multiplicateurs (Source : Plan National de l'Eau)

Tableau II. 7 : Catégorie d'usagers

Désignation	Caractéristiques
Les métropoles	Villes de plus de 300000 hab
L'urbain dit supérieur	$100000 < pop \leq 300000\ hab$
L'urbain	$20000 < pop \leq 100000\ hab$
Semi urbain	$5000 < pop \leq 20000\ hab$
Semi rural	$3000 < pop \leq 5000\ hab$
Rural aggloméré	$1000 < pop \leq 3000$
Rural éparse	Inférieur à 600 hab

(Source : Plan National de l'Eau)

Ce tableau (Tableau II.8) présente le taux de majoration selon la typologie de l'agglomération.

Tableau II. 8 : Coefficient de majoration selon la typologie de l'agglomération.

Désignation	Taux de majoration			
	Taux Administration	Taux commerce	Taux industrie	Total
Les métropoles	30	15	15	60
l'urbain dit supérieur	25	12.5	12.5	50
L'urbain	20	10	10	40
Semi urbain	15	10	10	35
Semi rural	10	7.5	7.5	25
Rural aggloméré	5	5	5	15
Rural éparse	0	0	0	0

(Source : Plan National de l'Eau)

Voici (Tableau II.9) une synthèse des débits moyens des équipements pour l'année de 2025.

Tableau II. 9 : Estimation des débits moyens des équipements pour 2025

Agglomérations	Q_{moy} domestique 2025	Coefficient de majoration	Q_{moy} d'équipements 2025
Couloir 01	91 663.95	60	54 998.37
Couloir 02	44 005.5	50	22 002.75
Couloir 03	3 750	40	1 500
Couloir 04	5 397.6	40	2 159.04
Total	141 067.05	/	80 660.16

Les estimations des débits moyens des équipements à l'année de 2030 sont présentées dans le tableau ci-dessous (Tableau II.10).

Tableau II. 10 : Estimation des débits moyens des équipements à l'horizon 2030

Agglomérations	Q_{moy} domestique 2030	Coefficient de majoration	Q_{moy} d'équipements 2030
Couloir 01	100 709.25	60	60 425.55
Couloir 02	48 347.85	50	24 173.925
Couloir 03	4 120.05	40	1 648.02
Couloir 04	5 930.25	40	2 372.1
Total	159 107.4	/	88 619.595

Les débits moyens des équipements à l'année de 2040 sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau II. 11 : Estimation des débits moyens des équipements à l'horizon 2040

Agglomérations	Q_{moy} domestique 2040	Coefficient de majoration	Q_{moy} d'équipements 2040
Couloir 01	121 565.85	60	72 939.51
Couloir 02	58 360.5	60	35 016.3
Couloir 03	4 973.25	40	1 989.3
Couloir 04	7 158.3	40	2 863.32
Total	192 057.9	/	112 808.43

Récapitulation des débits moyens des équipements à l'horizon de 2055 (Tableau II.12).

Tableau II. 12 : Estimation des débits moyens des équipements à l'horizon 2055

Agglomérations	Q_{moy} domestique 2055	Coefficient de majoration	Q_{moy} d'équipements 2055
Couloir 01	161 221.95	60	96 733.17
Couloir 02	77 398.5	60	46 439.1
Couloir 03	6 595.65	40	2 638.26
Couloir 04	9 493.5	40	3 797.4
Total	254 699.6	/	145 810.53

II.2.4 Bilan des besoins moyens en eau :

Les bilans de la consommation moyenne journalière aux différents horizons sont représentés dans les tableaux suivants (Tableau II.13).

Tableau II. 13 : Bilan de la consommation moyenne journalière à l'horizon de 2025

Agglomérations	Q_{moy} domestique 2025 (m^3/j)	Q_{moy} d'équipements 2025 (m^3/j)	Débit moyen journalier (m^3/j)
Couloir 01	91 663.95	54 998.37	122 218.6
Couloir 02	44 005.5	22 002.75	55 006.875
Couloir 03	3 750	1 500	7 375
Couloir 04	5 397.6	2 159.04	6 297.2
Total	144 817.05	80 660.16	190 897.675

La consommation moyenne journalière à l'horizon de 2030 dans les tableaux (Tableau II.14).

Tableau II. 14 : Bilan de la consommation moyenne journalière à l'horizon de 2030

Agglomérations	Q_{moy} domestique 2030 (m^3/j)	Q_{moy} d'équipements 2030 (m^3/j)	Débit moyen journalier (m^3/j)
Couloir 01	100 709.25	60 425.55	134 279
Couloir 02	48 347.85	24 173.925	60 434.8125
Couloir 03	4 120.05	1 648.02	4 806.725
Couloir 04	5 930.25	2 372.1	6 918.625
Total	159 107.4	88 619.595	206 439.1625

La consommation moyenne journalière à l'horizon de 2040 dans les tableaux (Tableau II.15).

Tableau II. 15 : Bilan de la consommation moyenne journalière à l'horizon de 2040

Agglomérations	Q_{moy} domestique 2040 (m^3/j)	Q_{moy} d'équipements 2040 (m^3/j)	Débit moyen journalier (m^3/j)
Couloir 01	121 565.85	72 939.51	995 421.1333
Couloir 02	58 360.5	35 016.3	77 814
Couloir 03	4 973.25	1 989.3	5 802.125
Couloir 04	7 158.3	2 863.32	8 351.35
Total	192 057.9	122 808.43	1 087 388.608

La consommation moyenne journalière à l'horizon de 2055 dans les tableaux (Tableau II.16).

Tableau II. 16 : Bilan de la consommation moyenne journalière à l'horizon de 2055

Agglomérations	Q_{moy} domestique 2055 (m^3/j)	Q_{moy} d'équipements 2055 (m^3/j)	Débit moyen journalier (m^3/j)
Couloir 01	161 221.95	96 733.17	214 962.6
Couloir 02	77 398.5	46 439.1	103 281.3333
Couloir 03	6 595.65	2 638.26	7 694.925
Couloir 04	9 493.5	3 797.4	11 075.75
Total	254 709.6	149 607.93	337 014.6083

- **Remarque :** En plus des fuites et des branchements illicites qui causent des pertes d'eau sur les réseaux, il faut aussi prendre en compte la majoration des débits. En cas de fuite non réparée chez un particulier, une majoration de **20 %** est appliquée sur la consommation estimée.

Tableau II. 17 : la consommation moyenne journalière nette à l'horizon de 2025

Agglomérations	Débit moyen journalier (m^3/j)	Majoration (%)	Débit moyen journalier nette (m^3/j)
Couloir 01	122 218.6	20	146 662.32
Couloir 02	55 006.875		66 008.25
Couloir 03	7 375		8 850
Couloir 04	6 297.2		7 556.64
Total	190 897.675		229 077.21

Ce tableau (Tableau II.18) représente la consommation moyenne journalière nette à l'horizon de 2030.

Tableau II. 18 : la consommation moyenne journalière nette à l'horizon de 2030

Agglomérations	Débit moyen journalier (m^3/j)	Majoration (%)	Débit moyen journalier nette (m^3/j)
Couloir 01	134 279	20	161 134.8
Couloir 02	60 434.8125		72 521.775
Couloir 03	4 806.725		5 768.07
Couloir 04	6 918.625		8 302.35
Total	206 439.1625		247 726.995

Ce tableau (Tableau II.19) représente la consommation moyenne journalière nette à l'horizon de 2040.

Tableau II. 19 : la consommation moyenne journalière nette à l'horizon de 2040

Agglomérations	Débit moyen journalier (m^3/j)	Majoration (%)	Débit moyen journalier nette (m^3/j)
Couloir 01	995 421.1333	20	194 505.36
Couloir 02	77 814		93 376.8
Couloir 03	5 802.125		6 962.55
Couloir 04	8 351.35		10 021.62
Total	1 087 388.608		304 866.33

Ce tableau (Tableau II.20) représente la consommation moyenne journalière nette à l'horizon de 2055.

Tableau II. 20 : la consommation moyenne journalière nette à l'horizon de 2055

Agglomérations	Débit moyen journalier (m^3/j)	Majoration (%)	Débit moyen journalier nette (m^3/j)
Couloir 01	214 962.6	20	257 955.12
Couloir 02	103 281.3333		123 937.6
Couloir 03	7 694.925		9 233.91
Couloir 04	11 075.75		13 290.9
Total	337 014.6083		404 417.53

II.3 Variation de la consommation journalière :

II.3.1 Evaluation de la consommation maximale journalière :

- Coefficient d'irrégularité journalière maximal :

Ce coefficient, dont les valeurs typiques sont comprises entre 1.1 et 1.3 sert à quantifier la variation de la consommation d'eau quotidienne. Il est défini comme le rapport entre la consommation maximale observée sur une journée et la consommation moyenne journalière :

$$K_{max,\,j} = \frac{Q_{max.j}}{Q_{moy.j}} \quad \text{(II-3)}$$

- $Q_{max,\,j}$: consommation maximale journalière (m^3/j) ;
- $Q_{moy,\,j}$: consommation moyenne journalière (m^3/j).

Avec : $K_{max,\,j} = [1{,}1 – 1{,}3]$.

On prend $K_{max,\,j} = 1{,}2$ à 2025 et 1.3 à l'horizon de 2055.

- Débit maximal journalier :

Le débit maximum journalier, représentant le débit lors du jour de consommation annuelle la plus élevée, est fondamental pour dimensionner toutes les infrastructures hydrauliques : adductions (gravitaires ou par refoulement), réseaux d'AEP, capacités de stockage et stations de pompage. Il est défini comme suit :

$$Q_{max,\,j} = K_{max,\,j} \times Q_{moy,\,j} \quad \text{(II-4)}$$

D'où : $Q_{max,\,j} = 1{,}2 \times Q_{moy,\,j}$

Tableau II. 21 : Evaluation des débits maximums journaliers à l'horizon de 2025

Agglomération	$Q_{moy, j}$ (m^3/j)	$K_{max, j}$	$Q_{max, j}$ (m^3/j)
Couloir 01	146 662.32	1.2	175 994.784
Couloir 02	66 008.25		79 209.9
Couloir 03	8 850		10 620
Couloir 04	7 556.64		9 067.968
Total	229 077.21		274 892.652

Les débits maximums journaliers à l'horizon de 2055 sont mentionnés dans ce tableau (Tableau II.22).

Tableau II. 22 : Evaluation des débits maximums journaliers à l'horizon de 2055

Agglomération	$Q_{moy, j}$ (m^3/j)	$K_{max, j}$	$Q_{max, j}$ (m^3/j)
Couloir 01	257 955.12	1.3	335 341.656
Couloir 02	123 837.6		160 988.88
Couloir 03	9 233.91		12 004.083
Couloir 04	13 290.9		17 278.17
Total	404 317.53		525 612.789

- **Note :** le débit total de dimensionnement des conduites de refoulement issues de la station de pompage d'Ain Kercha s'élève à 9.762 m^3/s. ce volume se décompose comme suit : un débit de 6.083 m^3/s alloué à l'Alimentation en eau potable (AEP) et un débit de 3.679 m^3/s destiné à l'irrigation des périmètres de Chemora (17000ha), Ain touta (11000ha) et Touffana (6000ha).

II.4 Balance hydrique:

Les couloirs d'adduction 1, 2, 3 et 4 connaissent un débit faible d'alimentation. Pour satisfaire les besoins en eau à court (2025), moyen (2040) et à long terme (2055) il nous convient de déterminer le déficit par lequel nous dimensionnons le réseau d'adduction. Le déficit est la différence entre les besoins estimés et la production en eau existante.

Les tableaux ci-dessous représentent le déficit pour chaque couloir.

Tableau II. 23 : Tableau des déficits à combler à l'an 2025

Localité	Besoins en eau à l'eau 2025 (m^3/j)	Production en eau existant en (m^3/j)	Déficit en (m3/j)
Couloir 01	175 994.773	72 224	103 770.773
Couloir 02	79 186.124	33 382	45 804.124
Couloir 03	10 620	4 090	6 530
Couloir 04	9 067.955	2 555	6 512.955
Total	274 868.852	112 251	162 617.852

Le tableau ci-dessous (Tableau II.24) représente le déficit à l'année de 2040.

Tableau II. 24 : Tableau des déficits à combler à l'an 2040

Localité	Besoins en eau à l'eau 2040 (m3/j)	Production en eau existant en (m3/j)	Déficit en (m3/j)
Couloir 01	252 775.905	72 224	180 551.905
Couloir 02	121 353.413	33 382	87 971.413
Couloir 03	12 923.308	4 090	8 833.308
Couloir 04	13 028.104	2 555	10 473.104
Total	400 080.73	112 151	287 829.73

Le tableau ci-dessous (Tableau II.25) représente le déficit à l'année de 2055.

Tableau II. 25 : Tableau des déficits à combler à l'an 2055

Localité	Besoins en eau à l'eau 2055 (m3/j)	Production en eau existant en (m3/j)	Déficit en (m3/j)
Couloir 01	335 509.315	72 224	263 285.315
Couloir 02	160 988.967	33 382	127 606.967
Couloir 03	12 004.069	4 090	7 914.069
Couloir 04	17 278.16	2 555	14 723.16
Total	525 780.511	112 251	413 529.511

Le bilan entre les ressources disponibles et les besoins en eau projetés pour l'horizon 2025 est présenté, pour couloir, dans la figure suivante (Figure II.2):

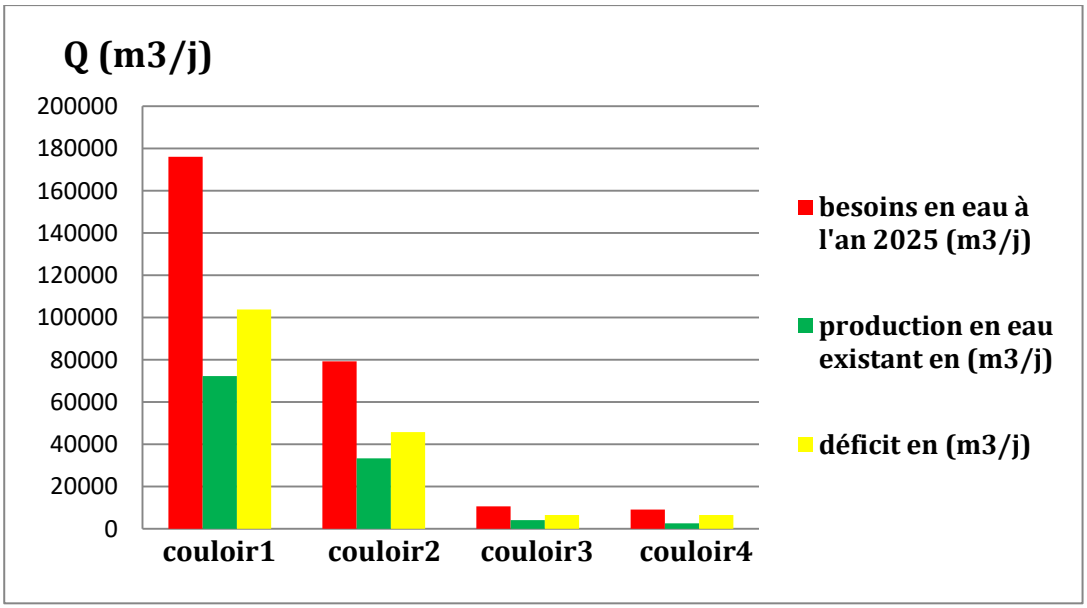


Figure II. 2 : Bilan ressource disponible-besoins en 2025 pour chaque couloir

La figure suivante (Figure II.3) représente le bilan des ressources et les besoins pour l'année de 2040.

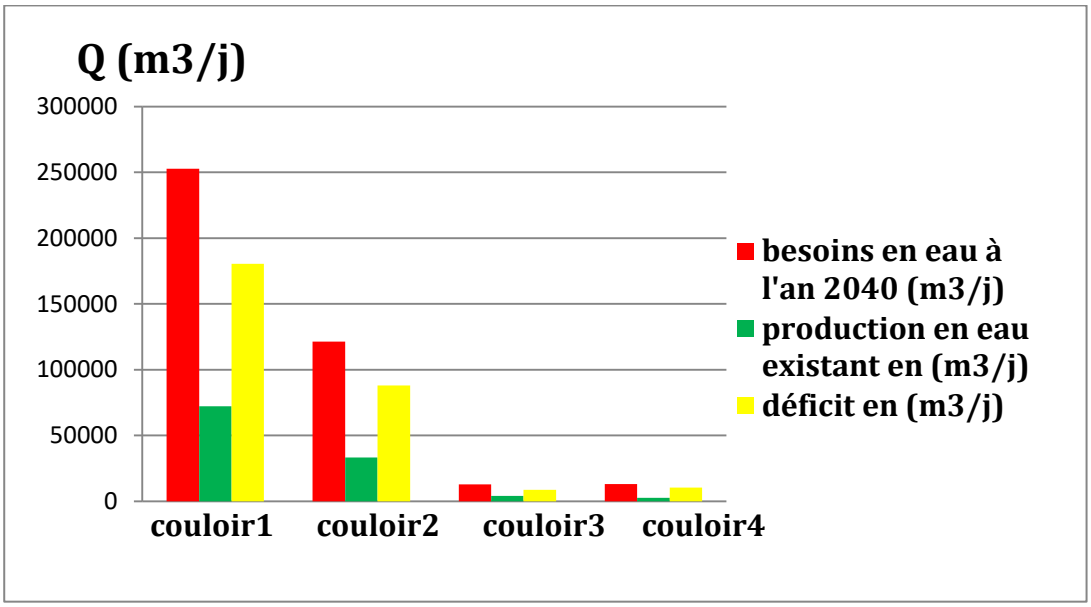


Figure II. 3: Bilan ressource disponible-besoins en 2040 pour chaque couloir

La figure suivante (Figure II.4) représente le bilan des ressources et les besoins pour l'année de 2055.

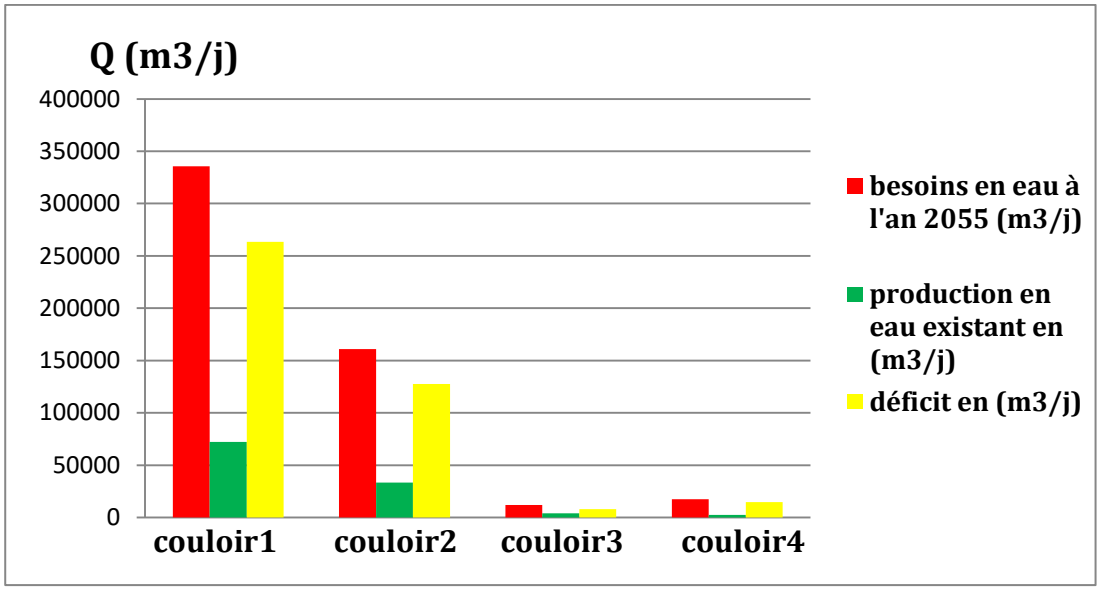


Figure II. 4 : Bilan ressource disponible-besoin en 2055 pour chaque couloir

- **Interprétation des résultats :**

D'après les graphiques des figures 1,2.et 3, nous remarquons qu'à l'horizon actuel, nous observons un déficit en disponibilité d'eau potable de 162618 m^3/j ce déficit augmente jusqu'à 413530 m^3/j à l'année de 2055, ce qui représente une augmentation de plus de 150% en moins de 30ans. Cette tendance indique une problématique croissante de stress hydrique dans la région.

Conclusion :

En conclusion, l'estimation des besoins en eau des quatre couloirs constituant notre zone de projet, montre un déficit global de 162 618 m^3/j, à l'horizon actuel, de 287 830 m^3/j à moyen terme et de 413 530 m^3/j à long terme.

Ainsi, une compréhension approfondie des besoins, une gestion optimisée des transferts et des réseaux d'adduction performants sont indissociables pour assurer un accès durable à l'eau pour la population de notre zone d'étude qui est l'objectif de notre travail.

Chapitre III : Etude de pompage

Introduction :

Les systèmes de pompage d'eau, essentiels pour la gestion des ressources hydriques à différentes échelles (alimentation, assainissement, gestion des eaux pluviales). Dans ce contexte, le présent chapitre a pour objectif de réaliser un diagnostic complet des infrastructures de pompage. Cette analyse se concentre d'une part sur la station de pompage d'Ain Kercha, dont le rôle est d'assurer le transfert d'eau vers le barrage de Koudiat Medouar, et d'autre part sur les stations de pompage SP1-1 et SP1-2, dont le rôle est d'assurer l'adduction vers le couloir 1.

III.1 Définition d'une pompe :

Une pompe hydraulique est un dispositif mécanique qui convertit une énergie mécanique (souvent fournie par un moteur électrique ou thermique) en énergie hydraulique. Son rôle principal est de générer un débit d'un fluide hydraulique et de le propulser sous pression dans un circuit hydraulique.

III.2 Critères de l'emplacement de la station de pompage:

Pour l'implantation d'une station de pompage, il est impératif de considérer les aspects suivants relatifs à son emplacement :

- **Stabilité du site :** Le terrain choisi doit impérativement éviter les zones à risques sismiques et celles sujettes aux inondations.
- **Distances réglementaires :** Les normes de distance doivent être scrupuleusement respectées, notamment une distance minimale de 30 km par rapport aux aéroports.
- **Préparation du terrain et implantation :** Les travaux de terrassement et l'installation de la station nécessitent de :
  - ✓ Garantir l'accessibilité à toutes les installations ;
  - ✓ Accès aux réseaux électriques ;
  - ✓ Eviter les zones inondables ;
  - ✓ Aménager une surface plane avec un revêtement adapté à la circulation ;
  - ✓ Mettre en place des systèmes d'évacuation des eaux de pluie (drainage) ;
  - ✓ Définir une hauteur pour la plate-forme supérieure de 0,15 à 0,5 m par rapport à la chaussée ;
  - ✓ Intégrer des espaces verts autour de la station pour favoriser l'aspect environnemental. (KARA, R. (2020))

III.3 Choix du type de pompe :

La sélection d'un équipement de pompage s'appuie fondamentalement sur l'interprétation de ses courbes caractéristiques. Ces données sont importantes non seulement pour identifier le modèle adéquat, mais aussi pour prévenir le phénomène de cavitation. Les principaux critères du choix de type de pompe sont :

- Assurer le débit appelé Q_{app} et la hauteur HMT ;
- Meilleur rendement ;
- Vérifier la condition de non cavitation ;
- Encombrement et poids les plus faibles ;
- Vitesse de rotation la plus élevée ;
- Puissance absorbée minimale ;
- Être fabriquée en série.

III.4 Choix du nombre de pompes :

La sélection du nombre optimal de pompes dans un système repose sur plusieurs impératifs sont :

- Nombre de pompes n minimal ;
- Meilleur rendement ;
- Charge nette d'aspiration requise $(NPSH)_r$ minimale ;
- Nombre d'étage minimal ;
- Puissance absorbée minimale.
- Présenter le minimum d'encombrement ;
- La disponibilité, surtout sur le marché national

III.5 Couplage des pompes :

On distingue deux types de couplage:

- **Le couplage en série** : ce type est utilisé pour l'augmentation de la hauteur d'élévation des pompes.
- **Le couplage en parallèle** : ce type est utilisé pour de l'augmentation du débit refoulé par les pompes.

III.6 Le moteur électrique :

La sélection du moteur électrique approprié pour l'entrainement de la pompe doit se baser sur les spécifications techniques suivantes :

- Puissance absorbée de la pompe ;
- Position de l'arbre de transmission horizontale ou verticale ;
- Tension d'alimentation en fonction de la puissance du moteur et de l'investissement ;
- Vitesse de rotation de la pompe choisie.

III.7 Le point de fonctionnement d'une pompe :

Le point de fonctionnement est l'état d'équilibre dynamique et stable auquel la pompe évolue au sein d'un réseau hydraulique. Il est graphiquement défini par l'intersection de deux courbes propre à la pompe (Hauteur Manométrique en fonction de débit) et la courbe du réseau (Perte de charge en fonction de Débit). A ce point le volume d'eau délivré par l'équipement correspond à la demande du système, et la pression fournie par la pompe compense intégralement les pertes de charge.

III.7.1 Courbe caractéristique de la conduite :

La courbe caractéristique de la conduite est une parabole de la fonction suivante :

$$Hc = Hg + \Delta h_t \quad \text{(III-1)}$$

Avec :

- **Hg** : hauteur géométrique (mCE) ;
- $\Delta \boldsymbol{h_t}$: perte de charge totale occasionnée par la conduite (mCE) ;

$$\Delta h_t = 1{,}1 \times \Delta h_p^{lin} \quad \text{(III-2)}$$

Avec :

- $\Delta \boldsymbol{h_p^{lin}}$: perte de charge linéaire (mCE) ;

$$\Delta h_p^{lin} = \frac{8 \times \lambda \times \mathrm{Lref} \times \mathrm{Q2}}{\mathrm{g} \times \pi 2 \times \mathrm{D}_{ec}^5} \quad \text{(III-3)}$$

- **λ :** coefficient de frottement qui est en fonction de la rugosité de la paroi interne de la conduite et du régime d'écoulement ;
- $\mathbf{L_{ref}}$ **:** longueur de la conduite de refoulement (m) ;
- **Q :** débit refoulé par la pompe (m^3/s) ;
- $\mathbf{D_{ec}}$ **:** diamètre économique de la conduite de refoulement ;
- **g :** accélération de la pesanteur (m^2/s).

III.8 Description de la station de pompage d'Ain Kercha:

La station de pompage d'Ain Kercha, est équipée de deux systèmes de refoulement distincts, un vers le barrage d'Ourkis et l'autre vers le barrage de Koudiat Medouar, nous considérons uniquement celui qui alimente le barrage de Koudiat Medouar.

La station est composée de :

- (08) huit pompes horizontales à plan de joint, fonctionnement en mode 6+2 (réserves) KSB de type RDLP 500-900, moteur SEIMENS, puissance unitaire installée 4349 KW.

La figure (Figure III.1) donne un aperçu visuel de la salle des machines.



Figure III. 1 : Station de pompage d'Ain Kercha (Source : @GUEROUI Dhikra_15/04/2025)

- Pour la manœuvre à l'intérieur du bâtiment de la station de pompage, un pont roulant de capacité 15 tonnes a été installé

La figure suivante (Figure III.2) illustre le système de levage de la station de pompage.



Figure III. 2 : Pont roulant (Source : @GUEROUI Dhikra_15/04/2025)

- L'aspiration se fait à partir du réservoir Oued HAMLA par deux conduites acier DN 2200, à l'arrivée de la station les deux conduites sont fusionnées en une seule en acier DN 2900.
- Le refoulement se fait par le biais d'une conduite commune en acier DN 2400, à la sortie de la station, un Y est installé pour donner lieu à de deux conduites en parallèles en acier DN 2000 dites EST et OUEST, d'une longueur unitaire de 54.700 Km, dont 18.00 Km en acier et 36.700 Km en BPAT incluant une protection anti-bélier 11×100 m^3 à air comprimé.

Les réservoirs anti-bélier sont illustrés dans la figure ci-dessous (Figure III.3).



Figure III. 3 : Réservoirs anti-bélier (Source : @GUEROUI Dhikra_15/04/2025)

- (04) quatre transformateurs de puissance sont installés de capacité 4 MVA chacun

Le transformateur de puissance est illustré par la figure suivante (Figure III.4).

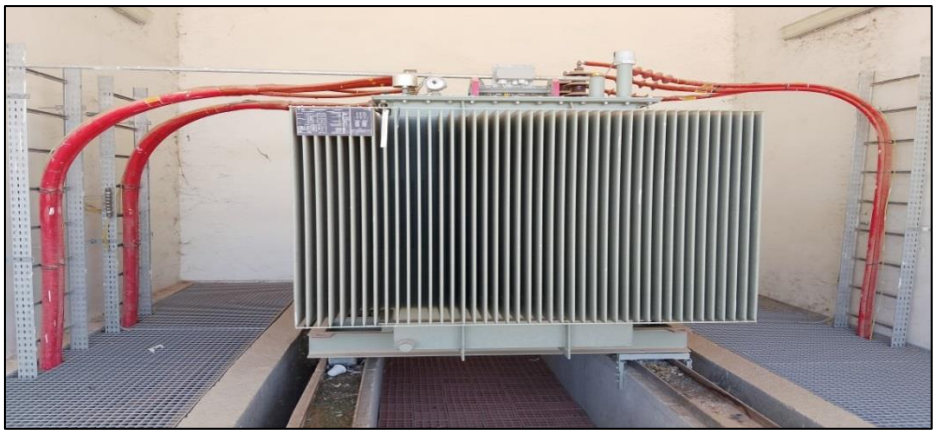


Figure III. 4 : Transformateur de puissance (Source : @GUEROUI Dhikra_15/04/2025)

- La visualisation et le contrôle de la station et de ces équipements peuvent se faire à 2 niveaux :
  - Coffret pompe (ou armoire locale) :

La supervision des modes de fonctionnement individuels des pompes se fait à partir d'un coffret local situé près de chaque ligne de pompes pour la gestion des périphériques :

- La vanne d'aspiration ;
- Le groupe motopompe,
- La vanne de refoulement.

  - Pupitre :

Le pupitre de contrôle, intégré à la salle de commande, que sont supervisées et gérées toutes les opérations de la station.

- Collecteur général d'aspiration : Le collecteur d'aspiration est équipé d'une mesure de pression (sur le collecteur) pour la détection d'un seuil très bas.

La figure ci-dessous (Figure III.5) représente les collecteurs généraux d'aspiration :



Figure III. 5 : Collecteur d'aspiration (Source : @GUEROUI Dhikra_15/04/2025)

- Le tuyau d'aspiration : Chaque tuyau d'aspiration individuelle est équipé d'une mesure de pression (entre la vanne d'aspiration et la pompe) pour la détection d'un seuil trop bas et une vanne d'aspiration motorisée.
- Le collecteur général de refoulement vers la Retenue existante de Koudiat Medouar est équipé d'une vanne motorisée et une mesure de pression (sur le collecteur) pour la détection d'un seuil très bas et un seuil trop haut.

La figure ci-dessous (Figure III.6) représente les collecteurs de refoulement.



Figure III. 6 : Collecteur de refoulement (Source : @GUEROUI Dhikra_15/04/2025)

- Le tuyau de refoulement : Chaque tuyau de refoulement individuel est équipé d'une vanne de refoulement motorisée, Un clapet anti-retour et une mesure de pression (entre la pompe et la vanne de refoulement) pour la détection d'un seuil trop haut.
- By-pass du collecteur d'aspiration vers les collecteurs de refoulement : Ces deux by-pass sont équipés chacun de deux vannes motorisées et un clapet anti retour.

- Skid KSB anti-incendie avec pompes jockey : est un système compact et autonome conçu pour maintenir la pression et assurer l'alimentation en eau en cas d'incendie.

Configuration du Skid**:**

- ➢ Pompes Principales : Des pompes KSB centrifuges horizontales à volute ou verticales pour les applications anti-incendie. Un skid KSB combine une pompe électrique et une pompe diesel pour une sécurité maximale.
- ➢ Pompe Jockey : C'est une pompe de petite taille, mais essentielle. Sa fonction est de maintenir la pression constante dans le réseau de lutte anti-incendie. Elle est généralement de type centrifuge, montée verticalement ou horizontalement.
- ➢ Armoires de Commande : Ces armoires gèrent :

- Le démarrage et l'arrêt automatiques des pompes en fonction des variations de pression ;
- La surveillance des paramètres (pression, niveau de carburant, état des batteries, etc.) ;
- Les alarmes en cas de dysfonctionnement.

- ➢ Instrumentation et Accessoires : Le skid inclut tous les éléments nécessaires

- Collecteurs d'aspiration et de refoulement ;
- Vannes d'isolement, clapets anti-retours ;
- Manomètres pour la lecture des pressions ;
- Pressostats pour le contrôle et la régulation ;
- Tuyauterie et raccords robustes. (KSB. (s.d.). Protection incendie avec KSB)

La figure suivante présente le système anti-incendie :

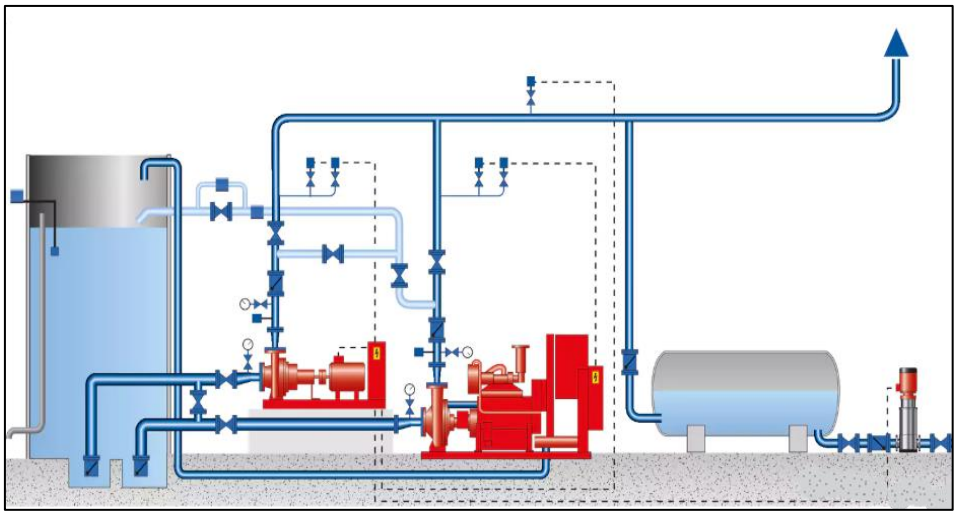


Figure III. 7 : Système anti incendie

III.8.1 Description des pompes existantes :

Le système comprend huit (08) pompes KSB de type RDLP 500-900.il s'agit de pompes centrifuges à volute (un, deux ou trois étages), installées horizontalement et présentant un carter à plan de joint. Elles sont dotées d'une roue radiale à double flux, brides de raccordement suivant normes DIN, ISO ou ANSI, fonctionnement en mode 6+2 (réserves) sur des socles en béton coulé, entrainées par des moteurs SEIMENS, puissance unitaire installée 4349 KW.

La figure ci-dessous représentation de la pompe existante dans la station :

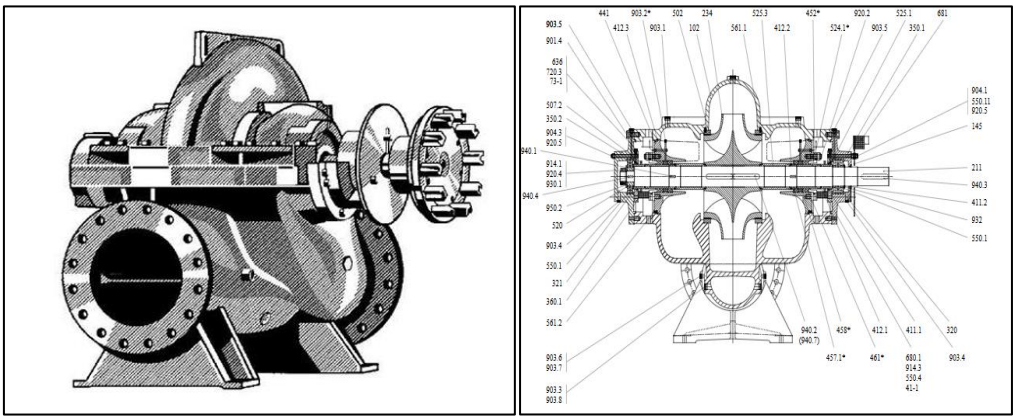


Figure III. 8 : Représentation de la pompe existante

(Source : KSB. (s.d.). Pompes à installation sèche. KSB)

III.9 <u>Diagnostic hydraulique de pompage</u> :

III.9.1 Etude de pompage:

La station de pompage d'Ain Kercha refoule un débit de 9.762 m^3/s vers le barrage de Koudiat Medouar, pour une HMT de 218 mCE, sur une longueur de 54.700 Km. On note le nombre, le type et les caractéristiques des pompes dans le tableau suivant (Tableau III.1):

Tableau III. 1 : Caractéristique des pompes en fonction de leur nombre

N °	Débit total (l/s)	Débit unitaire (l/s)	Type de pompe	HMT (mCE)	Vitess (tr/ min)	ŋ %	Pabs unitaire (KW)	Pabs total (KW)
1	1627	1627	RDLP 500-900	162	1320	88	2.941	2.941
2	3254	1627	RDLP 500-900	166	1340	87.8	3.020	6.040
3	4881	1627	RDLP 500-900	174	1360	88	3.159	9.476
4	6508	1627	RDLP 500-900	185	1395	88	3.358	13.433

5	8135	1627	RDLP 500-900	200	1440	88	3.630	18.152
6	**9762**	**1627**	**RDLP 500-900**	**218**	**1490**	**88**	**3.957**	**23.743**

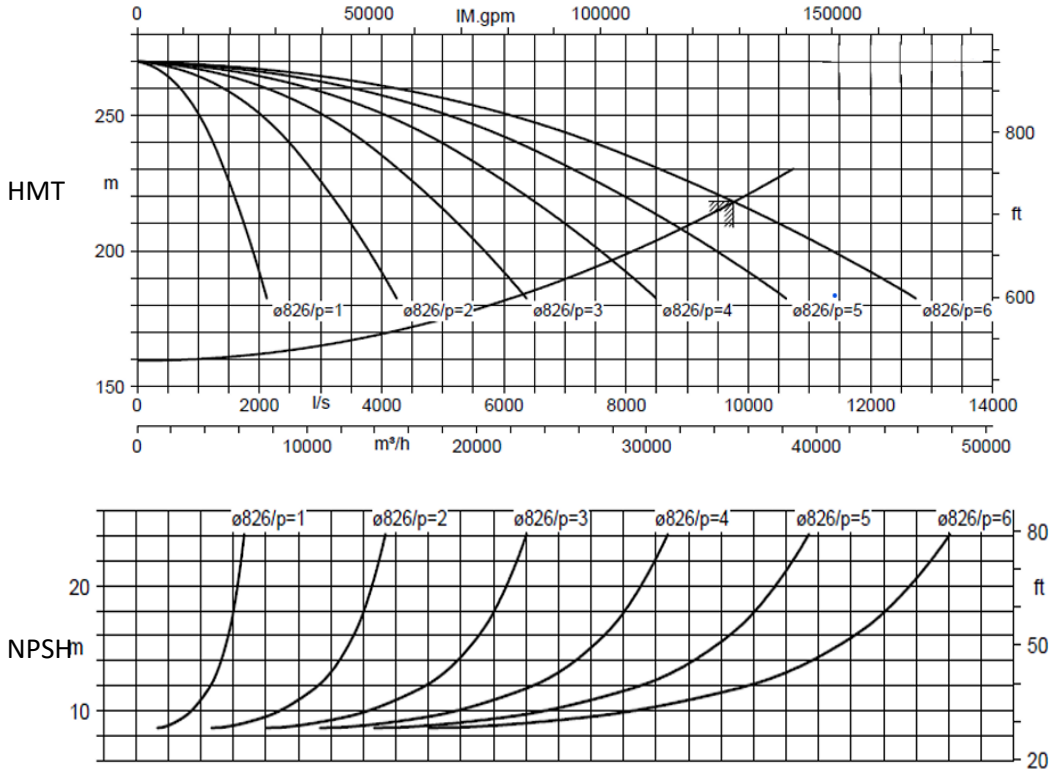
Avec :

- n : nombre de pompe ;
- Q appelé : le débit de la pompe ;
- HMT : hauteur manométrique totale de la pompe ;
- η : rendement de la pompe ;
- Pabs : la puissance absorbée par la pompe ;

A partir du tableau on déduit que la variante de six (06) pompes est la meilleure du point de vue rendement, puissance absorbée et nombre de pompes en parallèle. On opte pour un nombre de pompe de six (06) en plus de deux pompes en secours. Ces huit (08) pompes KSB de type RDLP 500-900.

III.9.2 Courbe caractéristique des pompes :

Les courbes caractéristiques de la pompe : [H – Q], [Pabs– Q], [η – Q], [(NPSH)r – Q] sont retirées à partir de logiciel de KSB et sont représentées par la figure (Figure III.9).



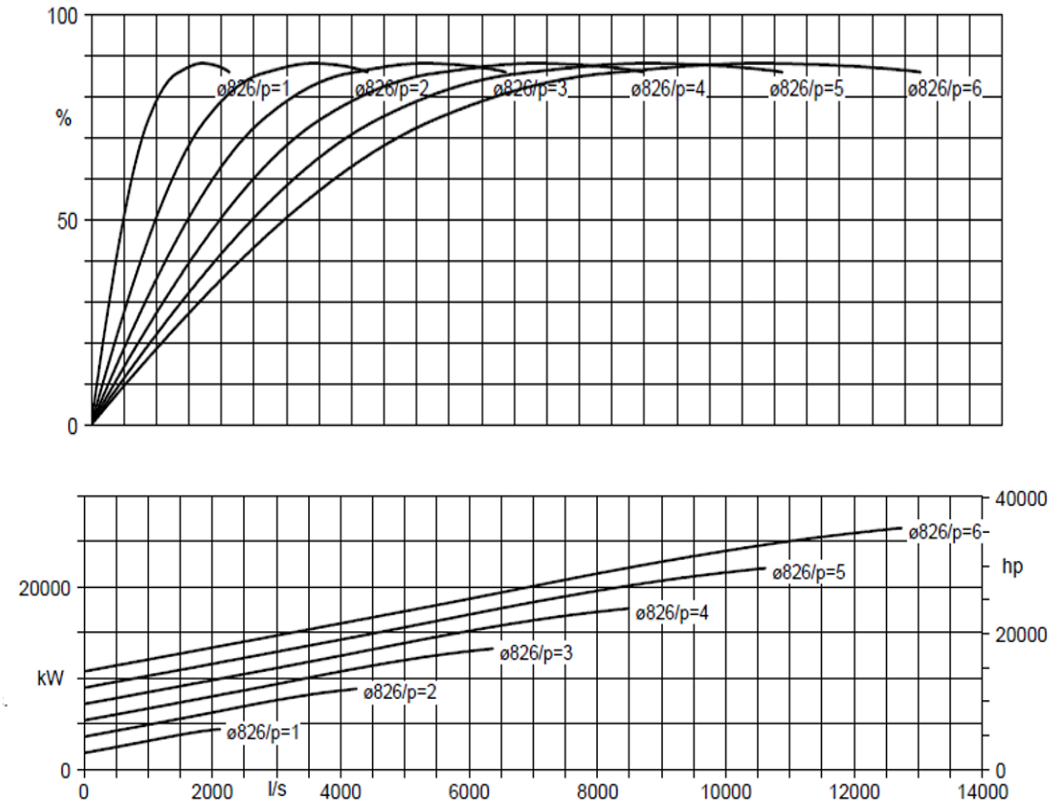


Figure III. 9: Les courbes caractéristiques de la pompe

III.9.3 Point de fonctionnement des pompes :

- Courbe caractéristique de la conduite :

Tableau III. 2 : Courbe caractéristique des conduites de refoulement.

Q (l/s)	6Q (l/s)	Hg (mCE)	L_{ref} (m)	D_{ec} (mm)	λ_{acier}	λ_{BPAT}	Δh_p (mCE)	Δh_t (mCE)	Hc (mCE)
0	0	159.4	54700	2× 2000	0.013956	0.016574	0	0	159,4
200	1200	159.4	54700	2× 2000	0.013956	0.016574	1.5978	1.75758	161,15758
400	2400	159.4	54700	2× 2000	0.013956	0.016574	6.3914	7.03054	166,43054
600	3600	159.4	54700	2× 2000	0.013956	0.016574	14.3806	15.81866	175,21866
800	4800	159.4	54700	2× 2000	0.013956	0.016574	25.5656	28.12216	186,52216
1000	6000	159.4	54700	2× 2000	0.013956	0.016574	39.9462	43.94082	193,34082
1200	7200	159.4	54700	2× 2000	0.013956	0.016574	57.5226	63.27486	202,67486
1400	8400	159.4	54700	2× 2000	0.013956	0.016574	78.2946	86.12406	212,52406
1600	9600	159.4	54700	2× 2000	0.013956	0.016574	102.2624	112.48864	221,88864
1800	10800	159.4	54700	2× 2000	0.013956	0.016574	129.4258	142.36838	231.76838

La courbe caractéristique des conduites de refoulement et le point de fonctionnement de la pompe sont montrés sur la figure suivante (Figure III.10).

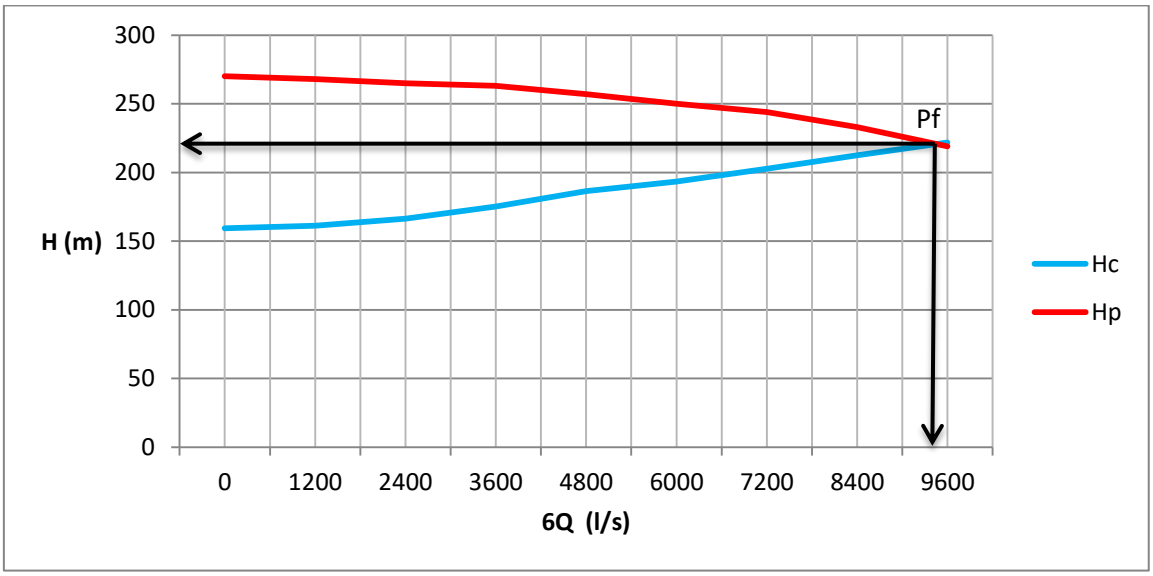


Figure III. 10 : Point de fonctionnement pour 6 pompes

➢ **Interprétation :**

Le point de fonctionnement de la pompe est de coordonnées : (1596.67l / s, 220 mCE), alors que le point demandé est de coordonnées (1627 l/s, 218 mCE), ainsi la pompe fonctionne dans bonnes conditions

III.9.4 Etude de la cavitation :

La cavitation correspond à une perturbation du flux hydraulique survenant à l'entrée de la pompe. Elle est caractérisée par la formation de cavités gazeuses dans le liquide, un événement qui a lieu dès lors que la pression absolue chute en deca de la pression de vapeur saturante de fluide à la température considérée. La prévention de cette anomalie requiert la vérification de l'inégalité suivante :

$$(NPSH)_r < (NPSH)_d. \qquad \text{(III-4)}$$

- **$(NPSH)_r$:** La hauteur nette d'aspiration nécessaire est une caractéristique propre à la pompe, communiquée par le constructeur ;
- **$(NPSH)_d$:** La hauteur nette d'aspiration disponible dépend de la configuration de l'installation et est calculée par l'installateur.

$$(NPSH)_d = (NPSH)_r + r \qquad \text{(III-5)}$$

- **r :** marge de sécurité, r = (0,3 – 0,5) m

On prend : r = 0,3 m

Dans notre cas, on a à faire une installation en charge au niveau de la station de pompage d'Ain kercha, alors la hauteur d'aspiration admissible est régie par la relation suivante :

$$h_{asp}^{adm} = (\text{NPSH})_r + r - P_{at} + T_v + \frac{Va^2}{2 \times g} + \Delta H_{asp} \quad \text{(III-6)}$$

Avec :

- Va : Vitesse d'écoulement dans la conduite d'aspiration (m/s) ;
- Pat : Pression atmosphérique (mCE) ;

$$P_{at} = 10{,}33 - 0{,}00139 \times H \quad \text{(III-6)}$$

- H : altitude de la station ;
- Tv : Tension de vapeur d'eau (mCE).

Tableau III. 3 : Variation de la tension de vapeur d'eau en fonction de la température

T° (° C)	**5**	**10**	**20**	**30**	**40**	**50**	**80**	**100**
Tv (mCE)	0.09	0.12	0.24	0.43	0.75	1.25	4.82	10.33

La tension de vapeur d'eau sera choisie pour une température de 20 ° C.

- **Δh_{asp} :** perte de charge totale du côté aspiration.

$$\Delta h_{asp} = 1{,}15 \times \Delta h_{asp}^{lin} \quad \text{(III-6)}$$

- **Δh_{asp}^{lin}:** Perte de charge linéaire à l'aspiration (mCE), elle sera estimée pour la conduite d'aspiration moyennant la formule suivante :

$$\Delta h_p^{lin} = \frac{8 \times \lambda \times L \times Q2}{g \times \pi 2 \times D_a^5} \quad \text{(III-7)}$$

Avec :

- ***L*** : Longueur géométrique de la conduite d'aspiration (m) ;
- ***Q*** : Débit à refouler (m3/s) ;
- **Da :** Diamètre de la conduite d'aspiration ;

$$Da > da \quad \text{(III-8)}$$

- **da :** Diamètre de la tubulure d'aspiration (mm).

- g : Accélération de la pesanteur (m/s²) ;
- λ : Coefficient de frottement qui est en fonction de la rugosité de la paroi interne de la conduite et du régime d'écoulement. Il est obtenu par la formule de Nikuradzé suivante :

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2\log\left(\frac{\varepsilon}{3.71\,D}\right) \quad \text{(III-9)}$$

Avec :

- **ε** : Rugosité absolue (m)
- **D** : Diamètre de la conduite (mm).

III.9.5 Calage de la pompe :

Le calage de la pompe consiste à établir l'altitude précise e l'axe de la machine par rapport à la surface libre de liquide dans le réservoir d'aspiration. Cette opération est importante, car elle vise à garantir un fonctionnement dénué de tout danger de cavitation pour l'équipement.

Pour les installations en charge :

$$\nabla_{axe} = \nabla_{min} - h_{asp}^{adm} + r \quad \text{(III-10)}$$

Avec :

- **∇**axe : Niveau de l'axe de la pompe (m) ;
- **∇**min : Niveau minimal du plan d'eau d'aspiration (m) ;

$$\nabla_{min} = C_R + h_{inc} \quad \text{(III-11)}$$

- C_R : Côte du radier de réservoir (m) ;
- h_{inc} : Hauteur d'incendie dans le réservoir (mCE) ;
- r : marge de sécurité, r = (0,1 – 0,3) m.

➢ Application :

- Pour déterminer le diamètre des collecteurs d'aspiration :

On fixe $Va = V_{ad}$ ($V_{min} < V_{ad} < V_{max}$) et on calcule le diamètre par :

$$Da = \sqrt{\frac{4*Q}{\pi*Vad}} \quad \text{(III-12)}$$

Et on vérifie si Da > da.

Alors on fixe Va=0.92m/s ; (vitesse admissible à l'aspiration)

Alors : $Da=\sqrt{\frac{4*1.627}{\pi*0.92}}$= 1.5 m=1500mm (diamètre normalisé)

Da = 1500 mm > da = 1200 mm. Donc c'est vérifié.

- La charge nette d'aspiration requise : $(NPSH)_r$ = 8.7 m.
- La pression atmosphérique : Pat = 10,33 – 0,00139 × 780 ⇒ Pat = 9,2458 mCE.
- La tension de vapeur d'eau à une température T° = 20°C : Tv = 0,24 mCE.
- Le diamètre de la conduite d'aspiration : Da = 1500 mm
- La vitesse d'aspiration : Va = $\frac{4\times1.627}{\pi\times1.5^2}$ = 0.92m/s
- $\Delta h_p^{lin} = \frac{8 \times 0.0148 \times 21100\times 1.627^2}{9.81 \times \pi 2 \times 1.5^5}$ = 8.99 mCE.
- Δh_{asp} = 1,15 × 8.99 =10.3385 mCE.
- h_{asp}^{adm}= 8.7 + 0.3 - 9.2458 + 0.24 +$\frac{0.92^2}{2\times9.81}$ + 10.3385 = 10.38 mCE.

Donc l'installation est en charge.

Δh_{asp}^{adm}= 850.5-780=70.5 mCE.

Donc : $\Delta h_{asp}^{adm} = 70.5m > h_{asp}^{adm}$=10.38 mCE.

Condition de non cavitation est vérifiée.

- Le niveau minimum du plan d'aspiration :
  ∇_{min}= 854.4+0.6=855 m.
- La côte de l'axe de la pompe :
  ∇_{axe}= 855-10.38+0.3=844.92 m

➢ **Remarque :**

Après vérification des paramètres de fonctionnement et la vérification de l'inégalité, il a été confirmé que la pompe fonctionne sans cavitation, et aucun bruit caractéristique de cavitation n'a été détecté lors de la visite de la station. Cela indique une bonne alimentation en fluide et une absence de formation de bulles de vapeur dans le corps de pompe, assurant ainsi un fonctionnement stable et optimal.

III.9.6 Protection de conduites contre le phénomène de coups de bélier :

III.9.6.1 Présentation du phénomène :

Les coups de bélier est un phénomène oscillatoire caractérisée par la propagation des ondes de surpression et de dépression de période 4L/a. ces pics de pression extrêmes sont capables d'endommager gravement les canalisations et les accessoires du réseau. L'origine de ce phénomène est toujours liée à une modification rapide du régime d'écoulement. Les déclanchements les plus communs sont :

- Arrêt brutal par disjonction inopinée d'un ou plusieurs groupes électropompes alimentant une conduite de refoulement.
- Démarrage des pompes.
- Fermeture instantanée ou trop rapide d'une vanne de sectionnement ou d'un robinet d'obturation.
- Donc, le coup de bélier résulte d'un changement du régime d'écoulement.

III.9.6.2 Moyen et équipement de protection :

Bien qu'il soit difficile d'éliminer intégralement le phénomène de coup de bélier, l'objectif est de le limiter à un niveau de contrainte que la résistance des canalisations peut supporter. Ci-dessous, les solutions anti-bélier les plus courantes :

La soupape de décharge : Ce dispositif est conçu pour protéger le système contre les surpressions. Son déclenchement est réglé pour s'ouvrir uniquement à une pression excédant la pression maximale nominale du réseau.

Le volant d'inertie : Agit principalement comme une protection contre les dépressions. En augmentant l'inertie de l'ensemble tournant.il prolonge la durée de l'arrêt de groupe motopompe.

La cheminée d'équilibre : Elle sert à limiter les surpressions et les dépressions, utilisée uniquement dans le cas des hauteurs géométriques très faibles.

Le réservoir d'air : C'est le moyen la plus courante pour la protection anti-bélier grâce à sa capacité à prémunir efficacement les installations contre les surpressions et les dépressions.

Le réservoir anti-bélier est systématiquement installé à proximité immédiate e la pompe. Son mécanisme est double : en cas d'arrêt de la pompe et en cas de surpression.

III.9.6.3 Calcul des réservoirs d'air :

Consiste à déterminer les valeurs de la surpression et de la dépression maximales dans les conduites de refoulement et le volume du réservoir d'air. Comme méthode de calcul, on distingue :

- **Méthode de VIBERT** :

La méthode de VIBERT donne de bons résultats pour les petites et moyennes installations et risque de donner des valeurs de réservoirs d'air, importantes dans le cas de grandes installations.

- **Méthode de PUETCH et MEUNIER :**

La méthode de PUETCH et MEUNIER est la plus répondue, elle donne de bons résultats que ce soit pour les petites ou pour les grandes installations.

III.9.6.4 Dimensionnement de réservoir d'air par la méthode de PUETCH et MEUNIER:

Les étapes à suivre pour déterminer le volume de réservoir d'air sont :

1) Calcul de la célérité d'onde dans les conduites : On calculera la célérité d'onde à l'aide de la formule d'Allievi :

Avec :

$$c = \frac{\sqrt{\frac{K}{\rho}}}{\sqrt{1+\frac{K\times D}{E\times e}}} \qquad \text{(III-13)}$$

- ***c*:** Célérité d'onde (m/s).
- **ρ :** Masse volumique de l'eau. ρ = 1000 kg/m^3.
- **D :** Diamètre de la conduite (m).
- **E :** Module de YOUNG de la conduite, E =2 × 10^{11} pascal pour l'acier.
- **e :** Epaisseur de la conduite (m) pour notre projet : e = 14,3 mm.
- **K :** Coefficient d'élasticité de l'eau : K=2,07 .10^9 Pa.

Donc :

$$c = \frac{\sqrt{\frac{2{,}07\ .10^9}{1000}}}{\sqrt{1+\frac{2{,}07\ .10^9\times 2000}{2\times 10^{11}\times 14.3}}} = 919.64 \text{ m/s}$$

Pour calculer la valeur du coup de bélier, on utilise la formule suivante :

$$b = \frac{C\times V_0}{g} \qquad \text{(III-13)}$$

Avec :

- **V_0 :** vitesse de refoulement en régime normal ;
- **g :** accélération de la pesanteur ;

- **c :** célérité d'onde (m/s).

Lors d'un coup de bélier, les variations de pression peuvent être estimées à l'aide des formules suivantes :

• **Surpression maximale :** $H_{surpression} = Hg + b$

• **Dépression maximale :** $H_{dépression} = Hg - b$

Le tableau suivant présente les résultats des calculs effectués pour la station de pompage d'Ain Kercha :

Tableau III. 4 : Calcul de la célérité de l'onde et de la valeur du coup de bélier

Hg (mCE)	C (m/s)	V_0 (m/s)	b (mCE)	$H_{surpression}$ (mCE)	$H_{dépression}$ (mCE)
159.4	919.64	1.55	145.3	304.7	14.1

2) Dimensionnement des réservoirs d'air :

Pour notre cas, nous avons choisi d'utiliser la méthode de PUETCH et MEUNIER. Cette méthode repose sur le calcul des nombres adimensionnels afin de déterminer le volume maximal du réservoir.

- **K :** qui caractérise les pertes de charge ;
- **A :** qui caractérise la conduite de refoulement ;
- **B :** qui caractérise le volume d'air du réservoir anti-bélier.

Telles que :

$$K = \frac{H_{abs} - H_0}{H_0} \quad \text{(III-14)}$$

H_0 : pression statique absolue.

$$H_0 = Hg + 10 \quad \text{(III-15)}$$

H_{abs} : la pression de service absolue.

$$H_{abs} = HMT + 10 \quad \text{(III-16)}$$

$$A = \frac{C \times V_0}{g \times H_0} \quad \text{(III-17)}$$

Avec :

- **c :** célérité d'onde de choc (m/s) ;
- **V_0 :** vitesse d'écoulement en régime permanent (m/s);
- **g :** accélération de pesanteur (m/s^2).

Après avoir calculé les paramètres nécessaires, nous avons élaboré le tableau suivant pour tracer le profil en long de la conduite. Le plus grand volume d'air sera pour la plus faible pression et nous lisons sur le graphique $\frac{P_{min}}{H_0}$

L'évolution du volume d'air est intermédiaire entre les lois isotherme et adiabatique, nous avons :

$$P_{min} U_{max}^{1.2} = H_{abs} U_0^{1.2} \quad \text{(III-18)}$$

$$U_{max} = \sqrt[1.2]{\frac{H_{abs}\, U_0^{1.2}}{P_{min}}} \qquad \text{(III-19)}$$

- **Application :**

On a :

HMT = 218 mCE ; Hg = 159.4 mCE.

Donc : H_0= 159.4 +10 = 169.4 mCE ;

H_{abs} = 218 +10 = 228 mCE ;

K= $\frac{\mathbf{228-169.4}}{\mathbf{169.4}}$ = 0.35 ;

A= $\frac{\mathbf{919.64\times1.55}}{\mathbf{9.81\times169.4}}$ = 0.86

Nous devrions considérer la famille de courbe B pour A= 0,86 et K= 0,35 mais comme nous ne disposons pas de ces abaques, nous allons superposer le profil en long « absolu » aux familles de courbes (K=0,4 et A=1). Nous allons compléter le tableau du profil en long afin de déterminer le volume de réservoir.

Tableau III.5 : Tableau du profil en long absolu pour la station d'Ain Kercha :

Points	Z_0	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5	Z_6	Z_7	Z_8	Z_9	Z_{10}
Cotes (m)	780	802.04	806.52	823.59	840.93	872.66	884.83	919.45	924.59	934.21	939.4
Longueur (m)	0	1500	6500	13210	16500	23620	41629	45149	51149	53246	54700
ΔZ (m)	0	22.04	26.52	43.59	60.93	92.66	104.83	139.45	144.45	154.21	159.4
$\frac{\Delta Z+10}{Hg+10}$	0.06	0.19	0.22	0.32	0.42	0.61	0.68	0.88	0.91	0.97	1
$\frac{X}{L}$	0	0.03	0.12	0.24	0.30	0.43	0.76	0.83	0.94	0.97	1

Après la superposition avec l'abaque en annexe (III.1), nous optons une valeur moyenne de B = 0.4, Cette valeur nous permet de calculer le volume d'air comprimé U_0.

$$U_0 = \frac{V_0^2\ \ L\ \ S}{g\ \ H_{abs}\ \ B} = \frac{\mathbf{1.55^2\times54700\times3.14}}{\mathbf{9.81\times228\times0.4}} = 461.23\ m^3$$

$\frac{P_{min}}{H_0}$ = 0.68 → P_{min} = 169.4× $\mathbf{0.68 = 115.192}$ mCE.

$$U_{max} = \sqrt[1.2]{\frac{H_{abs}\, U_0^{1.2}}{P_{min}}} = \sqrt[1.2]{\frac{228\times461.23^{1.2}}{115.192}} = 814.73\ m^3$$

Le volume de réservoir sera majoré de 30 % ; U_{max} = 1100 m^3.

- **Remarque :**

Suite à nos calculs, la capacité requise pour le réservoir anti-bélier égale à celle des réservoirs actuellement en place (11 réservoirs anti-bélier existants de volume 100 m^3).

III.10 Diagnostic physique de la station de pompage d'Ain Kercha :

III.10.1 Constats : Une inspection visuelle révèle que :

- Des fuites mineures d'eau au niveau des joints et les raccordements

La figure ci-dessous (Figure III.11) illustre une fuite au niveau de joint

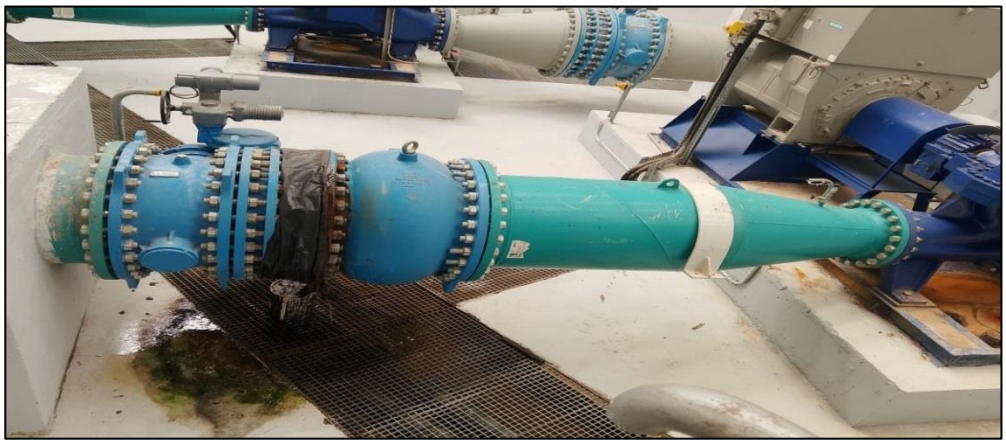


Figure III. 11 : Fuite au niveau de joint de raccordement (Source : @GUEROUI Dhikra_15/04/2025)

- Le liquide qui s'écoule est stagnant sur le sol et présente une coloration foncée, avec des dépôts verdâtres, ce qui indique qu'il est présent depuis un certain temps et qu'il y a une accumulation de débris ou de matière organique.
- Un manque de nettoyage régulier laissant des résidus accumulés.
- Fuites au niveau des vannes.

Ci-dessous (Figure III.12) une fuite observée au niveau d'une vanne



Figure III. 12 : Fuite observée au niveau d'une vanne (Source :@GUEROUI Dhikra_15/04/2025)

- Fuite au niveau du joint de la pompe et des traces de corrosion visibles.



Figure III. 13: Fuite observée au niveau de joint de la pompe (Source : @GUEROUI Dhikra_15/04/2025)

- Un entretien préventif insuffisant.
- Risque de glissade pour le personnel.
- Des câbles sont posés de manière lâche sur le sol au premier plan, ceux-ci pourraient présenter un risque de trébuchement pour le personnel travaillant dans la zone.

La figure suivante (Figure III.14) représente des cables posés au premier plan sur le sol

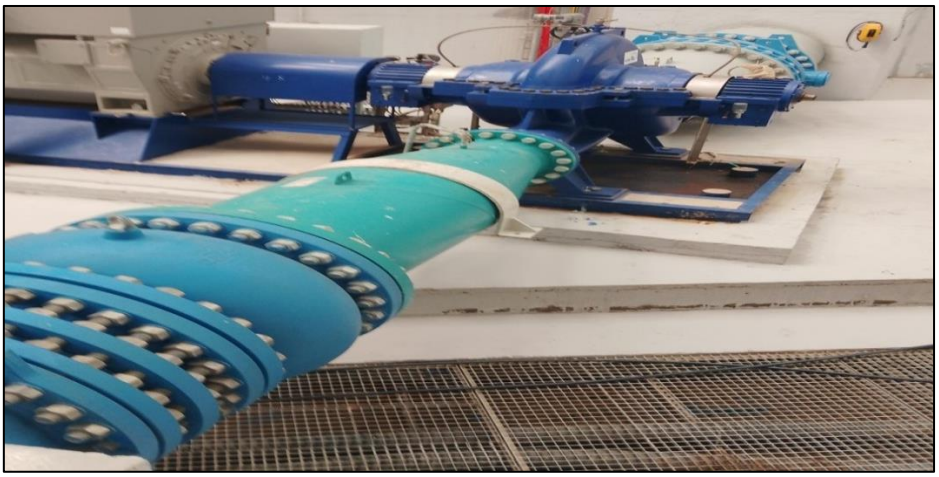


Figure III. 14 : Câbles posés de manière lâche (Source : @GUEROUI Dhikra_15/04/2025)

- Système de refroidissement hors service

  La figure suivante (Figure III.15) représente un système de refroidissement hors service



Figure III. 15 : Système de refroidissement hors service (Source : @GUEROUI Dhikra_15/04/2025)

III.11 Description de la station de pompage SP1-1:

Cette station située, à la cote 954 mNGA, refoule vers la station SP1-2. Elle a été mise en service en juillet 2007.

Comprenant principalement la salle des machines qui contient les 05 groupes de pompage (04 en exploitation et 01 en réserve).

Chaque groupe de pompage assure un débit nominal de 1534 m3/h pour une Hmt moyenne de 145m.

Chaque pompe est entraînée par un moteur asynchrone à moyenne tension (5.5 KV) et de puissance nominal 950 KW.

Les groupes de pompage aspirent à partir d'un collecteur principal en acier DN1400 placé dans une galerie attenante à la salle des machines. Le refoulement se fait dans un collecteur principal en acier DN1000 disposé dans la salle des machines, il aboutit à l'extérieur dans un regard, comprenant :

- Un débitmètre électromagnétique DN 800 ;
- Une vanne papillon à commande électrique DN 800 permettant le réglage du débit refoulé,
- Une manchette avec un bout conique 800/1000 assurant la jonction avec la conduite en fonte DN1000 sur une longueur de 9997 m et pour une dénivelée de 124m.
- La protection de la conduite de refoulement contre les contraintes induites par les coups de bélier est assurée par :
- Deux ballons anti béliers de 35 m^3 chacun connectés sur la conduite de refoulement en avant du regard du débitmètre ;
- Une soupape de décharge au départ de la conduite de refoulement à la sortie du bâtiment de la station de pompage ;

- Une salle de commande vers laquelle sont dirigées toutes les informations de fonctionnement et de production de la station de pompage ;
- Un local Magasin Atelier ;
- Un local abritant les compresseurs pour maintenir la pression minimale dans les ballons anti béliers,
- Pour la manœuvre à l'intérieur du bâtiment de la station de pompage, un pont roulant de capacité 5 tonnes a été installé. Il peut déplacer des charges dans toute la zone intérieure grâce aux deux rails s'appuyant sur des corbeaux disposés sur les poteaux et courant le long des deux côtés de la station de pompage.

Voici (Figure III.16) un aperçu visuel de la salle des machines de la SP1-1



Figure III. 16 : Station de pompage SP1-1 (Source : @GUEROUI Dhikra_16/03/2025)



Figure III. 17 : Réservoirs anti bélier de la SP1-1 (Source : @GUEROUI Dhikra_16/03/2025)

III.11.1 Description des pompes existantes :

La station est équipée de pompes KSB monocellulaire de type Omega Shanghai 300-700 qui possèdent un plan de joint axial, sont couplées à des moteurs SIEMENS et monté sur des socles en béton armé.

- **Caractéristiques générales de la pompe** :

Pompe à volute à plan de joint axial pour installation horizontale ou verticale, monocellulaire avec roue à double flux. Bride alésées suivant normes DIN, ISO, BS ou ANSI

- **Application :**

- Pompage d'eau non traité ;
- Eau propre ;
- Eau de service et eau de mer dans les usines d'eau ;
- Les stations de relevages ;
- Les stations d'irrigations ;
- Les centrales thermiques ;
- Les systèmes de protection anti-incendie,
- Sans la marine et la pétrochimie.

III.12 Diagnostic hydraulique de pompage :

III.12.1 Etude de pompage:

La SP1-1 refoule un débit de 2.26 m^3/s, pour une HMT de 160.3 mCE, sur une longueur de 9997 m. On note le nombre, le type et les caractéristiques des pompes dans le tableau suivant (Tableau III.6)

Tableau III. 6 : Caractéristique des pompes en fonction de leur nombre

N°	Q appelé (m^3/s)	HMT Appelé (mCE)	Type de pompe	ŋ %	HMT (mCE)	Vitesse (tr/min)	Nbr d'étage	P_{abs} (KW)	$(NPSH)_r$
3	0.75	160.3	RPH 350-710	85.24	159.98	1492	1	1377.32	9.42
4	**0.565**	**160.3**	**RPH 350-710**	**82.11**	**160.32**	**1492**	**1**	**1079.65**	**8.03**
5	0.452	160.3	Omega shanghai 300-700	84.87	160.35	1492	1	836.53	4.40

Avec :

- n : nombre de pompe ;
- Q appelé : le débit de la pompe ;
- HMT : hauteur manométrique totale de la pompe ;
- η : rendement de la pompe ;

- Pabs : la puissance absorbée par la pompe ;

A partir du tableau on déduit que la variante de quatre (04) pompes est la meilleure du point de vue rendement, puissance absorbée et nombre de pompes en parallèle. On opte pour un nombre de pompe de quatre (04) en plus d'une pompe en secours. Ces cinq (05) pompes sont identiques de type RPH 350-710

III.12.2 Courbe caractéristique des pompes :

Les courbes caractéristiques de la pompe : [H – Q], [Pabs– Q], [η – Q], [(NPSH)r – Q] sont retirées à partir de logiciel de KSB et sont représentées par la figure (Figure III.18).

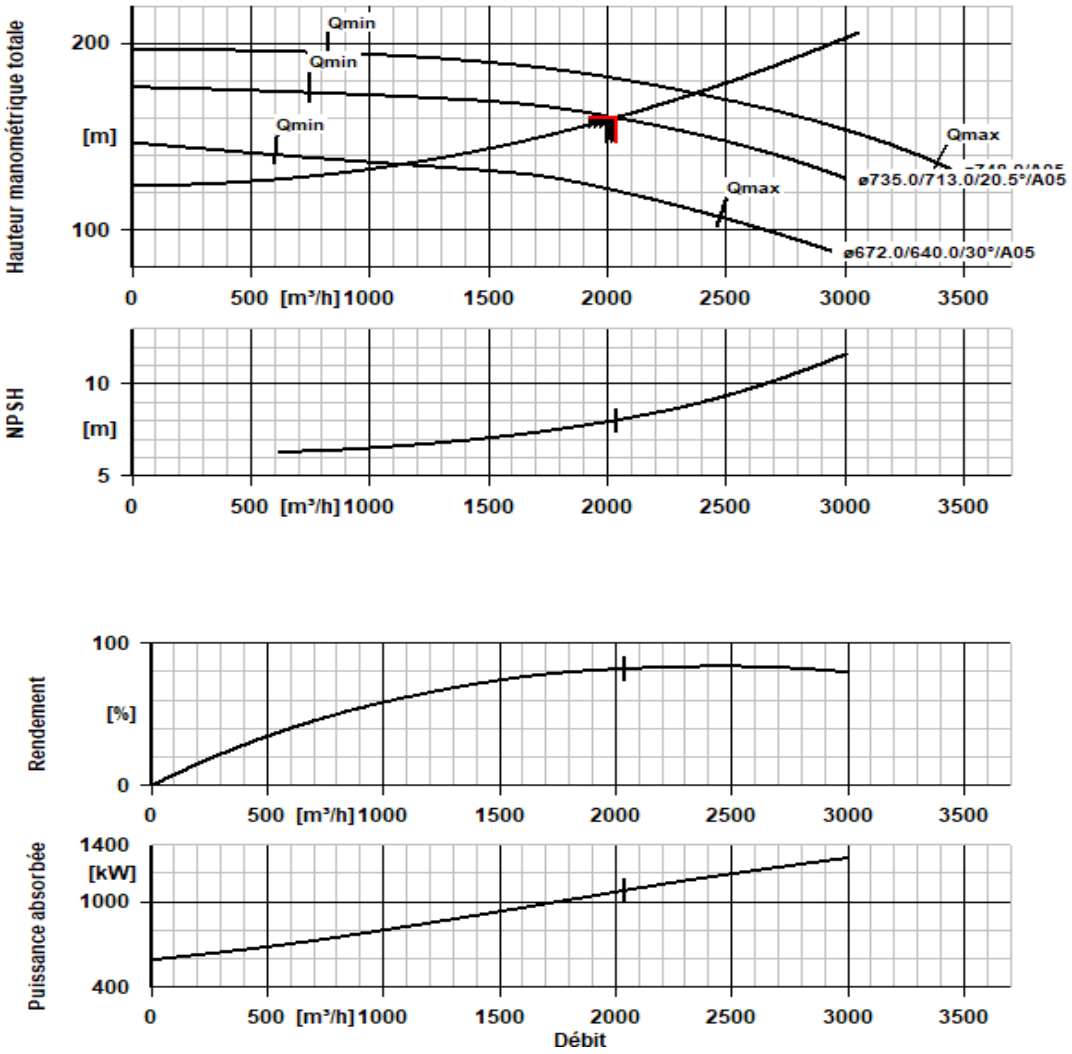


Figure III. 18 : Les courbes caractéristiques de la pompe

III.12.3 Point de fonctionnement des pompes :

Ce tableau représente la courbe caractéristique de la conduite de refoulement SP1-1 _ SP1-2.

Tableau III. 7 : Courbe caractéristique de la conduite de refoulement (SP1-1- SP1-2)

N°	Q (l/s)	4Q (l/s)	Hg (mCE)	L_{ref}	D_{ec} (m)	λ	Δh_p (mCE)	Δh_t (mCE)	Hc (mCE)
1	0	0	124	9997	1.2	0.0207	0	0	124
2	100	400	124	9997	1.2	0.0207	1.09	1.199	125.199
3	200	800	124	9997	1.2	0.0207	4.39	4.829	128.829
4	300	1200	124	9997	1.2	0.0207	9.89	10.879	134.879
5	400	1600	124	9997	1.2	0.0207	17.59	19.349	143.349
6	500	2000	124	9997	1.2	0.0207	27.48	30.228	154.228
7	600	2400	124	9997	1.2	0.0207	39.58	43.538	167.538
8	700	2800	124	9997	1.2	0.0207	53.87	59.257	183.257
9	800	3200	124	9997	1.2	0.0207	70.36	77.396	201.396
10	900	3600	124	9997	1.2	0.0207	89.05	97.955	203.955

La courbe caractéristique de la conduite de refoulement et le point de fonctionnement de la pompe sont montrés sur la figure suivante (Figure III.19).

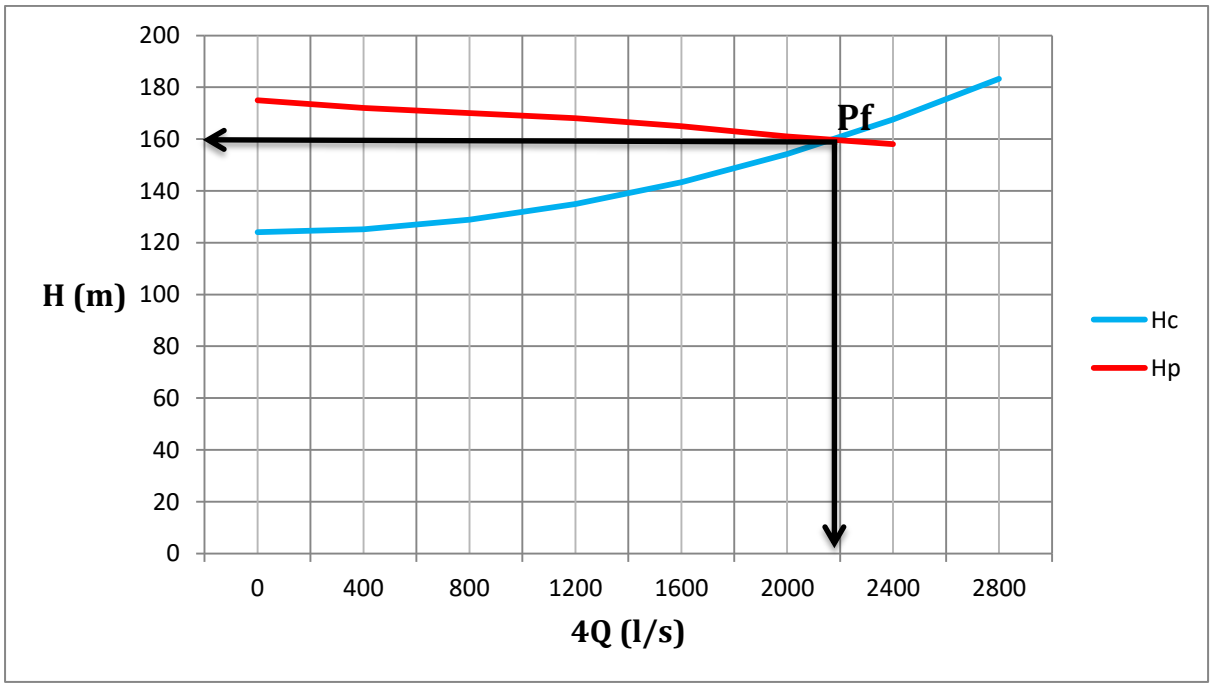


Figure III. 19 : Point de fonctionnement des pompes choisies

- **Interprétation :**

Le point de fonctionnement de la pompe est de coordonnées : (557.67l/s, 160mCE), alors que le point demandé est de coordonnées (565 l/s, 160.3mCE), ainsi la pompe fonctionne dans des bonnes conditions

III.12.4 Etude de la cavitation :

Dans notre cas, on a à faire une installation en charge au niveau de la station de pompage SP1-1

- **Application :**
  - La charge nette d'aspiration requise : (NPSH)r = 8.03 mCE.
  - La pression atmosphérique : Pat = 10,33 – 0,00139 × 954 ⇒ Pat = 9,00394 mCE.
  - La tension de vapeur d'eau à une température T° = 20°C : Tv = 0,24 mCE.
  - Le diamètre de la conduite d'aspiration : Da > da

On fixe Va= 1.12 m/s ; (vitesse admissible à l'aspiration)

Alors : $Da=\sqrt{\frac{4*0.565}{\pi*1.12}}$= 0.8 m = 800 mm (diamètre intérieur)

Da = 800 mm > da = 600 mm

Donc c'est vérifié.

- La vitesse d'aspiration : Va = $\frac{4\times0.565}{\pi\times0.8^2}$ = 1.12 m/s
- Δh_p^{lin} = $\frac{8\times0.02296\times109\times0.565^2}{9.81\times\pi2\times0.8^5}$ = 0.202 mCE.
- Δh_{asp} = 1,1 × 0.202 =0.2222 mCE.
- h_{asp}^{adm}= 8.03+0.3 -9.00394+0.24+$\frac{1.12^2}{2\times9.81}$+0.2222 = -0.148 mCE.

On opte pour une installation en aspiration.

$$h_{asp}^{adm}= P_{at}\text{-(NPSH)r} - \text{r} - T_v\text{-}\frac{Va^2}{2\times g}\text{-}\Delta H_{asp} \qquad \text{(III-20)}$$

- h_{asp}^{adm}= 9.00394 - 8.03 - 0.3 - 0.24 - $\frac{1.12^2}{2\times9.81}$ - 0.2222 = 0.148 mCE.

Condition de non cavitation est vérifiée.

- Le niveau minimum du plan d'aspiration :
  ∇_{min}=962.45+0.6 = 963.05 m.
- La côte de l'axe de la pompe :
  ∇_{axe}=963.05-0.148+0.1 = 963.002 m

- **Remarque :**

Après vérification des paramètres de fonctionnement et la vérification de l'inégalité, il a été confirmé que la pompe fonctionne sans cavitation

III.12.5 Protection de conduites contre le phénomène de coups de bélier :

III.12.5.1 Dimensionnement de réservoir d'air par la méthode de PUETCH et MEUNIER:

1) Calcul de la célérité d'onde dans les conduites : On calculera la célérité d'onde à l'aide de la formule d'Allievi :

Avec :

$$C = \frac{\sqrt{\frac{K}{\rho}}}{\sqrt{1+\frac{K\times D}{E\times e}}}$$

- c: Célérité d'onde (m/s).
- ρ : Masse volumique de l'eau. ρ = 1000 kg/m^3.
- D : Diamètre de la conduite (m).
- E : Module de YOUNG de la conduite, E = 1 × 10^{11} pascal pour la fonte.
- e : Epaisseur de la conduite (m) pour notre projet : e = 0.0144m.
- K : Coefficient d'élasticité de l'eau : K=2,07 .10^9 Pa.

Donc :

$$C = \frac{\sqrt{\frac{2{,}07\ .10^9}{1000}}}{\sqrt{1+\frac{2{,}07\ .10^9\times 1200}{1\times 10^{11}\times 0.0144}}} = 871.57 \text{ m/s}$$

Le tableau suivant représente les résultats des calculs effectués pour la station de pompage SP1-1:

Tableau III. 8 : Calcul de la célérité de l'onde et de la valeur du coup de bélier

Hg (mCE)	C (m/s)	V_0 (m/s)	b (mCE)	$H_{surpression}$ (mCE)	$H_{dépression}$ (mCE)
124	871.57	1.99	176.80	300.80	52.8

2) Dimensionnement des réservoirs d'air :

- **Application :**

On a :

HMT = 160.3 mCE ; Hg = 124 mCE.

Donc : H_0= 124 +10 = 134 mCE ;

H_{abs} = 160.3 +10 = 170.3 mCE ;

K= $\frac{\mathbf{170.3-134}}{\mathbf{134}}$ = 0.27 ;

A= $\frac{\mathbf{871.57\times1.99}}{\mathbf{9.81\times134}}$ = 1.32

Nous devrions considérer la famille de courbe B pour A= 1.32 et K= 0,27 mais comme nous ne disposons pas de ces abaques, nous allons superposer le profil en long « absolu » aux familles de courbes (K=0,4 et A=2). Nous allons compléter le tableau du profil en long afin de déterminer le volume de réservoir.

Tableau III. 9 : Tableau du profil en long absolu pour la station de pompage SP1-1 :

Points	$\mathbf{Z_0}$	$\mathbf{Z_1}$	$\mathbf{Z_2}$	$\mathbf{Z_3}$	$\mathbf{Z_4}$	$\mathbf{Z_5}$	$\mathbf{Z_6}$
Cotes (m)	954	974.66	995.32	1015.98	1036.64	1057.3	1078
Longueur (m)	0	1666.16	3332.32	4998.49	6664.65	8330.81	9997
ΔZ (m)	0	22.66	41.32	61.98	82.64	103.3	124
$\frac{\mathbf{\Delta Z+10}}{\mathbf{Hg+10}}$	0.07	0.19	0.38	0.54	0.69	0.85	1
$\frac{\mathbf{X}}{\mathbf{L}}$	0	0.17	0.33	0.5	0.67	0.83	1

Après la superposition avec l'abaque en annexe (III. 2), nous optons une valeur moyenne de B = 0.6, Cette valeur nous permet de calculer le volume d'air comprimé U_0.

$U_0 = \frac{\boldsymbol{V_0^2\ \ L\ \ S}}{\boldsymbol{g\ \ H_{abs}\ \ B}} = \frac{\mathbf{1.99^2\times9997\times1.13}}{\mathbf{9.81\times170.3\times0.6}}$ = 44.63 m^3

$\frac{\boldsymbol{P_{min}}}{\boldsymbol{H_0}}$ = 0.54 → P_{min} = 134× $\mathbf{0.54 = 72.36}$ mCE.

$U_{max} = \sqrt[1.2]{\frac{\boldsymbol{H_{abs}\ U_0^{1.2}}}{\boldsymbol{P_{min}}}} = \sqrt[1.2]{\frac{\mathbf{170.3\times44.63^{1.2}}}{\mathbf{72.36}}}$ = 69.3 m^3

Le volume de réservoir sera majoré de 30 % ; U_{max} = 90 m^3.

- **Remarque :**

Suite à nos calculs, la capacité requise pour le réservoir anti-bélier dépasse à celle des réservoirs actuellement en place (02 réservoirs anti-bélier existant de volume 35 m^3). Afin de compenser ce déficit et d'assurer une protection optimale du réseau, nous proposons d'ajouter un réservoir supplémentaire (01), de volume 35 m^3. Cette extension portera le nombre total de réservoirs à trois (03).

III.13 Diagnostic physique de la station de pompage SP1-1 :

III.13.1 Constats :

- Le corps des pompes présente des parties avec une peinture dégradée.
- Présence de zones amorce de corrosion sur le corps de pompe notamment aux raccords, sous les brides.
- Présence de fuites au niveau des raccords des tubulures.
- Des points chauds localisés sont détectés sur la volute.

L'armoire électrique est exposée directement au soleil, provoquant une surchauffe interne des composants.

III.14 Description de la station de pompage SP1-2 :

La station de pompage SP1-2 est construite et fonctionne à l'identique de SP1-1. La différence principale se situe au niveau de la partie Aspiration. Contrairement à la SP1-1, dans SP1-2, l'aspiration se fait à partir d'une bâche d'un volume de 200m^3 assurant une autonomie et une souplesse dans le fonctionnement des groupes de pompage de la SP1-2. Un débitmètre électromagnétique DN1000 pour contrôler les débits à l'entrée de la bâche d'aspiration, un second débitmètre DN1000 placé sur la conduite de refoulement indique le volume refoulé vers le réservoir RMC1-1. Un ballon anti bélier de 35 m^3 connecté sur la conduite de refoulement en avant du regard du débitmètre



Figure III. 20 : Station de pompage SP1-2 [Source : @GUEROUI Dhikra_16/03/2025]



Figure III. 21 : Réservoir anti bélier de la SP1-2 [Source : @GUEROUI Dhikra_16/03/2025]

III.15 Diagnostic hydraulique de pompage :

Nous proposons de faire l'étude de pompage par le logiciel KSB.

III.15.1 Etude de pompage:

La SP1-2 refoule un débit de 2.14 m^3/s, pour une HMT de 144.7 mCE, sur une longueur de 9 153 m.

On note le nombre, le type et les caractéristiques des pompes dans le tableau suivant (Tableau III.10) :

Tableau III. 10 : Caractéristique des pompes en fonction de leur nombre

N°	Q appelé (m^3/s)	HMT Appelé (mCE)	Type de pompe	ŋ %	HMT (mCE)	Vitesse (tr/min)	Nbr d'étage	P_{abs} (KW)	$(NPSH)_r$
3	0.713	144.7	RPH 350-710	83.69	144.69	1492	1	1206.40	9.12
4	**0.535**	**144.7**	**Omega shanghai 300-700**	**84.84**	**144.73**	**1492**	**1**	**893.51**	**5.77**
5	0.428	144.7	Omega shanghai 300-700	84.16	144.71	1492	1	720.59	4.38

Avec :

- n : nombre de pompe ;
- Q appelé : le débit de la pompe ;
- HMT : hauteur manométrique totale de la pompe ;
- η : rendement de la pompe ;
- Pabs : la puissance absorbée par la pompe ;

A partir du tableau on déduit que la variante de quatre (04) pompes est la meilleure du point de vue rendement, puissance absorbée et nombre de pompes en parallèle. On opte pour un nombre de pompe de quatre (04) en plus d'une pompe en secours. Ces cinq (05) pompes sont identiques de type Omega shanghai 300-700

III.15.2 Courbe caractéristique des pompes :

Les courbes caractéristiques de la pompe : [H – Q], [Pabs– Q], [η – Q], [(NPSH)r – Q] sont retirées à partir de logiciel de KSB et sont représentées par la figure (Figure III.22).

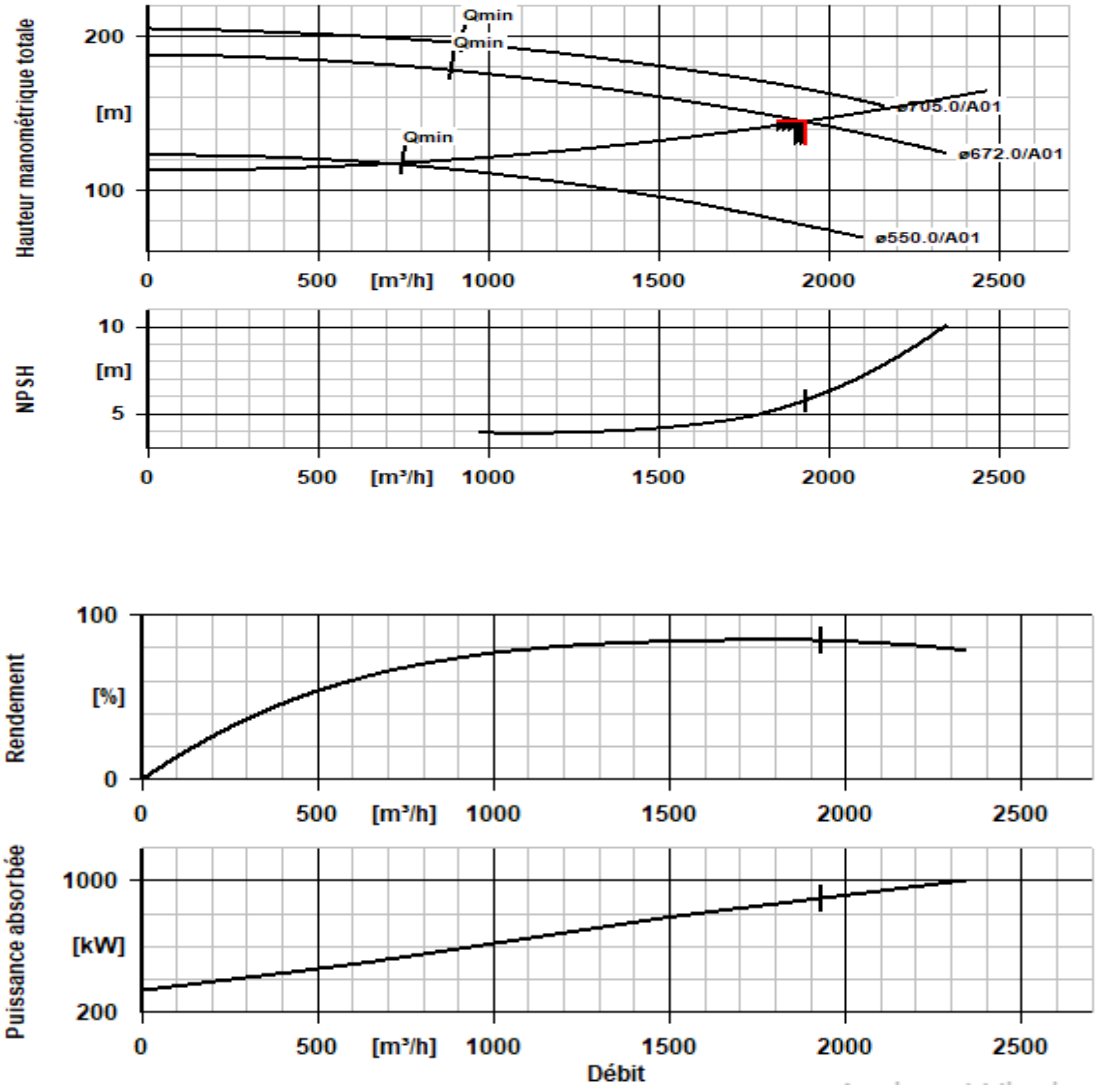


Figure III. 22 : Les courbes caractéristiques de la pompe

III.15.3 Point de fonctionnement des pompes :

➢ Courbe caractéristique de la conduite :

Tableau III. 11 : Courbe caractéristique de la conduite de refoulement (SP1-2_RMC1-1)

N°	Q (l/s)	4Q (l/s)	Hg (mCE)	L_{ref}	D_{ec} (m)	λ	Δh_p (mCE)	Δh_t (mCE)	Hc (mCE)
1	0	0	113	9153	1.2	0.0207	0	0	113
2	100	400	113	9153	1.2	0.0207	1.006	1.1066	114.11
3	200	800	113	9153	1.2	0.0207	4.026	4.4286	117.43
4	300	1200	113	9153	1.2	0.0207	9.059	9.9649	122.96
5	400	1600	113	9153	1.2	0.0207	16.106	17.7166	130.72
6	500	2000	113	9153	1.2	0.0207	25.165	27.6815	140.68
7	600	2400	113	9153	1.2	0.0207	36.238	39.8618	152.86
8	700	2800	113	9153	1.2	0.0207	49.324	54.2564	167.26
9	800	3200	113	9153	1.2	0.0207	64.424	70.8664	183.87
10	900	3600	113	9153	1.2	0.0207	81.536	89.6896	202.69

La courbe caractéristique de la conduite de refoulement et le point de fonctionnement de la pompe sont donnés sur la figure (Figure III.23).

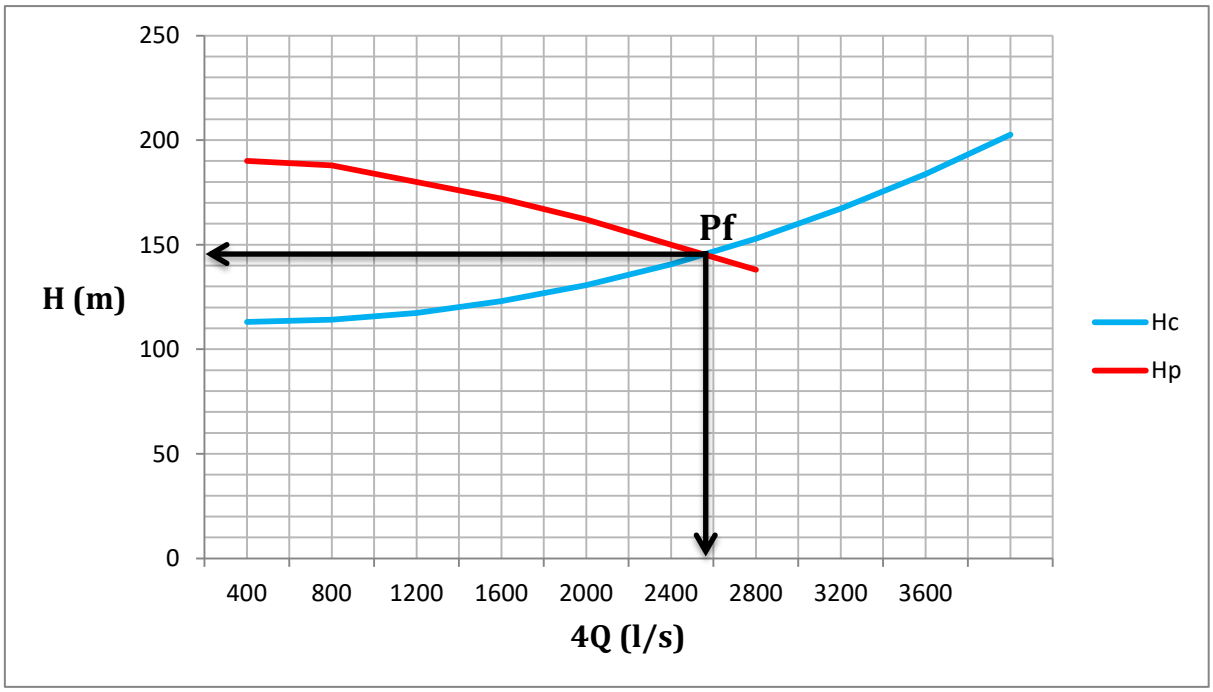


Figure III. 23 : Point de fonctionnement des pompes choisies

➢ **Interprétation :**

Le point de fonctionnement de la pompe est de coordonnées : (527.5l/s, 146 mCE), alors que le point demandé est de coordonnées (535 l/s, 144.7 mCE), ainsi la pompe fonctionne dans des bonnes conditions

III.15.4 Etude de la cavitation :

➢ **Application :**

- La charge nette d'aspiration requise : (NPSH)r = 5.77 mCE.
- La pression atmosphérique : Pat = 10,33 – 0,00139 × 1078 ⇒ Pat = 8.83 mCE.
- La tension de vapeur d'eau à une température T° = 20°C : Tv = 0,24 mCE.
- Le diamètre de la conduite d'aspiration : Da = 1,2 × da

On fixe Va = 1.06m/s ;

alors : $Da = \sqrt{\frac{4*0.535}{\pi*1.06}} = 0.8\ m = 800\ mm$

Da = 800 mm > da = 600 mm

Donc c'est vérifié.

La vitesse d'aspiration : $Va = \frac{4\times0.535}{\pi\times0.8^2}$ = 1.06 m/s ; (vitesse admissible à l'aspiration)

- $\Delta h_p^{lin} = \frac{8 \times 0.02296 \times 110 \times 0.535^2}{9.81 \times \pi 2 \times 0.8^5}$ = 0.182 mCE.
- Δh_{asp} = 1,1 × 0.182 = 0.2 mCE.
- h_{asp}^{adm}= 5.77 + 0.3 - 8.83 + 0.24 + $\frac{1.06^2}{2\times9.81}$ + 0.2 = -2.26 mCE.

On opte pour une installation en aspiration.

$$h_{asp}^{adm} = P_{at} - (\mathrm{NPSH})\mathrm{r} - \mathrm{r} - T_v - \frac{Va^2}{2\times g} - \Delta H_{asp}$$

- h_{asp}^{adm}= 8.83-5.77-0.24-0.3-$\frac{1.06^2}{2\times9.81}$-0.2 = 2.26 mCE.
- Condition de non cavitation est vérifiée

➢ **Remarque :**

Après vérification des paramètres de fonctionnement et la vérification de l'inégalité, il a été confirmé que la pompe fonctionne sans cavitation.

III.15.5 Calage de la pompe :

➢ **Application :**

- Le niveau minimum du plan d'aspiration :
  ∇_{min} = 1078 + 0.6 = 1078.6 m.
- La côte de l'axe de la pompe

∇_{axe} = 1078.6-2.26+0.1 = 1076.44 m

III.15 Dimensionnement de réservoir d'air par la méthode de PUETCH et MEUNIER:

1) Calcul de la célérité d'onde dans les conduites : On calculera la célérité d'onde à l'aide de la formule d'Allievi :

Avec :

$$C = \frac{\sqrt{\frac{K}{\rho}}}{\sqrt{1+\frac{K\times D}{E\times e}}} = \frac{\sqrt{\frac{2{,}07\,.10^9}{1000}}}{\sqrt{1+\frac{2{,}07\,.10^9\times 1200}{1\times 10^{11}\times 0.0144}}} = 871.57 \text{ m/s}$$

Le tableau suivant présente les résultats des calculs effectués pour la station de pompage SP1-2:

Tableau III. 12 : Calcul de la célérité de l'onde et de la valeur du coup de bélier

Hg (mCE)	C (m/s)	V_0 (m/s)	b (mCE)	$H_{surpression}$ (mCE)	$H_{dépression}$ (mCE)
124	871.57	1.06	94.18	207.18	18.82

2) Dimensionnement des réservoirs d'air :

- **Application :**

On a :

HMT = 144.7 mCE ; Hg = 113 mCE.

Donc : H_0= 113 +10 = 123 mCE ;

H_{abs} = 144.7 +10 = 154.7 mCE ;

K= $\frac{154.7-123}{123}$ = 0.26 ;

A= $\frac{871.57\times 1.06}{9.81\times 123}$ = 0.77

Nous devrions considérer la famille de courbe B pour A= 0.77 et K= 0,26 mais comme nous ne disposons pas de ces abaques, nous allons superposer le profil en long « absolu » aux familles de courbes (K=0,4 et A=1). Nous allons compléter le tableau du profil en long afin de déterminer le volume de réservoir.

Tableau III. 13 : Tableau du profil en long absolu pour la station de pompage SP1-2 :

Points	Z_0	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5	Z_6
Cotes (m)	1078	1096.83	1115.66	1134.49	1153.32	1172.15	1191
Longueur (m)	0	1585.5	3171	4756.5	6342	7927.5	9513

ΔZ (m)	0	18.83	37.66	56.49	75.32	94.15	113
$\frac{\Delta Z + 10}{Hg + 10}$	0.08	0.23	0.39	0.54	0.69	0.85	1
$\frac{X}{L}$	0	0.16	0.33	0.5	0.67	0.83	1

Après la superposition avec l'abaque en annexe (III.3), nous optons une valeur moyenne de B = 0.4, Cette valeur nous permet de calculer le volume d'air comprimé U_0.

$$U_0 = \frac{V_0^2 \ L \ S}{g \ H_{abs} \ B} = \frac{1.06^2 \times 9513 \times 1.13}{9.81 \times 154.7 \times 0.4} = 19.90 \text{ m}^3$$

$\frac{P_{min}}{H_0} = 0.55 \rightarrow P_{min} = 123 \times 0.55 = 99$ mCE.

$$U_{max} = \sqrt[1.2]{\frac{H_{abs} \ U_0^{1.2}}{P_{min}}} = \sqrt[1.2]{\frac{154.7 \times 19.90^{1.2}}{99}} = 28.86 \text{ m}^3$$

Le volume de réservoir sera majoré de 30 % ; U_{max} = 35 m^3.

- **Remarque :**

Suite à nos calculs, la capacité requise pour le réservoir anti-bélier égale à celle de réservoir actuellement en place (01 réservoir anti-bélier existant de volume 35 m^3).

III.16 Diagnostic physique de pompage :

III.16.1 Constats :

- Les murs du local de pompage montrent des traces d'humidité, et des écaillages de peinture.
- Des vibrations excessives sont ressenties au toucher sur le corps de pompe.
- Présence de fuites au niveau des plans de joint des brides de la pompe, les boulons de bride sont corrodés.
- Des équipements hors service.

L'éclairage général de la station est faible.

III.17 Recommandations :

III.17.1 Station de pompage d'Ain Kercha :

- Identifier l'origine exacte de chaque fuite (joints de bride, raccords filetés, presse-étoupes de vannes, garniture mécanique de pompe) et remplacer les joints usés, ou effectuer des réparations.
- Procéder à un nettoyage complet et en profondeur des zones affectées, en éliminant le liquide stagnant, les dépôts verdâtres et les débris. Utiliser des absorbants si nécessaire.

- Acheminer tous les câbles de manière ordonnée et sécurisée. Utiliser des chemins de câbles, des goulottes, des conduits ou des colliers de serrage pour les fixer le long des murs ou des structures.

III.17.2 Station de pompage SP1-1 :

- Il faut nettoyer toute la peinture qui s'écaille et la rouille. Ensuite, repeignez ces zones avec une bonne peinture industrielle.
- Changez le vieux joint par un neuf et serrez bien les boulons. Pour les raccords vissés, utilisez du ruban d'étanchéité ou de la pâte et serrez-les correctement. Ne laissez pas une petite fuite devenir un gros problème.
- Une zone chaude sur la pompe indique souvent qu'elle travaille trop fort ou qu'elle manque d'eau. Vérifiez qu'il y a assez de pression à l'entrée de la pompe. Assurez-vous que les filtres ne sont pas bouchés.
- Installez un petit toit ou un pare-soleil au-dessus de l'armoire pour bloquer le soleil. Nettoyez souvent les ventilateurs et les filtres de l'armoire pour que l'air circule bien
- Installez un (01) réservoir anti-bélier supplémentaire de volume 35 m^3.

III.17.3 Station de pompage SP1-2 :

- Trouvez et réparez la source de l'humidité (fuite de tuyau, infiltration, manque d'aération). Laissez les murs sécher complètement, puis grattez la vieille peinture et nettoyez. Ensuite, repeignez avec une peinture résistante à l'humidité
- Remplacez tous les joints de bride par des neufs. Il est essentiel de changer aussi tous les boulons rouillés par des neufs.
- Nettoyer les surfaces des brides avant de tout remonter et de serrer les boulons correctement et progressivement.
- Améliorer l'éclairage du bâtiment de pompage

Conclusion :

L'analyse des stations de pompage d'Ain Kercha, SP1-1 et SP1-2 révèle une série de problèmes récurrents, allant des fuites et de la corrosion des équipements à un manque notable de propreté et d'organisation impactant la sécurité du personnel. Un éclairage insuffisant et des armoires électriques soumises à la surchauffe, sans oublier les vibrations excessives des pompes et la nécessité d'installer des réservoirs anti-béliers pour protéger le réseau. Ces constats soulignent un besoin urgent de mettre en œuvre des actions correctives et préventives ciblées, allant de la réparation des fuites et de la protection des surfaces à l'amélioration de l'environnement de travail et à la sécurisation des infrastructures contre les coups de bélier, afin d'assurer la fiabilité, la sécurité et la performance à long terme.

Chapitre IV : Diagnostic des conduites de refoulement

Introduction :

Le barrage de Koudiat Medouar situé dans la wilaya de BATNA d'une capacité de 62.5 millions de m³ , est alimenté à partir de la station de pompage d'Ain Kercha par le biais d'une conduite mixte et jumelée 2× DN 2000 d'une longueur totale de 2×57.700 Km, une partie en Acier, et l'autre en BPAT.

Lors de l'exploitation, une série de casse à répétition est signalée, particulièrement au niveau amont de la conduite DN 2000 BPAT.

Le but de ce chapitre est d'identifier les causes de ces anomalies et solutionner ce problème.

IV.1 Description de transfert :

Le transfert vers le barrage de Koudiat Medouar est assuré à partir de la station de pompage Ain Kercha qui comprend deux lignes de refoulement, celui d'Ourkis et celui de Koudait Medouar. La ligne de refoulement Ourkis n'est pas concernée par le présent diagnostic.

Le schéma hydraulique simplifié du transfert de Koudiat medouar est composé de ce qui suit :

- Réservoir Ouled Hamla de capacité 273 000 m^3, situé à la cote max 850.50 m
- Ligne d'aspiration par une conduite en acier 2×DN 2200 reliant le réservoir Ouled Hamla et la station de pompage d'Ain Kercha.
- Station de pompage d'Ain Kercha dont le radier est située à la cote 780.00 m, comprenant deux complexes de refoulement, un vers le barrage d'Ourkis, l'autre vers le barrage de Koudait Medouar, donc la station d'Ain Kercha fonctionne en Booster.
- Ligne de refoulement par une conduite 2×DN 2000 reliant la station de pompage d'Ain Kercha et le barrage de Koudiat Medouar d'une capacité de 62.5 millions de m³, le point d'arrivée se situe vers le haut à la cote 1 006.9 m.
- Une ligne de refoulement 2×DN 2000 d'une longueur de 54.700 Km débouche sur le barrage de Koudiat Medouar. Dont 18.00 Km en acier épaisseur 16mm, revêtu PE et intérieur époxy alimentaire, et 36.700 Km en BPAT.
- Les vidanges sur le long du transfert sont en DN 500 de type indirect, et ce en raison de la topographie du site.
- Les ventouses se distinguent par deux types :
    - Sur la conduite en Acier DN 2000, soit du PK0.00 (aval de la station de pompage d'Ain Kercha) au PK 18.00 est en DN 150 sans clapets d'entrées d'air.
    - Sur la conduite en BPAT DN 2000, soit du PK 18.00 au PK 54.700 est en DN 200 avec clapets d'entrées d'air.

- Les chambres de vannes sont équipées de sectionnement DN 1800 manuelle avec réducteur et By-pass DN 300.
- La ligne EST est mise en exploitation en 2014, alors que la ligne OUEST n'est mise en exploitation qu'à partir de 2017.

(Source : Agence National des Barrages et Transferts)

IV.2 Diagnostic hydraulique du transfert :

Nous allons effectuer un modèle numérique du réseau à l'aide de logiciels Epanet, on a saisi les données nécessaires à la modélisation (longueurs, diamètres, rugosités des conduites, les cotes, et les demandes ...) pour évaluer le comportement hydraulique du transfert

Les résultats de la simulation sont comme suit :

Tableau IV. 1 : Pressions dans les nœuds de la conduite EST (Annexe (IV.1))

Nœuds	Matériaux	Elévation	Perte de charge	Pression
		m	mCE	mCE
Junc n1	Acier	785.34	1065.03	279.69
Junc n2	Acier	796.08	1064.46	268.38
Junc n3	Acier	796.48	1064.33	267.85
Junc n4	Acier	797.87	1064.22	266.35
Junc n5	Acier	803.53	1063.66	260.13
Junc n70	BPAT	838.42	1048.49	210.07
Junc n71	BPAT	844.56	1048.34	203.78
Junc n72	BPAT	853.29	1047.89	194.60
Junc n73	BPAT	865.73	1047.59	181.86
Junc n74	BPAT	864.45	1047.51	183.06

Ce tableau (Tableau IV.2) représente les débits et les vitesses dans la conduite EST :

Tableau IV. 2 : Débits et vitesses dans la conduite EST (Annexe (IV.2))

Tronçons	Matériaux	Longueur	Diamètre	Rugosité	Débit	Vitesse
		m	mm	mm	l/s	m/s
Pipe p1	Acier	664	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p2	Acier	145	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p3	Acier	123	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p4	Acier	647	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p5	Acier	40	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p68	BPAT	497	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p69	BPAT	146	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p70	BPAT	446	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p71	BPAT	294	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p72	BPAT	74	2000	0.9	4881.00	1.55

Ce tableau (Tableau IV.3) représente les pressions dans les nœuds de la conduite OUEST :

Tableau IV. 3 : Pressions dans les nœuds de la conduite OUEST (Annexe (IV.3))

Nœuds	Matériaux	Elévation	Perte de charge	Pression
		m	mCE	mCE
Junc n 1	Acier	785.34	1 068.95	283.61
Junc n 2	Acier	786.92	1 068.89	281.97
Junc n 3	Acier	796.12	1 068.37	272.25
Junc n 4	Acier	796.43	1 068.25	271.82
Junc n 5	Acier	798.25	1 068.10	269.85
Junc n 53	BPAT	826.77	1 052.98	226.21
Junc n 54	BPAT	839.46	1 052.47	213.01
Junc n 55	BPAT	845.65	1 052.32	206.67
Junc n 56	BPAT	867.42	1 051.55	184.13
Junc n 57	BPAT	867.12	1 051.38	184.26

Ce tableau (Tableau IV.4) représente les débits et vitesses dans la conduite OUEST :

Tableau IV. 4 : Débits et vitesses dans la conduite OUEST (Annexe (IV.4))

Tronçons	Matériaux	Longueur	Diamètre	Rugosité	Débit	Vitesse
		m	mm	mm	l/s	m/s
Pipe p 1	Acier	71	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p 2	Acier	599	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p 3	Acier	132	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p 4	Acier	172	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p 5	Acier	384	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p 52	BPAT	500	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 53	BPAT	144	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 54	BPAT	754	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 55	BPAT	171	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 56	BPAT	433	2000	0.9	4881.00	1.55

Une simulation hydraulique sera réalisée pour les conduites d'adduction EST et OUEST afin d'étudier son comportement en fonctionnement.

La figure ci-dessous représente le résultat de la simulation du début lot A conduite EST

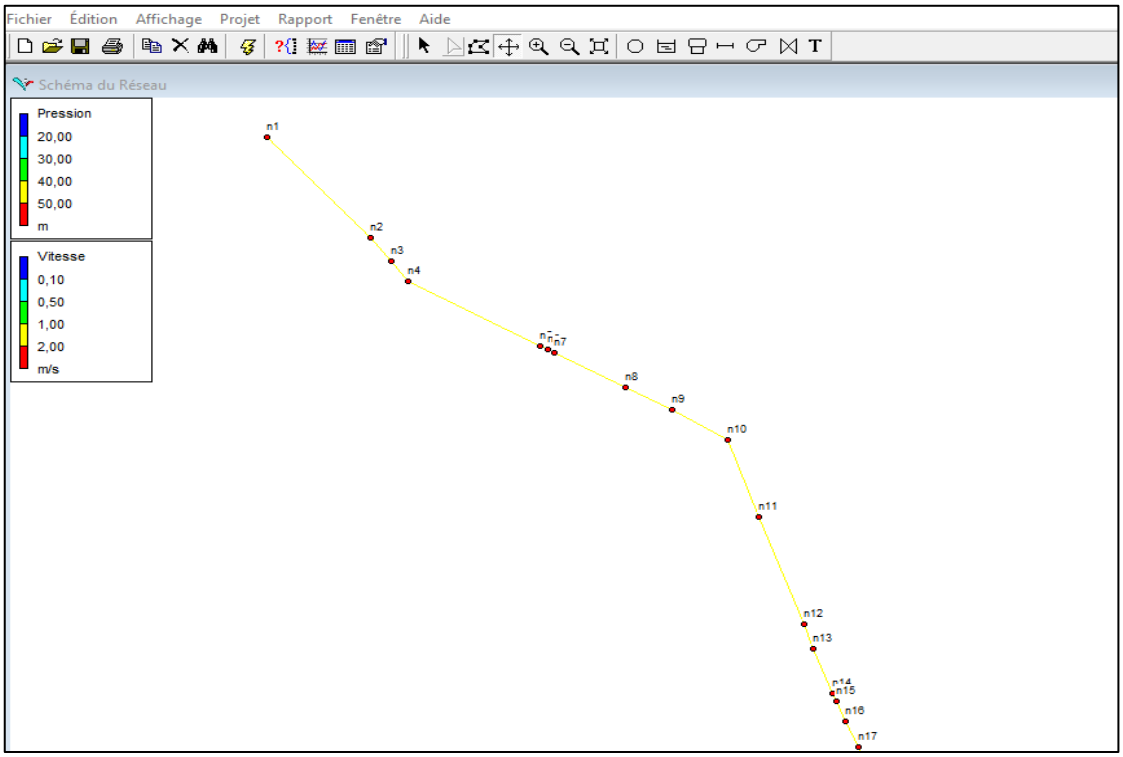


Figure IV. 1 : Simulation début lot A conduite EST

La figure ci-dessous représente le résultat de la simulation du fin lot D conduite OUEST**.**

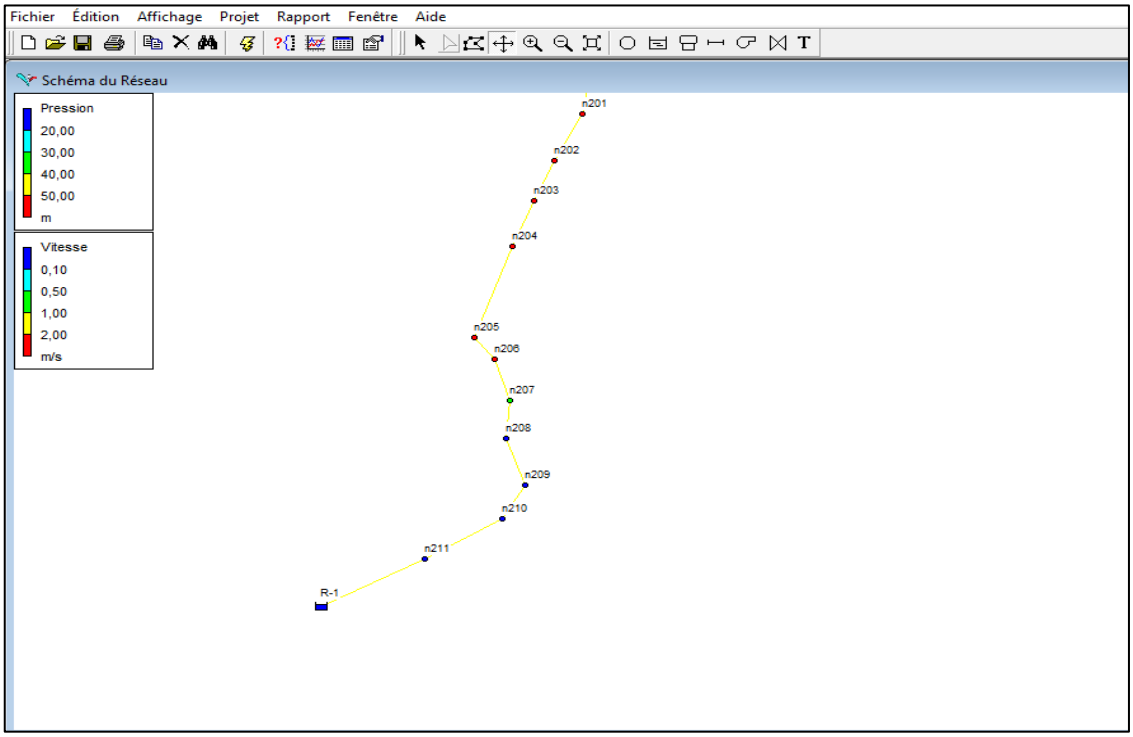


Figure IV. 2 : Simulation fin lot D conduite OUEST

Les figures ci-dessous représentent le profil de pressions de conduites EST et OUEST.

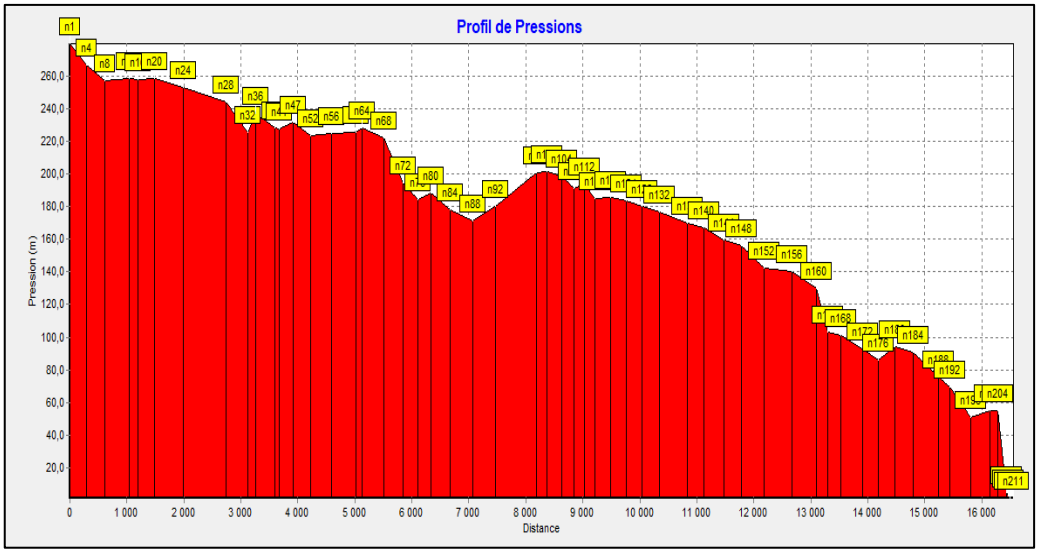


Figure IV.3: Profil de pressions conduites EST

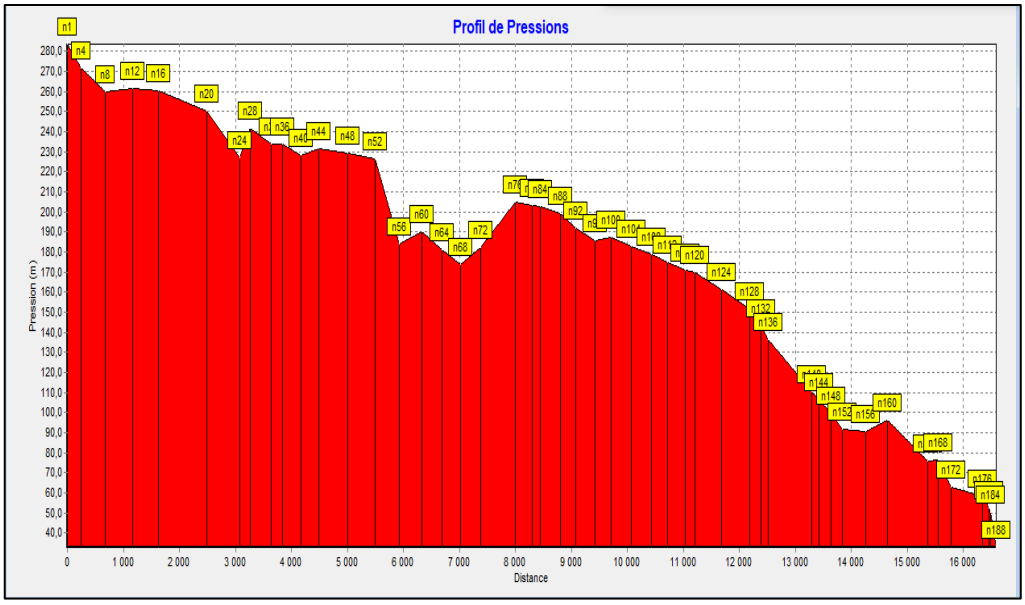


Figure IV.4 : Profil de pressions conduites OUEST

IV.3 Interprétation des résultats de simulation :

Les simulations hydrauliques des conduites Est et Ouest, transférant chacune 4.881 m³/s, montrent que la section en acier (PK 00.00 à PK 18.00) est adéquatement dimensionnée avec des pressions maximales de 279.69 mCE (Est) et 283.61 mCE (Ouest), supportables par la classe PN 40. Cependant, la section en BPAT (PK 18.00 à PK 54+700) présente un problème critique avec des pressions de 222.16 mCE (Est) et 226.21 mCE (Ouest), qui dépassent la capacité de la classe PN 16, nécessitant une révision de son dimensionnement pour éviter des défaillances, tandis que les vitesses d'écoulement de 1.55 m/s sont conformes aux normes.

IV.4 Diagnostic physique du transfert :

Les constatations issues du diagnostic physique des conduites de transfert d'eau sont les suivantes :

Nous avons constaté deux types d'éclatement, longitudinal et transversal, mais uniquement au niveau du BPAT comme il est illustré dans la figure ci-dessous (Figure IV. 5)

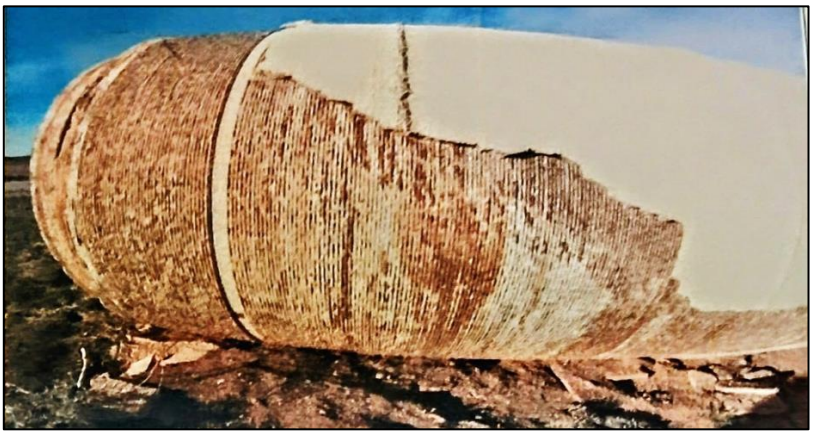


Figure IV. 5 : Un élément en BPAT DN2000 éclaté longitudinalement

(Source : Agence Nationale des Barrages et Transferts_30/04/2023)

La qualité du béton des conduites BPAT DN 2000 endommagées, On observe par contre une corrosion avancée des armatures (Figure IV. 6).



Figure IV. 6 : Corrosion des armatures (Source : @GUEROUI Dhikra_15/04/2025)

La plupart des casses se situe entre le PK 18.00 (point de changement de matériau de conduite DN 2000 de l'acier au BPAT DN 2000) et le PK 28.00, ainsi que le tronçon allant du PK 30.00 au PK 38.00.



Figure IV. 7 : Fuite sur coude Acier DN2000

(Source : Agence Nationale des Barrages et Transferts_30/04/2023)

La trace de salinité sur certaines conduites endommagées est visible et la qualité du sol en certains points est connue pour la présence de sel.

Des fuites sont recensées sur les pièces spéciales entre élément BPAT DN 2000

Le raccordement entre l'acier et BPAT est réalisé directement sans joint isolant

Nous constatons que les vannes de sectionnement entre le PK 18.00 et PK 37.00 ont perdues une partie de leur étanchéité (Figure IV. 8).



Figure IV. 8 : Chambre de vanne DN1800

(Source : Agence Nationale des Barrages et Transferts_30/04/2023)

Certaines vidanges, la boulonnerie est endommagée. De ce fait, le risque de rupture est permanent pouvant occasionner des inondations importantes et inopinées (Figure IV. 9).



Figure IV. 9 : Boulonnerie détériorée (Source : @GUEROUI Dhikra_15/04/2025)

L'accès à certaines pistes est fermé par les riverains, en cas d'urgence, l'intervention sur le réseau est impossible.

Les vannes de sectionnement sont à commandes manuelles. Du fait que le transfert traverse des zones urbaines tel que CHEMORA et BOULHILAT. Le risque d'inondation est à prévoir tenant compte qu'il n'est pas prévu à l'origine des vannes de survitesse.

L'état de fonctionnement de la protection cathodique est défectueux (Figure IV. 10).



Figure IV. 10 : Prise de potentiel endommagée (Source : @GUEROUI Dhikra_15/04/2025)

IV.5 Recommandations :

Dans le but de remédier aux problèmes des casses répétitives recensées sur la conduite de refoulement principale en DN2000, il est vivement recommandé ce qui suit, à savoir :

- Sur la base des résultats de dimensionnement et les résultats de simulation pour le projet de pompage à partir de la station de pompage de AIN KERCHA vers le barrage de KOUDIAT MEDAOUAR, nous proposons de remplacer les conduites en BPAT avec des conduites en Acier, répartie sur sous tronçons de différents PN.

- Gestion et protection contre la salinité par la réalisation d'une analyse géotechnique et chimique détaillée du sol et mettre en œuvre des mesures de protection spécifiques telles que l'enrobage des conduites avec des matériaux inertes ou l'utilisation de revêtements externes anti-corrosion pour prévenir l'agression des sels.

- Mettre en place de manière systématique des joints isolants à toutes les interfaces entre les conduites.
- Prioriser la réparation ou le remplacement des vannes de sectionnement défectueuses entre le PK 18.00 et PK 37.00. En parallèle, engager un plan de modernisation pour remplacer les vannes manuelles par des vannes motorisées ou télécommandées, en particulier dans les tronçons traversant des zones urbaines (CHEMORA, BOULHILAT).
- Installer des vannes de survitesse aux points stratégiques du réseau, notamment en amont des zones urbaines.
- Mettre en œuvre des mesures de sécurité pour protéger la boulonnerie des vidanges contre la détérioration (ex : coffrages sécurisés, boulons spécifiques). Parallèlement, engager des démarches auprès des riverains pour garantir l'accès permanent aux pistes d'intervention, si nécessaire par des accords ou des sensibilisations sur l'importance du réseau.
- La protection cathodique doit être renforcée du fait que certains points de prises de potentiels sont détériorés.

Conclusion :

Pour remédier aux problèmes de casses récurrentes sur la conduite de refoulement principale DN2000, une approche intégrée est essentielle : il est impératif de remplacer les conduites BPAT par de l'acier aux PN appropriés et de mettre en place une protection renforcée contre la salinité via des analyses de sol et des revêtements spécifiques. Parallèlement, l'installation systématique de joints isolants est importante, tout comme la réparation ou le remplacement prioritaire des vannes défectueuses et la modernisation du réseau avec des vannes motorisées ou télécommandées, notamment en zones urbaines. Enfin, l'installation de vannes de survitesse aux points stratégiques, la protection de la boulonnerie des vidanges contre la détérioration, la garantie de l'accès permanent aux pistes d'intervention, et le renforcement de la protection cathodique sont des mesures indispensables pour assurer la fiabilité et la pérennité du système.

Chapitre V : Diagnostic de la station de traitement

Introduction :

Dans le but de garantir une production d'eau potable conforme aux normes Algériennes et d'OMS à partir d'une eau de surface telle que le barrage de Koudiat Medouar, On va décrire, dans ce chapitre la chaine de traitement de la station de traitement de Koudiat Medouar, et faire un diagnostic pour analyser son fonctionnement, identifier les problèmes et proposer des améliorations pour optimiser cette infrastructure essentielle à la région.

V.1 Le choix de l'emplacement de la station de traitement :

Le choix de l'emplacement de la station est une phase préliminaire qui doit respecter un ensemble de spécifications techniques, économiques et environnementales:

- Eviter les sites instables ;
- Eviter les terrains accidentés ;
- Eviter les terrains agricoles et les terrains privés ;
- Accès facile d'énergie électrique ;
- Site proche de l'agglomération ;
- Eviter les zones polluées
- Prendre en considération l'impact de la station sur l'environnement.

V.2 Description de la station de traitement :

La station de traitement d'eau est implantée en aval du barrage de Koudiat Medaouar, sur une superficie de 3,5ha. Cette station peut traiter actuellement 113000 m^3/jour et la capacité va être augmentée à 169 500m^3/jour après extension. Elle a été mise en service en le 24/06/2007.

La chaîne de traitement est composée de :

- Conduite d'arrivée de l'eau brute.
- Contrôle du débit par vanne papillon et mesure,
- Station de pompage
- Aération de l'eau par cascade avec récolte des eaux dans un réservoir.
- Une pré-chloration au moyen d'eau chlorée dans le réservoir sous cascade,
- Une coagulation au sulfate d'alumine
- Éventuellement ajustement du pH par injection de l'acide sulfurique.
- Injection du Permanganate de potassium pour l'oxydation du fer et du manganèse
- Une décantation sur deux lignes comprenant chacune :
    - Une floculation et dosage d'un polymère dans un bassin de mélange rapide,
    - Une clarification dans un décanteur lamellaire,
    - Un épaississement des boues combiné à un dispositif de soutirage des boues en excès et de recirculation des boues

- Une deuxième correction du pH avec le lait de chaux) pour l'amener à l'équilibre calco- carbonique,

- Filtration sur 10 filtres gravitaires à sable.
- Désinfection finale à l'eau chlorée en amont du réservoir d'eau traitée.

(Source : Station de traitement et unité de production Koudait Medouar Timgad-Batna.)

Le schéma de la station de traitement de Koudiat Medouar est présenté dans la figure ci-dessous (Figure V.1).

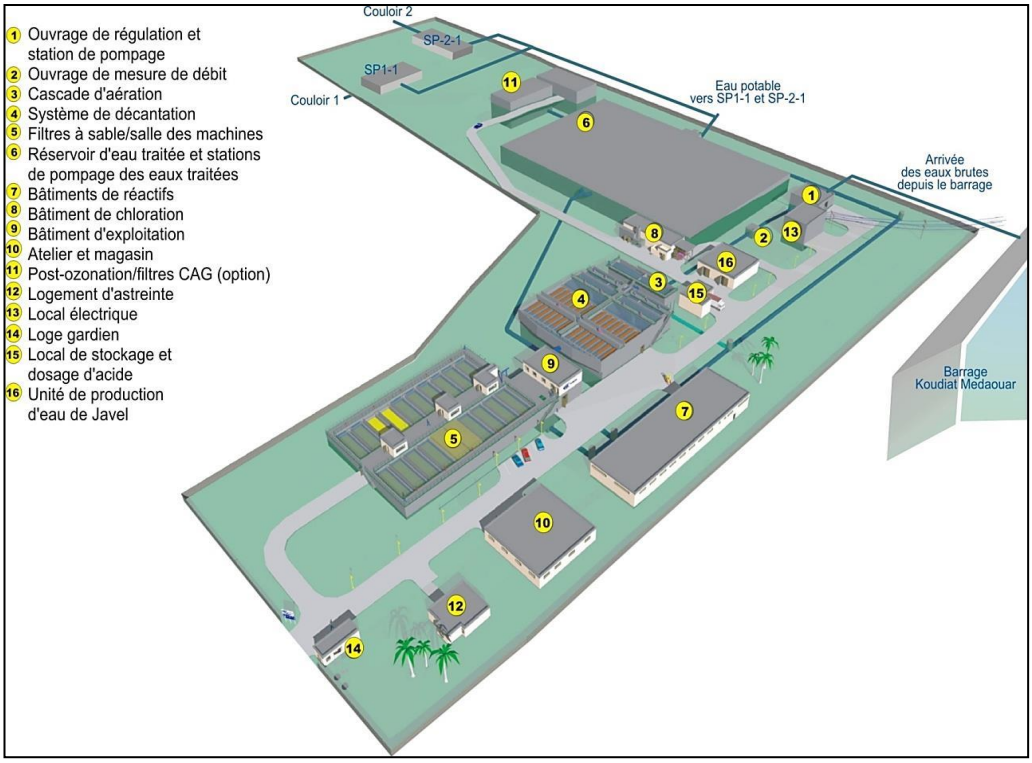


Figure V. 1: Schémas de station de Koudiat Medaouar

(Source : Algérienne Des Eaux-BATNA)

V.3 La chaine de traitement :

V.3.1 Arrivé d'eau brute et station de pompage :

Les eaux brutes de la station de traitement proviennent du barrage, dont le niveau oscille entre 966,50 et 997 mètres.

L'approvisionnement se fait par gravité quand le niveau est haut, puis par pompage lorsque le niveau baisse, ce point de bascule dépendant du débit nécessaire à la station.



Figure V. 2: Station de pompage

(Source : Algérienne Des Eaux-BATNA)

V.3.2 Cascade d'aération :

Après un ouvrage de régulation, l'eau brute passe dans une chambre pour une répartition équitable vers deux lignes d'aération par cascade. Ces cascades, composées d'un canal central avec quatre chutes de 0,3 mètre sur 48 mètres linéaires chacune, visent à enrichir l'eau en oxygène (environ 70% de saturation), à éliminer odeurs et saveurs indésirables, et à réduire le dioxyde de carbone, le sulfure d'hydrogène. Cette aération est importante, surtout si le niveau de prise d'eau du barrage est bas.

Le réservoir situé sous chaque cascade a une double fonction : il répartit l'eau vers les décanteurs et fait office de chambre de mélange pour l'introduction des produits chimiques.



Figure V. 3 : Cascade d'aération

(Source : Algérienne Des Eaux-BATNA)

V.3.3 Ouvrage de décantation :

La fonction principale de l'ouvrage de décantation et de réduire la teneur en MES au niveau suffisamment bas pour permettre un traitement économique par filtration.

L'ouvrage se décompose en :

- Bassin de mélange/coagulation
- Floculation
- Décantation lamellaire/clarification
- Canal de by-pass
- Evacuation et recirculation des boues

Après la cascade et l'injection des réactifs, l'eau brute, préalablement répartie entre les deux réservoirs de la cascade, es introduite directement dans les chambres de mélange de chaque ligne de clarification.



Figure V. 4 : Système de coagulation/floculation et décantation

(Source : Algérienne Des Eaux-BATNA)

V.3.4 Filtration :

Après la coagulation, floculation et décantation, l'eau atteint une turbidité d'environ 10 NTU. La filtration sur sable est alors utilisée comme étape finale pour produire une eau claire, conforme aux normes de potabilité en matière de turbidité, avant la désinfection.

Pour maintenir l'efficacité des filtres, les matières en suspension (MES) accumulées sont retirées par rétro lavage. Cette opération est nécessaire lorsque l'encrassement du lit filtrant augmente la perte de charge, empêchant le système de réguler le niveau de fonctionnement, ou en cas de passages préférentiels d'eau (crevaison du filtre). Le rétro lavage comprend trois phases :

- Dé-tassage à l'air seul (1 m/min pendant environ 2 minutes),
- Agitation air et eau (air à 1 m/min et eau à 0.2 m/min pendant environ 2 minutes),
- Puis rinçage à l'eau (0.42 m/min pendant environ 2 minutes).

Ce processus est opéré par des machines dédiées. L'ensemble de filtration se compose d'un canal central en béton distribuant l'eau décantée vers une batterie de dix filtres.



Figure V. 5 : Pompes de lavage des filtres (rétro lavage)

(Source : Algérienne Des Eaux-BATNA)

V.3.5 Salle des machines :

Les lavages des filtres mettant à contribution un ensemble de machines pour la production d'air et l'eau de lavage. Ces machines sont installées dans une salle.
Le bâtiment assure également une fonction de stockage de la réserve d'eau filtrée nécessaire aux retro lavage. Bien que le système d'eau sale de lavage soit déporté coté entrée des filtres, nous lui associons aussi la fonction de stockage des eaux sales de lavage et leur système de réinjection dans l'ouvrage de répartition en tête de la station.



Figure V. 6 : Salle des machines

(Source : Algérienne Des Eaux-BATNA)

V.3.6 Réservoir eau traitée :

Après le lavage des filtres, l'eau traitée s'écoule dans un réservoir divisé en deux compartiments (chacun de 18 963 m³). Cette configuration assure un temps de contact minimum de 30 minutes avec le chlore pour la désinfection. La post-chloration est injectée à l'entrée du réservoir pour compléter la pré-chloration, et un second point d'injection est situé à la sortie pour maintenir un niveau de chlore constant dans le réseau de distribution.



Figure V. 7 : Réservoir d'eau traitée

(Source : Algérienne Des Eaux-BATNA)

V.3.7 Chloration :

Le chlore, puissant oxydant, est utilisé pour la pré-chloration (destruction d'organismes, propreté des installations) et la post-chloration (désinfection finale de l'eau filtrée pour la potabilité). Son effet rémanent est limité, nécessitant parfois une désinfection en aval. Le dosage doit être suffisant mais non excessif (5 mg/l en pré-chloration, 2 mg/l en post-chloration) pour éviter les effets indésirables et maîtriser les coûts. Un système de sécurité est intégré pour gérer les fuites de ce gaz dangereux.



Figure V. 8 : Bâtiment de chloration

(Source : Algérienne Des Eaux-BATNA)

V.3.8 Dosage de l'eau de javel :

Si le système principal de chloration utilisant le chlore gazeux tombe en panne, le recours à l'unité de dosage d'eau de javel (hypochlorite de sodium) devient indispensable pour maintenir la désinfection de l'eau.



Figure V. 9 : Unité de production de l'eau de javel

(Source : Algérienne Des Eaux-BATNA)

V.3.9 Dosage de sulfate d'alumine :

Le sulfate d'alumine est utilisé dans l'eau brute afin d'initier la formation des flocs ayant de bonnes caractéristiques de décantation/clarification. Le sulfate d'alumine est injecté à l'entrée de la tuyauterie du réservoir de la cascade d'aération.



Figure V. 10 : Injection du sulfate d'alumine

(Source : Algérienne Des Eaux-BATNA)

V.3.10 Dosage de lait de chaux :

Son rôle est d'optimiser l'efficacité du sulfate d'alumine en maintenant un pH idéal, ce qui évite que l'eau ne devienne trop agressive ou incrustante. Préparée à une concentration maximale

d'environ 6 g/L pour éviter les dépôts ou une couleur blanchâtre, cette solution de chaux est ensuite ajoutée pour légèrement augmenter le pH de l'eau, lui conférant un caractère d'une eau entartrant.



Figure V. 11 : Injection de lait de chaux

(Source : Algérienne Des Eaux-BATNA)

V.3.11 Dosage de permanganate de potassium :

Les eaux profondes de barrage, relativement pauvre en oxygène, peuvent contenir du fer et du manganèse, la présence de ces substances dans l'eau est à éviter pour plusieurs raisons ; donnent une saveur métallique à l'eau, de plus une détérioration du caractère organoleptique de l'eau sans parler des risques de santé de ce fait une déferrisation et démanganisassions par oxydation s'avèrent indispensables.



Figure V. 12 : Dosage de permanganate de potassium

(Source : Algérienne Des Eaux-BATNA)

V.3.12 Dosage de polymère :

Le polymère est injecté dans la troisième chambre de mélange, juste avant la floculation, pour agglomérer les particules colloïdales et celles issues de la recirculation des boues, augmentant ainsi la taille des flocs et réduisant la turbidité. Le fer bivalent (Fe^{2+}) est éliminé par

aération intensive, qui l'oxyde en fer trivalent (Fe^{3+}), lequel précipite sous forme de $Fe(OH)_3$. L'élimination du manganèse (Mn^{2+}), plus difficile, s'effectue par oxydation au permanganate de potassium ($KMnO_4$), injecté à l'entrée de la cascade d'aération, qui transforme le manganèse bivalent en dioxyde de manganèse insoluble (MnO_2).



Figure V. 13 : Dosage de polymère

(Source : Algérienne Des Eaux-BATNA)

V.3.13 Dosage d'acide sulfurique :

L'acide sulfurique est injecté à l'entrée de la cascade d'aération pour abaisser la valeur du pH de l'eau brute. Le but est d'obtenir un pH d'optimisation pour l'effet du sulfate d'alumine sulfate en coagulation. De même il abaisse ce ph celui-ci, s'il est trop élevé dans la sortie de la station.



Figure V. 14 : Local de stockage et de dosage d'acide

(Source : Algérienne Des Eaux-BATNA)

V.3.14 Système de neutralisation des réactifs :

Un système de neutralisation est en place pour traiter les eaux brutes, acides ou chlorées issues des différents bâtiments. Ces eaux, collectées par gravité ou pompage, sont dirigées vers

un réservoir où leur pH est ajusté entre 6.5 et 8.5 par l'injection discontinue de lait de chaux (si pH trop bas) ou d'acide sulfurique (si pH trop haut). Le processus implique une recirculation pour homogénéisation et un contrôle strict avant l'évacuation des eaux neutralisées.



Figure V. 15 : Bâtiment des réactifs

(Source : Algérienne Des eaux-BATNA)

V.4 Les caractéristiques moyennes de l'eau traitée :

Les analyses réalisées sur le mélange des eaux des barrages de Benni Haroun et Koudiat Medouar indiquent une bonne qualité des eaux traitées, les tableaux suivants représentent les résultats de ces analyses.

Les résultats des analyses des eaux traitées mentionnés dans le tableau (Tableau V.1)

Tableau V. 1 : Résultats des analyses des eaux traitées:

Analyse	PH	Cond µs/cm	Turbidité NTU	Température °C	O_2 Dissous mg/l	Chlore resid mg/l
	ET	ET	ET	ET	ET	ET
Prélèvement à 09H	8,03	1041	0,36	7,26	7,4	1,09
Prélèvement à 15H	7,95	1042	0,35	7,98	7,42	1,03
Normes OMS (ET)	6,5-8,5	2800	5	25	8	/

(Source : Algérienne Des Eaux-BATNA)

Les résultats des analyses des paramètres de pollution mentionnés dans le tableau (Tableau V.2)

Tableau V. 2 : Résultats des analyses des paramètres de pollution des eaux traitées:

Analyses	Unité	Journée du 02/02/2025	Journée du 07/02/2025	Norme OMS (ET)
		ET	ET	
Matière organique	(mg/l)	1,28	0,8	3
Nitrites NO_2	(mg/l)	ND	ND	0,1
Ortho-Phosphate PO_4	(mg/l)	ND	ND	0,5
Nitrates NO_3	(mg/l)	0,48	0,17	50
Ammonium NH_4	(mg/l)	ND	ND	0,5

(Source : Algérienne Des Eaux-BATNA)

Les résultats des analyses des paramètres bactériologiques mentionnés dans le tableau (Tableau V.3)

Tableau V. 3 : Résultats d'analyses des paramètres bactériologiques des eaux traitées:

Analyses	Unité	Journée du 02/02/2025	Journée du 07/02/2025	Norme OMS (ET)
		ET	ET	
Recherche des germes totaux à 37°C	gm/1 ml	Abs	Abs	10
Recherche des coliformes fécaux	gm/100 ml	Abs	Abs	0
Recherche des streptocoques fécaux	gm/100 ml	Abs	Abs	0
Recherche des coliformes totaux à 37°C	gm/100 ml	3	10	0
Recherché et dénombrement du clostridium sulfito-réducteur	gm/100 ml	Abs	Abs	0

(Source : Algérienne Des Eaux-BATNA)

Les résultats des analyses des paramètres de minéralisation mentionnés dans le tableau (Tableau V.4)

Tableau V. 4 : Résultats d'analyse des paramètres de minéralisation globale des eaux traitées:

Analyses	Unité	Journée du 07/02/2025	Norme OMS (ET)
		ET	
Calcium Ca^{2+}	mg/l	96,99	200
Magnésium Mg^{2+}	mg/l	28,67	150
Sodium Na^{+}	mg/l	/	200
Potassium K^{+}	mg/l	/	20
Chlorures Cl^{-}	mg/l	67,45	500
Sulfates SO_4^{2-}	mg/l	125,02	400
Carbonate CO_3^{-}	mg/l	/	/
Dureté total TH	°F	36	50
Titre alcalimétrique complet TA°F		10	50
Titre alcalimétrique simple TA °F		0	/

(Source : Algérienne Des Eaux-BATNA)

Les résultats des analyses des paramètres indésirables mentionnés dans le tableau (Tableau V.5)

Tableau V. 5 : Résultats d'analyse des paramètres indésirables des eaux traitées:

Analyses	Unité	Journée du 01/02/2025	Norme OMS (ET)
		ET	
FER	mg/l	0,02	0,3
Aluminium	mg/l	0,002	0,2
Manganèse	mg/l	ND	0,5

(Source : Algérienne Des Eaux-BATNA)

V.5 Diagnostic physique de la station de traitement :

- Le phénomène de réapparition de la couleur jaune pendant les périodes chaudes sur toutes la chaine du traitement.
- Saveur et odeur désagréables liés à l'accroissement intense d'algues.
- Colmatage des filtres par l'accroissement d'algues ayant un pouvoir colmatant en printemps.



Figure V. 16 : Colmatage des filtres par l'accroissement d'algues (Source : @GUEROUI Dhikra 23/03/2025)

- Accroissement d'algue flottante durant les mois (février, mars, avril et mai) des algues flottantes qui empêchent le processus de la décantation sur la chaine de traitement.
- Présence des petits poissons retenues au niveau des filtres à sable en certaine période ; car la station ne possède pas un moyen de rétention en amont.
- Au niveau du bâtiment unité d'eau de javel des fuites au niveau les conduites d'injection eau de javel, L'un de deux électrolyseurs en panne, et disfonctionnement des adoucisseurs.



Figure V. 17 : Unité d'injection d'eau de javel (Source : @GUEROUI Dhikra 23/03/2025)

- Au niveau du bâtiment d'acide les Pompes doseuses dégradées par l'acide.
- Au niveau du bâtiment décanteur manque d'éclairage sur les bassins du décanteur et dégradation des lames déversoirs.
- Au niveau du bâtiment des filtres Manque de l'éclairage sur les filtres.



Figure V. 18 : Galerie des filtres (Source : @GUEROUI Dhikra 23/03/2025)

- Au niveau du cascade d'aération, une corrosion avancée de la conduite d'arrivée et dégradation des parois du bassin



Figure V. 19 : Cascade d'aération (Source : @GUEROUI Dhikra 23/03/2025)

- Fuites et traces de corrosion visibles et absence d'étanchéité des vannes de régulation.



Figure V. 20 : Vannes de régulation (Source : @GUEROUI Dhikra 23/03/2025)

V.6 Recommandations :

Les problèmes rencontrés à la station de traitement d'eau de Koudiat Medouar se divisent en deux catégories principales : la qualité de l'eau et la gestion des algues, ainsi que la fiabilité des infrastructures et des équipements.

Pour la qualité de l'eau et les algues :

- Contrôle des algues à la source :

  Mettre en place une surveillance rigoureuse des algues et réduire les nutriments en amont, surtout de février à mai.

- Élimination de la couleur, du goût et des odeurs :

  1) Utiliser le charbon actif (en poudre ou en grains) pour absorber les composés indésirables.
  2) Optimiser la pré-oxydation pour traiter les précurseurs de la couleur jaune.

- Protection de l'entrée :

  Installer un système de tamisage robuste à la prise d'eau pour empêcher les poissons et les débris d'atteindre les filtres.

Pour les infrastructures et les équipements :

- Unité d'eau de javel :
  Réparer les fuites des conduites, remplacer les matériaux dégradés, réparer l'électrolyseur et les adoucisseurs.
- Bâtiment de l'acide :
  Remplacer les pompes doseuses par des modèles en matériaux résistants à l'acide.
- Décanteur et filtres :
  Améliorer l'éclairage pour la sécurité et l'efficacité, et remplacer les lames déversoirs dégradées du décanteur.
- Cascade d'aération :
  Réparer la conduite d'arrivée corrodée et les parois dégradées du bassin, en utilisant des matériaux résistants à la corrosion.
- Vannes de régulation :
  Inspecter, réparer ou remplacer toutes les vannes présentant des fuites ou de la corrosion pour assurer une étanchéité et un contrôle adéquats.
- Un programme de maintenance préventive complet pour tous les équipements.
- Des formations continues pour le personnel afin d'assurer une bonne maîtrise des opérations et de la maintenance.

Conclusion :

En résumé, la station de traitement d'eau de Koudiat Medouar est confrontée à des défis importants qui impactent directement la qualité de l'eau fournie et l'efficacité opérationnelle. Les problèmes récurrents de couleur jaune, de goût et d'odeur désagréables, ainsi que le colmatage des filtres par les algues, soulignent la nécessité d'une approche proactive et intégrée pour la gestion des algues et de la matière organique dès la source. L'installation d'un système de tamisage efficace en amont est une priorité immédiate pour protéger les infrastructures.

Parallèlement, la dégradation de plusieurs équipements clés (unité de Javel, pompes d'acide, éclairage, cascade d'aération, vannes) exige une intervention rapide et ciblée. Ces réparations et modernisations ne sont pas seulement essentielles pour la fiabilité de la station, mais aussi pour la sécurité des opérateurs et la continuité du service.

Chapitre VI : Etude d'adduction de couloir 01

Introduction :

Un système de transport d'eau, depuis sa source de captage jusqu'à son point de stockage, en vue de l'approvisionnement d'une population se réalise via une adduction, qui peut être assurée par pompage, gravité ou une combinaison des deux.

Le transfert d'eau du barrage de Koudiat Medouar vers les communes de BATNA, AIN TOUTA, TAZOULT, BARIKA, HAMLA et SEGGANA, visant à satisfaire leurs besoins en eau, requiert le choix de meilleure option de système d'adduction d'un point de vue technico-économique. Dans notre situation spécifique, nous dimensionnons une adduction mixte, combinant l'adduction gravitaire et par refoulement.

VI.1 Type d'adduction :

VI.1.1 Adduction gravitaire :

Désigne un système d'acheminement de fluides, principalement de l'eau (potable ou brute), qui exploite la force de la pesanteur pour assurer son transport d'une source située à une altitude supérieure vers un point de distribution ou de traitement localisé à une altitude inférieure.

VI.1.2 Adduction par refoulement :

Est un système d'acheminement de fluides, généralement de l'eau, dans lequel l'énergie nécessaire au transport est fournie par des pompes. Contrairement à l'adduction gravitaire qui utilise la pente naturelle du terrain, le refoulement est mis en œuvre lorsque la source d'eau est située à une altitude inférieure à celle du point de consommation ou de stockage.

VI.1.3 Adduction mixte :

Combine les principes de l'adduction gravitaire et de l'adduction par refoulement au sein d'un même système d'acheminement de fluides, généralement de l'eau.

VI.2 Type d'écoulements :

VI.2.1 Ecoulement à surface libre :

À surface libre est un type d'écoulement de fluide dans lequel une partie de la surface du liquide est en contact direct avec l'atmosphère (ou un autre gaz à pression constante). La pression à cette surface libre est donc constante et égale à la pression atmosphérique locale. La gravité joue un rôle prédominant dans ce type d'écoulement, car c'est elle qui est principalement responsable du mouvement du fluide.

VI.1.2 Ecoulement en charge :

L'écoulement en charge (ou écoulement sous pression) se produit dans des conduites ou des canaux complètement remplis**,** de sorte que le liquide est en contact avec toutes les parois et aucune surface libre n'est exposée à l'atmosphère. La pression à l'intérieur du fluide est alors supérieure à la pression atmosphérique.

VI.3 Choix du tracé d'adduction :

Le choix du tracé de la conduite de refoulement doit répondre à certains impératifs :

- Chercher un profil en long aussi régulier que possible pour éviter les contres pentes.
- Le tracé doit être le plus court possible.
- Éviter le phénomène de cavitation
- Éviter les forêts, les zones marécageuses, les traversées d'oueds, les propriétés privées, les terrains agricoles, les stations balnéaires et respecter la limite en distance avec un aéroport pour l'emplacement de la station de pompage
- Éviter autant que possible la traversée des obstacles artificiels (routes, voies ferrées, canaux, …)

VI.4 Description du tracé d'adduction du couloir 01 :

Afin d'assurer une distribution efficace et étendue de l'eau traitée, le schéma prévoit l'implantation de plusieurs piquages ou dérivations tout au long de la conduite principale d'alimentation en eau potable des différentes communes de Batna, Ain Touta, Tazoult, Barika, Seggana et Hamla.

L'acheminement de l'eau traitée débute par son pompage depuis la station de traitement. Cette opération est assurée par une première station de pompage, désignée sous l'acronyme SP1-1.

SP1-1 est projetée à une altitude de 954m, se situant en aval immédiat de l'installation de traitement sur une longueur de 9997m.

Ce premier tronçon de canalisation dirige l'eau vers la station de reprise, identifiée comme SP1-2, dont l'implantation est prévue à une altitude de 1078m. La fonction principale de cette station sera de refouler l'eau vers un réservoir de mise en charge.

Ce réservoir de mise en charge est envisagé à une altitude de 1191m. Le refoulement à lieu sur une longueur de 9513m.

(Source : Algérienne Des Eaux-BATNA)

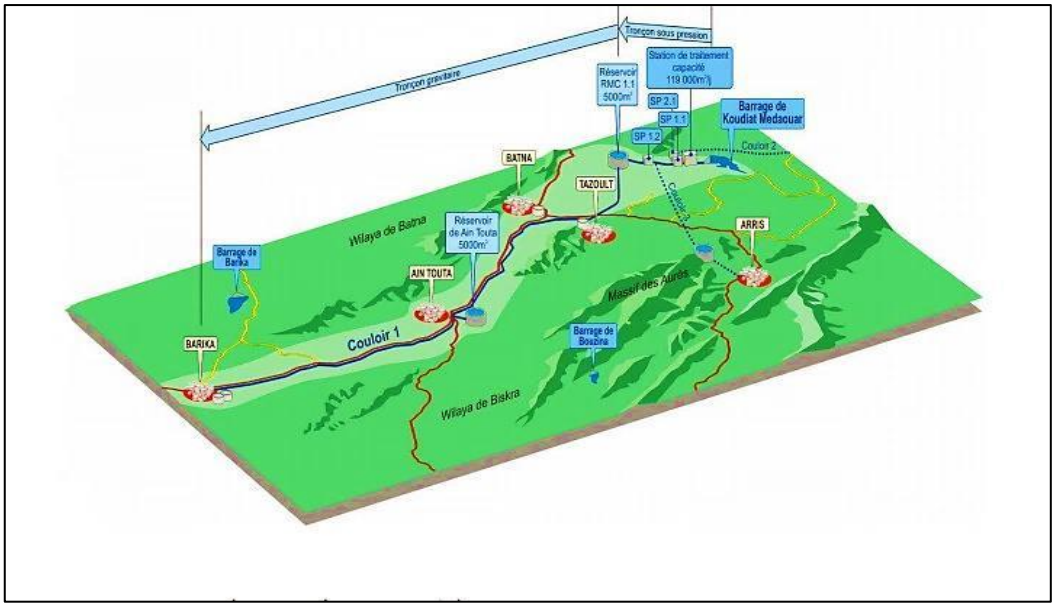


Figure VI. 1 : Schéma général de l'ensemble du transfert

(Source : Algérienne Des Eaux-BATNA)

VI.5 Choix du matériau de la conduite :

Le choix du matériau de la conduite se fait selon les critères suivants :

- Diamètre et disponibilité ;
- Pressions supportées ;
- Les revêtements ;
- Du prix unitaire ;
- Du type de sol et son agressivité;
- De la qualité de l'eau transportée
- Les critères d'ordre économique qui englobent le prix de la fourniture et le transport.

Pour notre projet, nous choisissons des conduites en FONTE, et en acier car elles présentent les avantages suivants :

- Souples et résistantes ;
- Permettent de supporter des pressions de service dépassant 25 bars ;
- Disponibilité sur le marché avec une gamme de diamètre appréciable ;
- Différents types de joints sont utilisés pour assembler ces conduites,
- Durée de vie importante.

VI.6 Diagnostic hydraulique du réseau d'adduction de couloir 01 :

Le couloir d'adduction 01 est caractérisé par des conduites de diamètres et de matériaux variés :

Tableau VI. 1 : Linéaire du réseau existant selon le diamètre et matériaux

Tronçons	Matériaux	DN (mm)	Longueur (m)	Somme de longueur (m)
SP1-1_SP1-2	Fonte ductile	1 000	9 997	33 635
SP1-2_RMC1-1			9 153	
RMC1-1_N14			7 804	
N14_N16			6 681	
N16_Réservoir Batna		700	130	38 729
N16_Réservoir Ain Touta			38 599	
Réservoir Ain Touta_Réservoir Barika		500	50 776	50 776
N14_Réservoir Tazoult	PEHD	315	1 887	1 887
H_Réservoir Hamla		600	4 900	4 900
Total				**129 927**

- Conduites en PEHD : 5.2%
- Conduites en Fonte ductile : 94.8%

Le schéma d'adduction de couloir 01 présenté dans la figure ci-dessous

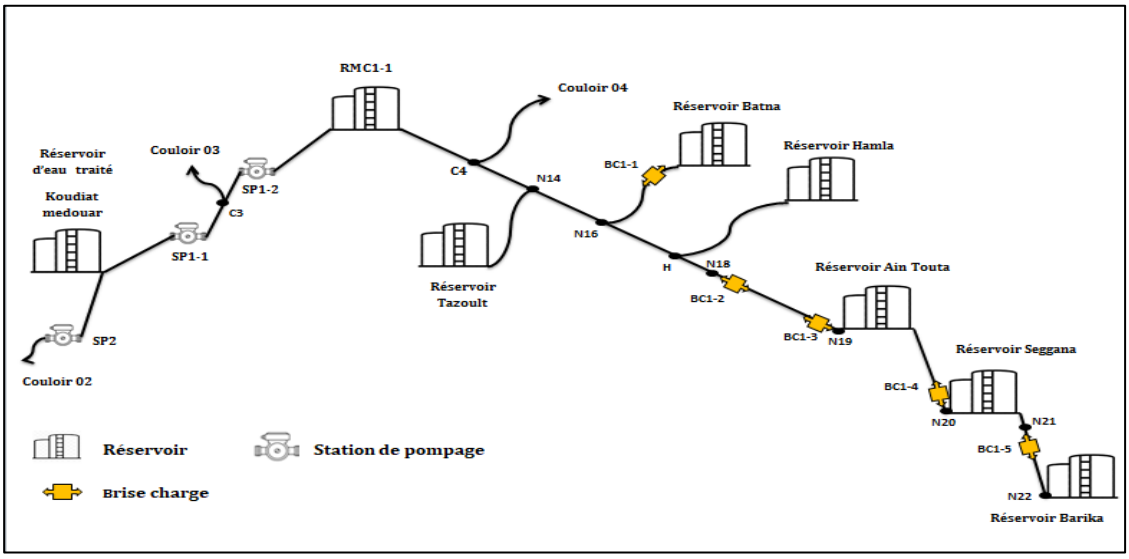


Figure VI. 2 : Schéma d'adduction du couloir 01

- **Calcul hydraulique :**

Le calcul hydraulique comporte des tronçons gravitaires et des tronçons par refoulement.

VI.6.1 Cas gravitaire :

La formule la plus utilisée pour le calcul de la perte de charge pour un écoulement dans une conduite gravitaire est:

$$\Delta H_t = \frac{K' \times Le \times Q^{\beta}}{D_{av}^{m}} \quad \text{(VI-1)}$$

- $\Delta \mathbf{H_t}$: perte de charge totale (mCE)
- **K'** : coefficient de perte de charge
- $\mathbf{L_e}$: longueur équivalente de la conduite (m)

$$\boldsymbol{L_e = L_g + L_{e\varepsilon}} \quad \text{(VI-2)}$$

- $\boldsymbol{L_g}$: Longueur géométrique de la conduite (m)
- $\mathbf{L_{e\varepsilon}}$: Longueur équivalente des pertes de charge singulière (m)

Dans le cas des adductions, les pertes de charge singulière sont estimées à **10 %** des pertes de charge linéaires

$$\Delta H_t = 1.10 \times \Delta H_p^{lin} \rightarrow L_e = 1.10 \times L_g \quad \text{(VI-3)}$$

- $\Delta \mathbf{H_t}$: perte de charge totale (mCE) ;
- $\boldsymbol{\Delta H_p^{lin}}$ **:** Perte de charge linéaire (mCE) ;
- **Q** : Débit véhiculé par la conduite (m^3/s) ;
- $\mathbf{D_{av}}$: Diamètre avantageux calculé de la conduite (m) ;
- **β** : Exposant tenant compte du régime d'écoulement,
- **m** : Exposant tenant compte du type du matériau.

Selon le type de matériau les coefficients **K**', **m** et **β** sont données dans le tableau.

Tableau VI. 2 : Coefficient K', m et β pour différents types du tuyau

Tuyau	K'	m	β
Acier et fonte	0,00179 – 0,001735	5,1 – 5,3	1,9 – 2
Plastique	0,001052	4,772	2

On déduit alors le diamètre calculé de la conduite gravitaire :

$$\mathbf{D_{av}} = \sqrt[\mathbf{m}]{\frac{\mathbf{K' \times L_e \times Q^{\beta}}}{\mathbf{\Delta H_t}}} \quad \text{(VI-4)}$$

On opte pour des conduites en fonte et on prend : **K'= 0,001735** ; $\boldsymbol{\beta}$ **= 2** ; **m = 5,3.**

- **La vitesse d'écoulement :**

Dans le cas des adductions, la vitesse optimale de l'écoulement varie de 0,5 à 2 m/s.

On détermine la vitesse d'écoulement dans la conduite gravitaire moyennant l'équation de continuité :

$$Q = V \times S \rightarrow Q = V \times \frac{\pi \times D^2}{4} \quad \text{(VI-5)}$$

Ainsi :

$$V = \frac{4 \times Q}{\pi \times D^2} \quad \text{(VI-6)}$$

Avec :

- **Q** : débit véhiculé par l'adduction (m^3/s).
- **S** : section de la canalisation (m^2).
- **V** : vitesse d'écoulement (m/s).
- **D** : diamètre de la conduite (m).

VI.6.2 Cas de refoulement :

Le calcul des diamètres économique des conduites de refoulement, peut être effectué par les deux formules approchées suivantes :

- Formule de BRESS :

$$\mathbf{D_{ec} = 1{,}5 \times \sqrt{Q}} \quad \text{(VI-7)}$$

- Formule de BONNIN :

$$\mathbf{D_{ec} = \sqrt{Q}} \quad \text{(VI-8)}$$

- $\mathbf{D_{ec}}$: diamètre économique de la conduite (m).
- **Q :** débit véhiculé par la conduite (m^3/s).

- **Remarque :**

Les formules de BRESSE et de Bonnin sont valables pour les petits projets (longueur de conduite ≤ 1 Km).

- **Méthode technico-économique :**

Calcul de la hauteur manométrique totale :

La hauteur manométrique totale calculée de la manière suivante :

$$HMT = H_g + \sum \Delta \boldsymbol{h} \quad \text{(VI-9)}$$

- **H_g :** Différence de niveau entre le plan d'aspiration et le plan de refoulement (mCE) ;
- $\sum \Delta \boldsymbol{h}$ **:** Somme des pertes de charges linéaires et singulières (mCE).

Les pertes de charge singulières sont estimées à **10%** des pertes de charge linéaires, d'où :

$$\sum \Delta \boldsymbol{h} = \mathbf{1,1} \times \Delta \boldsymbol{h}_{p}^{\boldsymbol{lin}} \quad \text{(VI-10)}$$

- $\Delta \boldsymbol{h}_{p}^{\boldsymbol{lin}}$: Perte de charge linéaire (mCE)

$$\Delta H_p^{lin} = \frac{8 \times \lambda \times L \times Q^2}{\pi^2 \times g \times D^5} \text{ (Formule de Darcy Weisbakh)} \quad \text{(VI-11)}$$

- **g :** Accélération de la pesanteur (m/s²) ;
- **Q :** Débit à refouler (m^3/s) ;
- **L** : Longueur géométrique de la conduite (m) ;
- **λ :** Coefficient de frottement qui est en fonction de la rugosité de la paroi interne de la conduite et du régime d'écoulement.
  - **Expression du coefficient de frottement :**

Équation de collebrook White :

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \times \log\left(\frac{2.51}{Re\sqrt{\lambda}} + 0.27 \times \frac{\varepsilon}{d}\right) \quad \text{(VI-12)}$$

Avec :

- Re : nombre de Reynolds

$$Re = \frac{V \times D}{\nu} \quad \text{(VI-13)}$$

- $\boldsymbol{\nu} = 10^{-6}$ m²/s à T = 20°C

Formule d'A.ALTCHULE :

$$\lambda = 0.11\times \left(\frac{\varepsilon}{d} + \frac{68}{Re}\right)^{0.25} \quad \text{(VI-14)}$$

Ensuite, en utilisant des méthodes numériques appropriées on résout l'équation de colebrook. Ou bien :

Formule d'ACHOUR :

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2\log\left(\frac{\varepsilon/d}{3.7} + \frac{4.5}{Re}\log\frac{Re}{6.97}\right) \quad \text{(VI-15)}$$

Avec :

- **ε** : Rugosité absolue (m)
- **d** : Diamètre de la conduite (mm).

Dans notre cas on utilisée formule de Nikuradzé :

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2\log\left(\frac{\varepsilon}{3.71\,D}\right) \quad \text{(VI-16)}$$

Avec :

- **ε** : Rugosité absolue (m)
- **D** : Diamètre de la conduite (mm).

- **Calcul de la puissance absorbée par la pompe :**

C'est la puissance fournie à la pompe, définit comme suit :

$$P = \frac{\rho\times g\times HMT\times Q}{R_p\times R_m\times R_{re}\times R_{ac}} \quad \text{(VI-18)}$$

- **P :** Puissance absorbée par la pompe (W) ;
- **G :** Accélération de la pesanteur (m/s²) ;
- **ρ**: Masse volumique de l'eau (Kg/m^3);
- **HMT :** Hauteur manométrique totale (mCE) :
- **Q :** Débit à refouler (m^3/s) ;
- **R_p :** Rendement de la pompe (82 %) ;
- **R_m :** Rendement du moteur (85 %).
- **R_{re} :** Rendement du réseau électrique (98 %) ;
- **R_{ac} :** Rendement d'accouplement pompe-moteur (100 %).

- **Calcul de l'énergie consommé par pompage :**

L'énergie consommée par la station de pompage le long d'une année est le produit de la puissance de pompage et d'heures de pompage par année.

$$E = P \times t \times 365 \quad \text{(VI-19)}$$

- **E :** énergie consommée pendant une année (Kwh) ;
- **P :** puissance de pompage (Kw) ;
- **t :** temps de pompage par jour (h). Dans notre cas t = 24 h.

- **Frais d'exploitation :**

Les frais d'exploitations sont définis par l'expression suivante :

$$F_{ex} = E*e \ (DA) \quad \text{(VI-20)}$$

- **E :** énergie consommée par la pompe par année (Kwh) ;
- **e :** prix unitaire d'un Kwh, il varie trois fois par jour.

Tableau VI. 3 : Variation journalière des tarifs de l'énergie

Période	Horaires	Nombre d'heure (H)	Prix du Kwh d'énergie (DA)
Heures pleines	6 à 17 h et 21 à 22 h 30	12,5	1,6147
Heures de pointes	17 à 21 h	4	7,2668
Heures creuses	22 h 30 à 6 heures	7,5	0,8533

(Source : SONALGAZ d'Oum El Bouaghi)

Vu la variation journalière des tarifs du Kwh d'énergie, on recommande un régime de fonctionnement des stations de 24 h / 24 h.

Le prix moyen du Kwh pendant les 24 heures de pompage est tel que :

$$e = \frac{12.5\times1.6147+4\times7.2668+7.5\times0.8533}{24} = 2.318 \text{ DA}$$

- **Frais d'amortissement :**

Les frais d'amortissement sont donnés par la formule suivante :

$$F_{am} = P_{rc} \times A \quad (DA) \tag{VI-21}$$

- **P_{rc}** : prix de la conduite en (DA).
- **A** : Amortissement annuel. Il est donné par la formule suivante :

$$A = \frac{i}{(i+1)^n - 1} + i \tag{VI-22}$$

- **i :** Taux d'annuité, i = 8%
- **n :** Nombre d'années d'amortissement, n = 30 ans.

VI.7 Dimensionnement de l'adduction par refoulement :

➢ **Dimensionnement de l'adduction par refoulement (station de pompage SP1-1 vers la station de pompage SP1-2)** :

Ce tronçon relie la station de pompage SP1-1 et la SP1-2, il s'étale sur une longueur de 9997 m, son dimensionnement se base sur un calcul économique.

- **Q** = 2.26 m^3/s
- **L** = 9997 m
- **H_g** = $Cr_{SP1-2} - Ca_{SP1-1}$

H_g = 1078 – 954 = 124 mCE.

➢ **Calcul du diamètre économique** :

Le calcul du diamètre économique approximatif se fait à base de la méthode technico-économique.

➢ **Calcul des frais d'exploitations :**

Les frais d'exploitations sont calculés sur la base de l'énergie électrique consommée lors du pompage et ce pour la gamme de diamètres proposé.

On calcule les hauteurs manométriques totales correspondant aux différents diamètres.

Tableau VI. 4 : Calcul de la HMT pour le tronçon SP1-1- SP1-2

D (mm)	Q (m^3/s)	V (m/s)	λ	ΔH SP1-1-C4 (mCE)	ΔH C4-SP1-2 (mCE)	1.1Δ*H* (mCE)	Hg (mCE)	HMT (mCE)
700	2,26	5,87	0,0238	259,4	303,1	618,75	124	742,75
800	2,26	4,5	0,023	128,6	150,2	306,68	124	430,68
900	2,26	3,55	0,0223	69,2	80,8	165	124	289

1000	2,26	2,88	0,0217	39,7	46,5	94,82	124	218,82
1100	2,26	2,38	0,0212	24,1	28,2	57,53	124	181,53
1200	2,26	1,99	0,0207	15,2	17,8	36,3	124	160,3
1300	2,26	1,7	0,0203	10,01	11,7	23,881	124	147,881
1400	2,26	1,47	0,0199	6,7	7,9	16,06	124	140,06
1500	2,26	1,27	0,0196	4,7	5,5	11,22	124	135,22
1600	2,26	1,12	0,0193	3,4	3,9	8,03	124	132,03

Les dépenses d'exploitations correspondantes aux différents diamètres sont présentées dans le tableau suivant (Tableau VI.5)

Tableau VI. 5 : frais d'exploitation correspondante aux différents diamètres

D (mm)	HMT (mCE)	P (KW)	Prix unitaire (DA)	E (KWh)	F exploitation (DA)
700	742,75	23 625,84383	2.139	206 962 392	479 945 786,9
800	430,68	13 699,33143	2.139	120 006 143,3	278 294 246,4
900	289	9 192,687805	2.139	80 527 945,17	186 744 304,9
1000	218,82	6 960,359673	2.139	60 972 750,73	141 395 809
1100	181,53	5 774,216669	2.139	50 582 138,02	117 299 978,1
1200	160,3	5 098,919914	2.139	44 666 538,45	103 581 702,7
1300	147,881	4 703,888807	2.139	41 206 065,95	95 556 866,94
1400	140,06	4 455,113681	2.139	39 026 795,85	90 503 139,58
1500	135,22	4 301,160017	2.139	37 678 161,75	87 375 657,1
1600	132,03	4 199,690557	2.139	36 789 289,28	85 314 361,83

- **Calcul des frais d'investissement :**

Tableau VI. 6 : Calcul des frais d'investissement du tronçon SP1-1 – SP-1-2

D (mm)	Prix de ml (DA)	Lg (m)	Prix total (DA)	A	$F_{amortissement}$ (DA)	$F_{investissement}$ (DA)
700	27 777,32	9997	277 689 868	0,0888	24 658 860,28	302 348 728,3
800	31 722,86	9997	317 133 431,4	0,0888	28 161 448,71	345 294 880,1
900	35 668,4	9997	356 576 994,8	0,0888	31 664 037,14	388 241 031,9
1000	39 613,94	9997	396 020 558,2	0,0888	35 166 625,57	431 187 183,7
1100	43 553,5	9997	435 404 339,5	0,0888	38 663 905,35	474 068 244,8
1200	47 498,5	9997	474 842 504,5	0,0888	42 166 014,4	517 008 518,9
1300	51 443,5	9997	514 280 669,5	0,0888	45 668 123,45	559 948 793
1400	55 388,5	9997	553 718 834,5	0,0888	49 170 232,5	602 889 067
1500	59 334	9997	593 161 998	0,0888	52 672 785,42	645 834 783,4
1600	63 279	9997	632 600 163	0,0888	56 174 894,47	688 775 057,5

- **Bilan des coûts (Exploitation – Investissement) :**

Après avoir calculé les frais d'exploitations et d'amortissement on va faire ces frais pour tracer la courbe d'optimisation.

Tableau VI. 7 : Bilan des frais d'exploitation et d'investissement

D (mm)	F exploitations (DA)	F investissement (DA)	Bilan (DA)
700	473 904 059,4	302 348 728	776 252 787,8
800	272 252 518,9	345 294 880	617 547 399
900	180 702 577,3	388 241 032	568 943 609,3
1000	135 354 081,4	431 187 184	566 541 265,2
1100	111 258 250,6	474 068 245	58 5326 495,4
1200	97 539 975,15	517 008 519	614 548 494
1300	89 515 139,43	559 948 793	649 463 932,4
1400	84 461 412,07	602 889 067	687 350 479,1
1500	81 333 929,59	645 834 783	727 168 713
1600	79 272 634,32	688 775 057	768 047 691,8

Les résultats de ce tableau sont représentés dans la figure suivante (Figure VI.8).

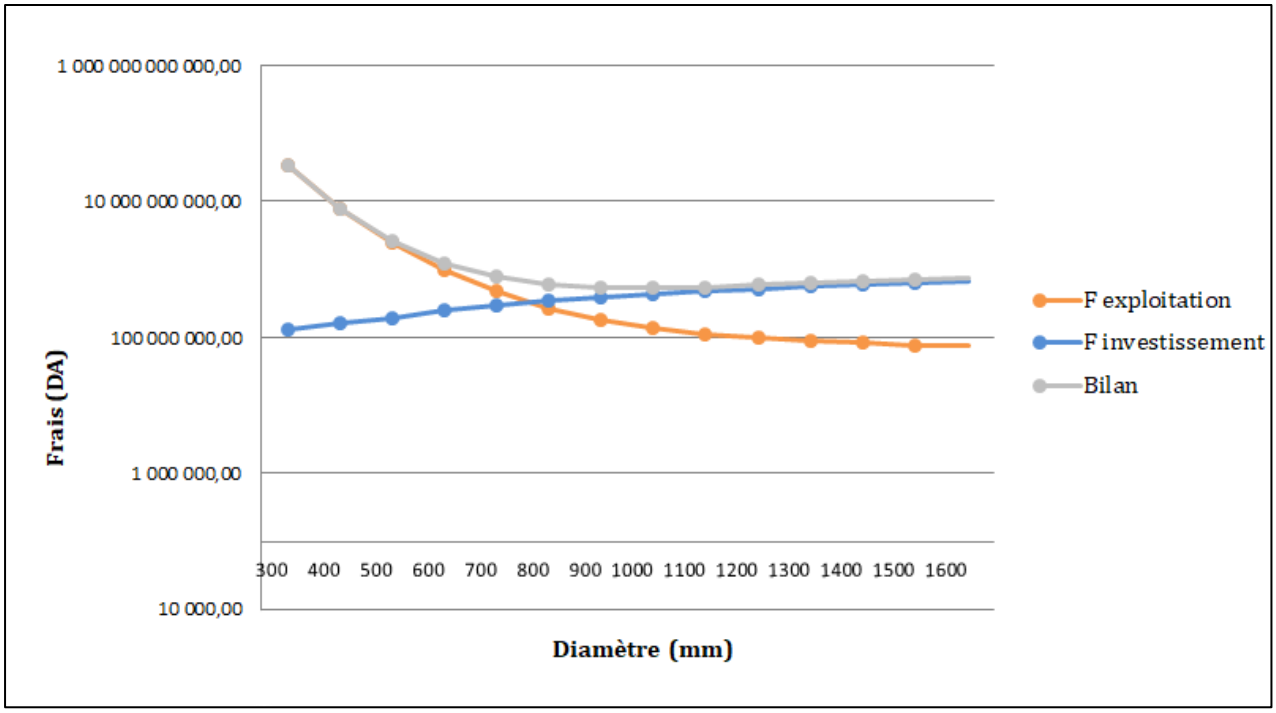


Figure VI. 3 : Bilan des frais d'exploitation et d'amortissement

D'après la courbe d'optimisation le diamètre économique du tronçon de refoulement est : 1200 mm avec une vitesse d'écoulement de 1,99 m/s et PN 20.

- **Dimensionnement de l'adduction par refoulement (SP1 vers le réservoir mise en charge RMC1-1) :**

Ce tronçon relie la station de pompage SP1-2 et le réservoir RMC1-1, il s'étale sur une longueur de 9153 m, son dimensionnement se base sur un calcul économique.

- **Q** = 2.14 m^3/s
- **L** = 9153 m

- $\mathbf{H_g}$ = Côte du trop-plein du RMC1-1 –Ca $_{SP1-21}$

  $\mathbf{H_g}$ = 1194.67 – 1078 = 113 mCE

➢ **Calcul du diamètre économique :**

Calcul des frais d'exploitations :

On calcule les hauteurs manométriques totales correspondant aux différents diamètres.

Tableau VI. 8 : Calcul de la HMT pour le tronçon SP1-2- RMC1-1

D (mm)	Q (m^3/s)	V (m/s)	λ	ΔH (mCE)	1.1Δ*H* (mCE)	Hg (mCE)	HMT (mCE)
700	2,14	5,56	0,0238	490,45	539,495	113	652,495
800	2,14	4,26	0,023	243,1	267,41	113	380,41
900	2,14	3,36	0,0223	130,8	143,88	113	256,88
1000	2,14	2,72	0,0217	75,16	82,676	113	195,676
1100	2,14	2,25	0,0212	45,59	50,149	113	163,149
1200	2,14	1,89	0,0207	28,81	31,691	113	144,691
1300	2,14	1,61	0,0203	18,94	20,834	113	133,834
1400	2,14	1,39	0,0199	12,82	14,102	113	127,102
1500	2,14	1,21	0,0196	8,94	9,834	113	122,834
1600	2,14	1,06	0,0193	6,37	7,007	113	120,007

Les dépenses d'exploitations correspondantes aux différents diamètres sont présentées dans le tableau suivant (Tableau VI.9).

Tableau VI. 9 : frais d'exploitation correspondante aux différents diamètres

D (mm)	HMT (mCE)	P (KW)	Prix unitaire (DA)	E (KWh)	F exploitation (DA)
700	652,495	14 199,2381	2.139	124 385 326	2 88 449 570,7
800	380,41	8 278,273 66	2.139	72 517 677,2	168 168 493,5
900	256,88	5 590,081 59	2.139	48 969 114,7	113 559 377
1000	195,676	4 258,193 73	2.139	37 301 777,1	86 502 821,01
1100	163,149	3 550,359 01	2.139	31 101 144,9	72 123 554,99
1200	144,691	3 148,686 14	2.139	27 582 490,6	63 963 795,64
1300	133,834	2 912,422 06	2.139	25 512 817,3	59 164 223,24
1400	127,102	2 765,923 97	2.139	24 229 494	56 188 196,59
1500	122,834	2 673,046 1	2.139	23 415 883,8	54 301 434,6
1600	120,007	2 611,526 48	2.139	22 876 971,9	53 051 697,92

- **Calcul des frais d'investissement :**

Tableau VI. 10 : Calcul des frais d'investissement du tronçon SP1-2 – RMC1-1

D (mm)	Prix de ml (DA)	Lg (m)	Prix total (DA)	A	$F_{amortissement}$ (DA)	$F_{investissement}$ (DA)
700	27 777,32	9153	254 245 810	0,0888	2 466,626 02	254 248 277
800	31 722,86	9153	290 359 338	0,0888	2 816,989 97	290 362 155
900	35 668,4	9153	326 472 865	0,0888	3 167,353 92	326 476 033
1000	39 613,94	9153	362 586 393	0,0888	3 517,717 87	362 589 911
1100	43 553,5	9153	398 645 186	0,0888	3 867,550 8	398 649 053
1200	47 498,5	9153	434 753 771	0,0888	4 217,866 8	434 757 988
1300	51 443,5	9153	470 862 356	0,0888	4 568,182 8	470 866 924
1400	55 388,5	9153	506 970 941	0,0888	4 918,498 8	506 975 859
1500	59 334	9153	543 084 102	0,0888	5 268,859 2	543 089 371
1600	63 279	9153	579 192 687	0,0888	5 619,175 2	579 198 306

- **Bilan des coûts (Exploitation – Investissement) :**

Après avoir calculé les frais d'exploitations et d'amortissement on va faire la somme de ces frais pour calculer le bilan total des coûts, on trace la courbe d'optimisation.

Tableau VI. 11 : Bilan des frais d'exploitation et d'investissement

D (mm)	F exploitation (DA)	F investissement (DA)	Bilan (Da)
300	20 981 356 139	112 912 961	21 094 269 100
400	4 605 886 196	136 473 103	4 742 359 299
500	1 456 612 973	163 704 366	1 620 317 339
600	587 102 598,2	208 981 310	796 083 908
700	288 449 570,7	254 248 277	542 697 847,3
800	168 168 493,5	290 362 155	458 530 648,1
900	113 559 377	326 476 033	440 035 409,6
1000	86 502 821,01	362 589 911	449 092 731,6
1100	72 123 554,99	398 649 053	470 772 608
1200	63 963 795,64	434 757 988	498 721 784
1300	59 164 223,24	470 866 924	530 031 146,9
1400	56 188 196,59	506 975 859	563 164 055,6
1500	54 301 434,6	543 089 371	597 390 805,5
1600	53 051 697,92	579 198 306	632 250 004,1

Les résultats de ce tableau sont représentés dans la figure suivante (Figure VI.9).

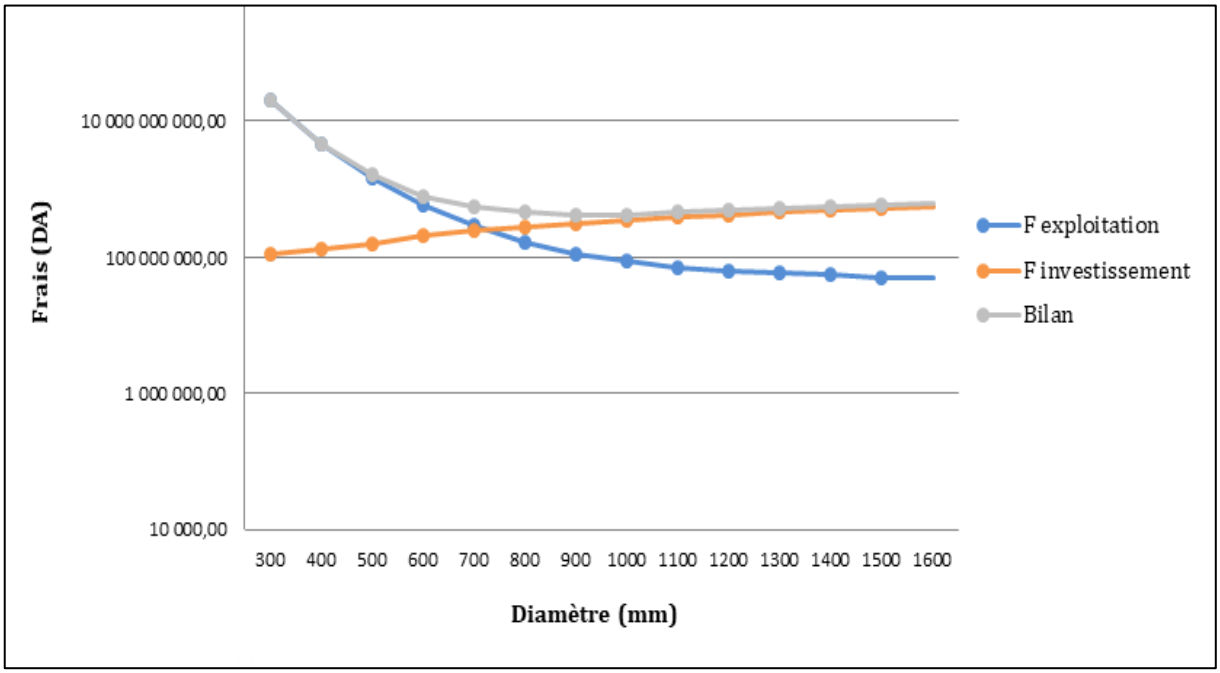


Figure VI. 4 : Bilan des frais d'exploitation et d'amortissement

D'après la courbe d'optimisation le diamètre économique du tronçon de refoulement est : 1200 mm avec une vitesse d'écoulement de 1,89 m/s et PN 16.

VI.9 Dimensionnement de l'adduction gravitaire :

➢ Calcul des longueurs des différents tronçons :

Les longueurs des différents tronçons sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau VI. 12 : Les longueurs des différents tronçons

Tronçons	Lg (m)	Le (m)
RMC1-1_piquage couloir 4	4000	4400
Piquage couloir 4_Noeud 14	3804	4184.4
Nœud 14_Noeud 16	6681	7349.1
Nœud 16_ Piquage Hamla	4700	5170
Piquage Hamla_ Nœud 18	11796.27	12975.897
Nœud 18_ Nœud 19	22102.53	24312.783
Nœud 19_Noeud 20	19073	20980.3
Nœud 20_Noeud 21	13751	15126.1
Nœud 21_ Nœud 22	17952	19747.2

➢ Calcul des diamètres avantageux :

Tronçon : RMC1-1− piquage couloir :

Calcul de la charge disponible entre le réservoir mise en charge (RMC1-1) et le point le plus défavorable (Réservoir Barika) :

$$\Delta \mathbf{H_d} = \mathbf{C_{Rad.RMC1\text{-}1}} - \mathbf{C_{TP.R.Barika}} \quad \text{(VI-23)}$$

Avec :

- $\Delta \mathbf{H_d}$: la charge disponible.
- $\mathbf{C_{Rad.RMC1\text{-}1}}$: la côte du radier du réservoir mise en charge.
- $\mathbf{C_{TP.R.barika}}$: la côte du trop-plein du réservoir de Barika.

$\Delta H_d = 1194.67 - 520.35 = 674.32$ mCE

Calcul de la somme des longueurs des tronçons de la ligne principale :

$$L_e = 1{,}10 \times L_g \quad \text{(VI-24)}$$

$\sum L_i = 103859$ m $\Rightarrow$ $\sum L_e = 114245.78$ m

Calcul du gradient hydraulique I :

$$I = \frac{\Delta H_d}{\sum Le} \quad \text{(VI-25)}$$

$I = \frac{\Delta H_d}{\sum Le} = \frac{674.32}{114245.78} = 5.9 \times 10^{-3}$

Détermination du diamètre :

$$I = \frac{\Delta H_d}{\sum Le} = \frac{K' \times Q^{\beta}}{D_{av}^{m}} \rightarrow D_{av} = \sqrt[m]{\frac{K' \times Q^{\beta}}{I}} \quad \text{(VI-26)}$$

Sachant que :

- K'= 0,001735 ;
- β = 2 ;
- m = 5,3

Diamètres avantageux de la conduite gravitaire tronçon entre le réservoir mise en charge (RMC1-1) et le point le plus défavorable (Réservoir Barika) :

Tableau VI. 13 : Diamètres avantageux de la conduite gravitaire

Tronçons	Lg (m)	Le (m)	Q (m^3/s)	Δ*H* (mCE)	D (m)	DN (mm)	PN	V (m/s)
RMC1-1_piquage couloir 4	4000	4400	2.14	6.37	1.05	1000	16	2.75
Piquage couloir 4_Noeud 14	3804	4184.4	2.035	15.18	1.03	1000	16	2.59
Nœud 14_Noeud 16	6681	7349.1	1.9425	11.43	1.01	1000	16	2.47
Nœud 16_ Piquage Hamla	4700	5170	0.7875	28.79	0.72	800	10	1.56
Piquage Hamla_ Nœud 18	11796.27	12975.897	0.6565	88.52	0.68	700	10	1.70
Nœud 18_ Nœud 19	22102.53	24312.783	0.6565	132.25	0.68	700	10	1.70
Nœud 19_Noeud 20	19073	20980.3	0.6195	77.67	0.66	700	10	1.60
Nœud 20_Noeud 21	13751	15126.1	0.6195	163.61	0.66	700	10	1.60
Nœud 21_ Nœud 22	17952	19747.2	0.5965	160.74	0.65	700	10	1.54

Détermination des côtes piézométrique et des pressions :

$$\mathbf{C_{p\,(i+1)} = C_{pi} + \Delta H_{(i+1-i)}} \quad \text{(VI-27)}$$

Avec :

- $\mathbf{C_{p\,(i+1)}}$ **:** côte piézométrique au point (i+1) ;
- $\mathbf{C_{pi}}$ **:** côte piézométrique au point (i) ;
- $\mathbf{\Delta H_{(i+1-i)}}$ **:** la perte de charge du point (i+1) au point (i) ;

$$P = C_P - C_T \quad \text{(VI-28)}$$

Avec :

- **P:** Pression.
- $\mathbf{C_P}$ **:** côte piézométrique.
- $\mathbf{C_T}$ **:** côte du terrain

Détermination des côtes piézométriques et des pressions :

Tableau VI. 14 : Détermination des côtes piézométriques et des pressions

Nœuds	C_t (m)	C_p (m)	P (mCE)	P (Bar)
C4	1143	1188.30	45.30	4.530
N14	1111	1173.12	62.12	6.212
N16	1108.46	1161.69	53.23	5.323
H	1058.3	1123.9	65.6	6.56

N18	1046.22	1123.15	76.93	7.693
N19	971.77	990.90	18.19	1.819
N20	796.78	913.23	116.45	11.645
N21	653.12	749.62	96.50	9.650
N22	510.10	588.88	78.78	7.878

Tronçon : Nœud 14 − Réservoir TAZOULT :

Calcul de la charge disponible entre le nœud 14 et le réservoir de Tazoult :

$$\Delta H_d = C_{P.N14} - C_{TP.R.Tazoult}$$

Avec :

- $\Delta \mathbf{H_d}$: la charge disponible ;
- $\mathbf{C_{P.N14}}$: la côte piézométrique du nœud 14 ;
- $\mathbf{C_{TP.R.Tazoult}}$: la côte du trop-plein du réservoir de Tazoult ;

ΔH_d = 1173.12 − 1153 = 20.12m

Détermination du diamètre :

$$D_{av} = \sqrt[m]{\frac{K' \times L_e \times Q^{\beta}}{\Delta Hd}} \rightarrow \sqrt[5.3]{\frac{0.001735 \times 2075.7 \times 0.0925^2}{20.12}} = 0.29\text{m} \rightarrow DN = 300\ mm \text{ et PN10}$$

Vérification de la vitesse :

$$V = \frac{4 \times Q}{\pi \times D^2} = \frac{4 \times 0.0925}{\pi \times 0.3^2} = 1.3 \text{ m/s}$$

Tronçon : Nœud 16 − Réservoir BATNA :

Calcul de la charge disponible entre le nœud 14 et le réservoir de Tazoult :

$$\Delta H_d = C_{P.N16} - C_{TP.R.BATNA}$$

Avec :

- $\Delta \mathbf{H_d}$: la charge disponible ;
- $\mathbf{C_{P.N16}}$: la côte piézométrique du nœud 16 ;
- $\mathbf{C_{TP.R.BATNA}}$: la côte du trop-plein du réservoir de BATNA ;

ΔH_d = 1161.69 − 1124 = 37.69 mCE.

Détermination du diamètre :

$$D_{av} = \sqrt[m]{\frac{K' \times L_e \times Q^{\beta}}{\Delta Hd}} \rightarrow \sqrt[5.3]{\frac{0.001735 \times 143 \times 1.155^2}{37.69}} = 0.41\text{m} \rightarrow DN = 900mm \text{ et PN10.}$$

Vérification de la vitesse :

$V=\frac{4\times Q}{\pi\times D^2}=\frac{4\times 1.155}{\pi\times 1^2}$ =1.8m/s

Tronçon : Nœud H – Réservoir HAMLA :

Calcul de la charge disponible entre le nœud 14 et le réservoir de Tazoult:

$$\Delta H_d = C_{P.H} - C_{TP.R.HAMLA}$$

Avec :

- $\Delta\mathbf{H_d}$: la charge disponible ;
- $\mathbf{C_{P.H}}$: la côte piézométrique du nœud H;
- $\mathbf{C_{TP.R.HAMLA}}$: la côte du trop-plein du réservoir de HAMLA ;

ΔH_d = 1123.15− 1100 = 23.15 mCE.

Détermination du diamètre :

$D_{av}=\sqrt[m]{\frac{K'\times L_e\times Q^{\beta}}{\Delta Hd}} \rightarrow \sqrt[5.3]{\frac{0.001735\times 5390\times 0.131^2}{23.15}}$ =0.4m → $DN = 400mm$ et PN10

Vérification de la vitesse :

$V=\frac{4\times Q}{\pi\times D^2}=\frac{4\times 0.131}{\pi\times 0.4^2}$ =1.04m/s

Tableau VI. 15 : Récapitulatif de différents tronçons de l'adduction gravitaire

Tronçons	Longueur (m)	Q (m^3/s)	DN (mm)	PN	V (m/s)
RMC1-1→C4	4000	2.14	1000	16	2.75
C4→ *N14*	3804	2.035	1000	16	2.59
N14→ Réservoir Tazoult	1887	0.0925	300	10	1.3
N14→ *N16*	6681	1.9425	1000	16	2.47
N16→ Réservoir Batna	130	1.155	900	10	1.8
N16→ *H*	4700	0.7875	800	10	1.56
H→ Réservoir Hamla	4900	0.131	400	10	1.04
H→ *N18*	11796.27	0.6565	700	10	1.70
N18→ *N19* (Réservoir Ain touta)	22102.53	0.6565	700	10	1.70
N19→ *N20* (Réservoir Seggana)	19073	0.6195	700	10	1.60
N20→ *N21*	13751	0.6195	700	10	1.60
N21→ *N22* (Réservoir Barika)	17952	0.5965	700	10	1.54

VI.9 Diagnostic physique du réseau d'adduction :

VI.9.1 Etat physique de couloir 01 :

- Les conduites sont posées en tranchée ouverte sur un lit de pose et remblayées à l'exception de certains passages.
- En ce qui concerne les sols agressifs, présence de gypse particulièrement, la conduite est protégée par la manche polyéthylène. Seule la conduite DN 1000 a reçu ce traitement particulier.
- Le niveau du remblai au-dessus de la génératrice supérieure de la conduite est d'un (01) mètre à l'exception d'un tronçon N14_N16 du DN 1000 où la conduite est apparente à cet endroit elle est protégée par des cavaliers en U.
- La pose a été réalisée suivant un profil en long avec des pentes n'excédant pas les 4 ‰ pour les tronçons descendants et 2 ‰ pour ceux ascendants.



Figure VI. 5 : Pose de conduite DN 1000

(Source : Algérienne Des Eaux-BATNA_20/07/2018)

VI.9.2 Etat des équipements du réseau (Accessoires) :

Les équipements classiques réalisés sur le réseau se résument aux points hauts et aux points bas, les vannes de sectionnement et les vannes de survitesse.

- **Les points hauts : Ventouses**

Ce sont des ouvrages en béton armé, elles sont associées à des vannes de sectionnement d'un by passe qui permet le dégazage de la conduite :

- Sortie d'air qui s'accumule aux points hauts en fonctionnement normal de la conduite ;
- Admission de l'air pendant les opérations de vidange ;
- Evacuation de l'air pendant le remplissage de la conduite.

Ainsi, 132 ventouses sont posées sur le couloir.

➢ **Les points bas : Vidanges**

Ce sont des ouvrages en béton armé, installés aux points bas. Chaque point bas abrite un système de vidange monté directement sur la conduite par l'intermédiaire d'un té tangentiel.

Par conséquent 116 vidanges sont posées sur le couloir.

➢ **Les vannes de sectionnement :**

Afin de permettre l'isolement de certains tronçons et compte tenu de la longueur importante des branches, des vannes de sectionnement ont été posées. Ces vannes permettent d'intervenir sur une répartition sans avoir à vider l'ensemble de la branche.

➢ **Les vannes de survitesse :**

Des vannes de survitesse sont placées à la sortie des réservoirs et des brises charge alimentant les tronçons gravitaires.

Leur fonction est d'interrompre l'écoulement en cas d'incident sur la conduite afin d'éviter que le réservoir ne se vide.

Une rupture brusque sur la conduite engendrerait un débit supérieur et par conséquent une vitesse supérieure à sa valeur nominale. Ces vannes sont équipées d'un dispositif qui provoquera la fermeture automatique.

➢ **Les brises charge :**

- Chacun est composé par une structure en béton armé coulé sur place ;
- Deux brises charges sont installées sur le DN500 ;
- Un régulateur de pression est installé sur le DN700 ;
- Un régulateur de pression est installé sur le DN500 ,
- Equipements principaux des brises charge :
    - Une vanne de sectionnement à l'arrivée et à la sortie de l'ouvrage ;
    - Un obturateur à disque ;
    - Un trop plein ;
    - Une vidange ;
    - Une soupape de décharge,
    - Un débitmètre.



Figure VI. 6 : Brise chargeBC1-4



Figure VI. 7 : Chambre de comptage n° 16.1 Batna

(Source : Algérienne Des Eaux-BATNA)

- **Les soupapes de décharge** :

Elles sont installées au niveau des réducteurs de pression sur les tronçons gravitaires, elles permettent la protection contre les surpressions (anti-bélier).

- **Les réducteurs de pression :**

Ils sont installés sur les tronçons N16_Réservoir Ain Touta du DN 700 et le tronçon Réservoir Ain Touta_Réservoir Barika du DN 500.

VI.9.3 Constat :

- La mise en place de programmes, de maintenance préventive régulière et bien suivis, permet de détecter et de corriger les problèmes avant qu'ils ne dégénèrent en pannes majeures.
- Faible Taux de Fuites et Pertes en Eau.
- L'utilisation de pompes à haut rendement énergétique, souvent équipées de variateurs de vitesse, permet de réduire considérablement les coûts d'exploitation.
- La présence de pompes de secours assure la continuité du service même en cas de défaillance d'une pompe principale.
- Des vannes bien entretenues, faciles à manœuvrer.
- Protection efficace contre les surpressions**,** en cas de pic de pression.
- Nettoyage et Désinfection Réguliers des bâches et réservoirs.

VI.9.4 Recommandations :

Le tableau ci-dessous représente une récapitulation des recommandations de couloir 01.

Tableau VI. 16 : Récapitulation des recommandations

Tronçons	Constat	Recommandation
SP1-1_SP1-2	DN existant 1000mm	Remplacer la conduite de refoulement par DN 1200
SP1-2 RMC1-1	DN existant 1000mm	Remplacer la conduite de refoulement par DN 1200
RMC1-1_piquage couloir 4	Pas de problème	• Stratégies pour limiter et éliminer les dépôts dans les conduites. • contrôle des désinfectants, nettoyage des réservoirs. • recherche de fuites non visibles • Évaluer la durée de vie restante des composants clés du réseau pour mieux planifier les remplacements et les investissements futurs.
Piquage couloir 4_Noeud 14		
Noeud14→ Réservoir Tazoult		
Nœud 14_Noeud 16		
Nœud 16_ Piquage Hamla		
Piquage Hamla Réservoir Hamla		
Piquage Hamla_ Nœud 18		
Nœud 18_ Nœud 19		
Nœud 16→ Réservoir Batna	DN existant 700mm	Remplacer la conduite par DN900mm
Nœud 19_Noeud 20	DN existant 500mm	Remplacer la conduite par DN700mm
Nœud 20_Noeud 21	DN existant 500mm	Remplacer la conduite par DN700mm
Nœud 21_ Nœud 22	DN existant 500mm	Remplacer la conduite par DN700mm

Conclusion :

D'après le diagnostic physique et hydraulique du réseau d'adduction de couloir 01, nous recommandons de remplacer les conduites de refoulement par des conduites de DN 1200 PN20. La partie gravitaire doit également être mise à niveau : le tronçon N16_Réservoir de Batna par du DN900, et la section allant de N19 à N22 par du DN700 et PN 10.

L'emplacement des brises charge et les réducteurs de pression, tel qu'il est actuellement est idéalement choisi pour les nœuds 18, 20, 21 et 22, ce qui permet une dissipation efficace de l'excès de pression et une protection optimale des conduites en aval.

Chapitre VII : Etude de stockage

Introduction :

Les ouvrages de stockage jouent un rôle fondamental pour assurer un approvisionnement fiable et continu. Ce chapitre a pour objectif de définir la capacité de stockage optimale des réservoirs qui seront mis en place pour le couloir 01.

VII.1 Définition d'un réservoir :

Un réservoir d'eau potable est une installation de stockage indispensable dans un système d'adduction d'eau. Il permet de compenser les variations de consommation, d'assurer une réserve en cas de problème d'alimentation et de répondre aux besoins spécifiques comme la protection incendie ainsi que la régulation des débits et les des pressions.

VII.2 Fonctionnement d'un réservoir :

Les réservoirs d'eau remplissent plusieurs rôles essentiels au bon fonctionnement d'un réseau d'adduction :

Fonctions techniques du réservoir :

- Equilibrage des débits.
- Pompe un refoulement constant.
- Garantir la sécurité d'approvisionnement.
- Régulation de la pression.
- Contribuer à la simplification de l'exploitation et de la maintenance du système.

Ils doivent être :

- Etanches.
- Construits avec des matériaux inaltérables.
- Contribuer au non contamination de l'eau par des agents extérieurs.
- Possède la qualité de préserver l'eau contre les variations brusques de température.

Fonctions économiques :

- Réduction des pertes d'énergie.

VII.3 Classifications des réservoirs :

Les réservoirs peuvent être classés selon les critères suivants :

Selon le matériau de construction :

- Réservoir métallique.
- Réservoir en maçonnerie.

- Réservoir en béton armé ;

Selon la situation des lieux :

- Réservoir enterré.
- Réservoir semi enterré.
- Réservoir sur élevé ou sur tour.

Selon l'usage :

- Réservoir principal d'accumulation et de stockage.
- Réservoir d'équilibre (réservoir tampon).
- Réservoir de traitement.

Selon la forme géométrique :

- Réservoir cylindrique.
- Réservoir rectangulaire (carré).

VII.4 Emplacement des réservoirs :

Pour un bon emplacement des réservoirs on doit tenir compte les considérations suivantes :

- Ils doivent être placés à une côte supérieure à celle du point le plus élevé de l'agglomération de telle façon à satisfaire une pression suffisante aux abonnés.
- Pour des raisons économiques, il est préférable que le remplissage du réservoir se fasse par gravité.

VII.5 Equipement du réservoir :

Un réservoir doit être équipé :

- D'une conduite d'arrivée ou d'alimentation ;
- D'une conduite de départ ou de distribution ;
- D'une conduite de trop-plein ;
- D'une conduite de vidange ;
- D'une conduite by-pass dans certains cas,
- D'un système de matérialisation de la réserve d'incendie.

Toutes ces conduites doivent normalement aboutir dans une chambre de manœuvre.

a. Conduite d'arrivée ou d'alimentation du réservoir :

Pour un renouvellement efficace de l'eau et un bon mélange dans le réservoir, la conduite d'arrivée (refoulement ou gravitaire) devrait idéalement se situer soit en partie haute avec une sortie en siphon noyé, soit en partie basse à l'opposé de la conduite de départ pour créer un brassage.

b. Conduite de départ ou de distribution :

La conception de la conduite de distribution prévoit son installation à l'opposé de l'arrivée, à une distance de 15 à 20 cm du fond du réservoir. Ce positionnement stratégique vise à prévenir l'entraînement des matières en suspension. L'extrémité de la conduite est munie d'une crépine courbée, un dispositif qui empêche la formation de vortex et l'entrée d'air. Pour des raisons de sécurité, une vanne à survitesse permet une fermeture rapide en cas de fuite sur cette conduite.

c. Conduite de trop-plein :

La conduite de trop-plein est un dispositif de sécurité essentiel qui permet d'évacuer l'eau qui pourrait s'accumuler au-delà du niveau maximal du réservoir, notamment en cas de défaillance de l'arrêt automatique d'une pompe. Si le réservoir est divisé en plusieurs compartiments, chacun doit être équipé de sa propre conduite de trop-plein. Ces conduites se rejoignent dans la chambre de manœuvre et sont conçues avec un joint hydraulique pour créer une barrière étanche contre l'introduction de matières étrangères.

d. Conduite de vidange :

La conduite de vidange est essentielle pour permettre l'évacuation complète de l'eau du réservoir, facilitant ainsi les procédures de nettoyage et de réparation. Elle est équipée d'une vanne et son raccordement se fait fréquemment avec la conduite de trop-plein. Afin d'assurer son bon fonctionnement et d'éviter les blocages, il est recommandé de nettoyer la vanne après chaque utilisation pour éliminer tout dépôt de sable.

e. Conduite By-pass :

Pour assurer la continuité de l'alimentation en eau aux usagers, même pendant les périodes de maintenance ou de vidange du réservoir, un By-pass est mis en place. Il s'agit d'une section de conduite qui connecte directement l'arrivée et le départ.

f. Système de matérialisation de la réserve d'incendie :

Pour assurer une réserve d'eau constante et disponible pour la lutte contre le feu, un système de matérialisation est mis en place dans le réservoir. Il stoppe l'écoulement de l'eau dès que le niveau de la réserve incendie est atteint. Deux types de systèmes sont utilisés.

- Système à deux prises :

Ce système à deux prises est rarement utilisé du fais que la réserve de sécurité n'est pas convenablement renouvelée.

- Système à siphon :

Ce système a l'avantage de renouveler constamment la réserve d'incendie. (DAOUD, Ali. [2020].)

VII.6 Hygiène et sécurité :

Pour garantir la protection de l'eau contenue dans les réservoirs contre toute pollution venant de l'extérieur, des normes d'hygiène et de sécurité spécifiques s'appliquent, impliquant que les réservoirs doivent :

- Être équipés d'une couverture qui protège l'eau des changements de température et de l'intrusion de substances étrangères ;
- Bénéficier d'un périmètre de sécurité destiné à éloigner les animaux et les personnes non autorisées (à l'exception du personnel habilité) ;
- Permettre une aération grâce à des orifices munis de grilles ;
- Présenter une étanchéité complète et être construits sans aucun matériau susceptible de contaminer l'eau ;
- Être éclairés par des ouvertures pourvues de plaques de verre épaisses.

VII.7 Détermination de la capacité du réservoir :

La capacité requise d'un réservoir est estimée en tenant compte des variations des débits à l'entrée et à la sortie, qui dépendent du mode d'exploitation des ouvrages en amont et de la variation de la demande. Le dimensionnement de cette capacité s'effectue le plus souvent en considérant les variations journalières de consommation, le jour de la plus forte demande et la réserve d'eau pour l'incendie.

Principe de calcul :

VII.7.1 Cas d'une adduction par refoulement :

La capacité d'un réservoir peut être calculée selon deux méthodes à savoir :

- La méthode analytique.
- La méthode graphique.

La méthode analytique :

Pour évaluer la capacité de régulation d'un réservoir, la méthode analytique consiste à calculer le niveau d'eau résiduel à chaque heure de la journée. Ce calcul s'appuie sur les débits entrants et sortants du réservoir. Le volume de régulation est ainsi déterminé par la formule :

$$V_r = \frac{a \times Q_{max.j}}{100} \ (m^3) \qquad \text{(VII-1)}$$

Avec :

- Vr : capacité résiduelle (m^3) ;
- **a** : fraction horaire du débit maximum journalier (%) ;
- $Q_{max,\,j}$: la consommation maximale journalière (m^3/j) ;

Le volume total se détermine en ajoutant le volume d'incendie au volume de régulation :

$$V_T = V_r + V_{inc} \ (m^3) \qquad \text{(VII-2)}$$

Avec :

- V_T : capacité totale du réservoir (m^3) ;
- V_{inc} : volume d'incendie estimé pour 2 heures avec un débit de 60 m^3/h ;

Donc : V_{inc} = 120 m^3

La méthode graphique :

Pour évaluer la capacité de stockage nécessaire pour compenser ces fluctuations, on recherche le plus grand « manque » et le plus grand « surplus » sur notre graphique. En additionnant ces deux valeurs (sans tenir compte du signe), on obtient le « résidu maximal journalier ». C'est une estimation du volume maximal qu'il faudrait stocker pour assurer un approvisionnement continu malgré les variations de consommation. La figure illustre clairement ces courbes d'offre et de demande.

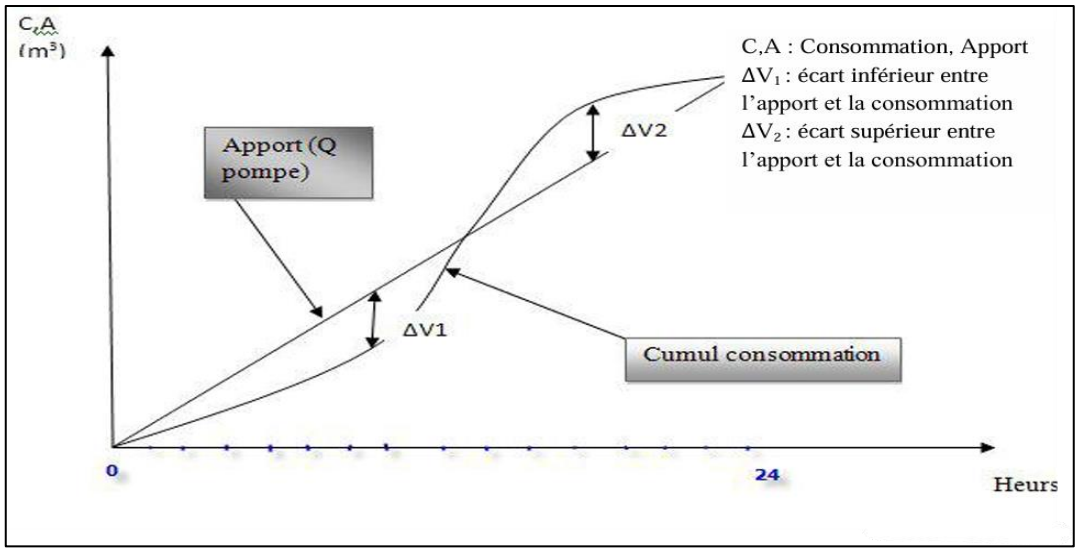


Figure VII. 1 : Représentation graphique de la consommation et de l'apport d'eau

Donc :

$$Rmax = |\Delta \boldsymbol{V1}| + |\Delta \boldsymbol{V2}| \ (\%) \qquad \text{(VII-3)}$$

Le volume de régulation V_r est calculé selon la formule suivante :

$$V_r = \frac{R_{max} \times Q_{max.j}}{100} \ (m^3) \qquad \text{(VII-4)}$$

Dont le volume total sera :

$$V_T = V_r + V_{inc} \ (m^3) \qquad \text{(VII-5)}$$

Avec :

- V_T : capacité totale du réservoir (m^3) ;
- V_{inc} : volume d'incendie estimé à 120 m^3.

VII.7.2 Cas d'une adduction gravitaire :

Si l'on dispose d'un débit limité constant à une côte supérieure à celle du réservoir, on peut avoir intérêt à effectuer une alimentation discontinue, afin de diminuer le volume du réservoir, pourvu que le débit horaire disponible Q_a (débit d'apport) soit supérieur au débit moyen horaire $Q_{moy,\,h}$ de la journée.

Il est bien évident que si $Q_a \geq Q_{max,\,h}$, le débit d'alimentation peut à chaque instant satisfaire la demande et le réservoir est inutile. Le problème de la capacité utile du réservoir se pose donc lorsque : $Q_{moy,\,h} < Q_a < Q_{max,\,h}$.

Dans ce cas, le débit d'alimentation le plus important se situe lors de la pointe de la matinée entre environ 7h et 11h où la consommation peut atteindre $Q_{max,\,h}$. Donc pendant ces quatre heures, il faudra fournir en plus de l'alimentation à débit constant Q_a un volume d'eau égale à :

$$V = 4 \times (Q_{max,\,h} - Q_a) \qquad \text{(VII-6)}$$

Tel que :

- V : la capacité nécessaire du réservoir à projeter ;
- $Q_{max,\,h}$: Débit maximal horaire (m^3/h) ;
- Qa : débit d'apport (m^3/h) ;

VII.8 Analyse de la capacité de stockage :

Il s'agit de déterminer le volume de stockage nécessaire pour lisser les variations de la demande quotidienne, en particulier lors des pics de consommation. De plus, il est impératif d'intégrer une réserve d'eau dédiée à la lutte contre les incendies, conformément aux normes et réglementations algériennes spécifiques, qui tiennent compte des caractéristiques des zones à protéger. L'analyse doit donc considérer à la fois les fluctuations habituelles de la consommation et les besoins exceptionnels en cas d'urgence.

Principe de calcul :

Pour estimer la capacité d'un réservoir, on a recouru à la méthode analytique.

$$V_r = a\,(\%) \times \frac{Q_{max.j}}{100}\ (m^3) \qquad \text{(VII-7)}$$

Tableau VII. 1: Détermination de la capacité du stockage nécessaire

Heure	Consommation horaire	Q arrivé	Stockage	Départ de distribution	Capacité horaire
0-1	3.35	4.17	0.82	-	1.68
1-2	3.25	4.17	0.92	-	2.6
2-3	3.3	4.17	0.87	-	3.47
3-4	3.2	4.17	0.97	-	4.44
4-5	3.25	4.17	0.92	-	5.36
5-6	3.4	4.17	0.77	-	6.13
6-7	3.85	4.17	0.32	-	**6.45**
7-8	4.45	4.17	-	0.28	6.17
8-9	5.2	4.17	-	1.03	5.14
9-10	5.05	4.17	-	0.85	4.29
10-11	4.85	4.17	-	0.68	3.61
11-12	4.6	4.17	-	0.43	3.18
12-13	4.6	4.17	-	0.43	2.75
13-14	4.55	4.17	-	0.38	2.37
14-15	4.75	4.17	-	0.58	1.79
15-16	4.7	4.17	-	0.53	1.26
16-17	4.65	4.17	-	0.48	0.78
17-18	4.35	4.13	-	0.22	0.56
18-19	4.4	4.13	-	0.27	0.29
19-20	4.3	4.17	-	0.13	0.16
20-21	4.3	4.17	-	0.13	0.03
21-22	4.2	4.17	-	0.03	**0**
22-23	3.75	4.17	0.42	-	0.42
23-24	3.73	4.17	0.44	-	0.86

Avec :

- Vr : capacité résiduelle (volume utile) (m^3).
- a : fraction horaire du débit maximum journalier (%).
- Q max : La consommation maximale journalière (m^3/j).

Le volume total est déterminé en ajoutant le volume d'incendie au volume de régulation :

Avec :

$$V_T = V_r + V_{inc} \quad \text{(VII-8)}$$

- V_T : capacité totale du réservoir (m^3).
- V_{inc} : volume d'incendie (m^3)

Alors le maximum des restes dans le réservoir : a (%) = 6.45 %

Ce tableau nous donne un résidu maximum égal à 6.45 %, sans prise en compte de la réserve d'incendie donc le volume du réservoir est donné par la relation suivante :

$$V_{tot} = a\,(\%) \times \frac{Q_{max.j}}{100} + V_{inc}\,(m^3) \qquad \text{(VII-9)}$$

- a (%) : représente le maximum des restes de Q_{maxj} en pourcentage.
- V_{inc} : réserve d'incendie qui est égale à 120 m^3.

Tableau VII. 2 : Bilan de capacité de stockage

Horizons	Actuel 2025	Court terme 2040	Long terme 2055
a (%)	6.45	6.45	6.45
$Q_{max\ j}$ (m^3/j)	175994.784	233406.432	335431.656
V_u	11351.7	15054.7	21635.3
V_{inc}	120	120	120
Besoins en stockage (m^3).	11471.7	15174.7	21755.3
Capacité disponible (m^3)	10600	10600	10600
Déficit (m^3)	871.7	4574.7	11155.3
Surplus (m^3)	-	-	-

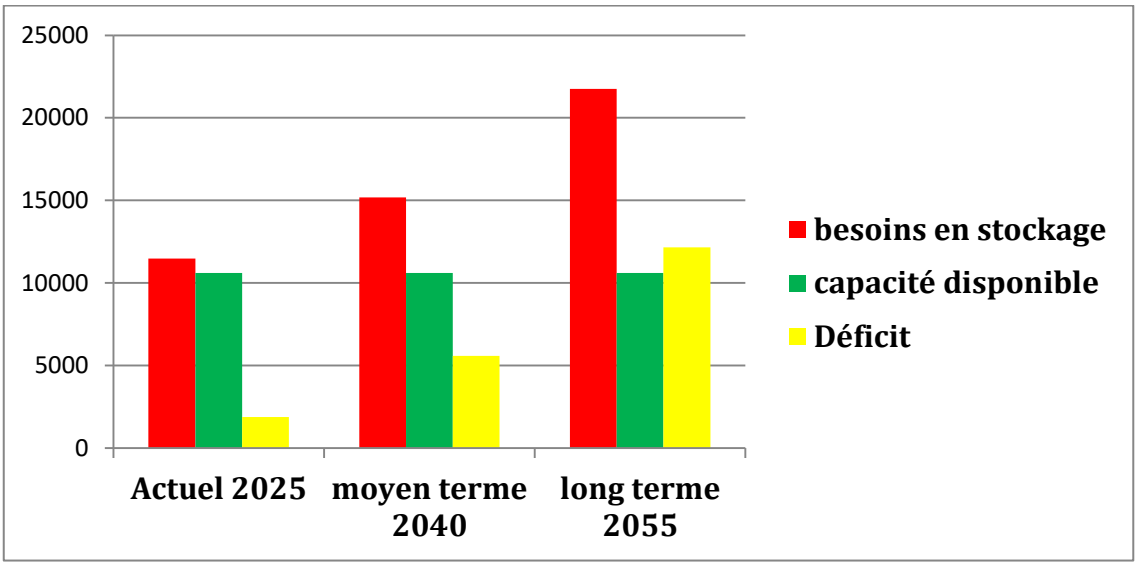


Figure VII. 2 : Graphique des capacités de stockage

<u>Les réservoirs existants</u> :

Le couloir 01 est alimenté actuellement par six réservoirs qui sont :

- ✓ Réservoir de Tazoult : 500 +300 m^3
- ✓ Réservoir de Batna : 5000 m^3
- ✓ Réservoir de Hamla : 1000 m^3
- ✓ Réservoir de Ain Touta : 500 m^3
- ✓ Réservoir de Seggana : 500 m^3

- ✓ Réservoir de Barika : 2000+1000 m^3

VII.9 Dimensionnement des réservoirs du système d'adduction :

➢ Dimensionnement de la bâche de reprise de la station de pompage (SP1-1) :

Le volume utile de marnage, correspond au différentiel d'eau contenu dans le réservoir entre le niveau maximal et le niveau minimal. Pour déterminer cette capacité, la méthode de calcul est comme suit .

$$V=\frac{Q\times(\frac{1}{n})}{4\times(N-1)} \quad \text{(VII-10)}$$

Avec :

- n : nombre maxi de démarrages par heures ;
- N : nombre de pompe identiques N=5

Tableau VII. 3 : Variation du nombre de démarrage par heure en fonction de la puissance de la pompe

Nombre de démarrage	**4**	**6**	**8**	**10**
Puissance de la pompe	$< 30KW$	$> 15KW$	<8KW	$< 4KW$

D'après le tableau et pour une puissance de 1079.65 KW, on peut retenir 4 démarrages / h

$$V= \frac{8136\times(\frac{1}{4})}{4\times(5-1)} = 127.125\ m^3$$

Le volume utile de la bâche de reprise sera majoré de 30 %

Donc : $V_{bâche} = 165.2625\ m^3$

On choisit un volume normalisé de 170 m^3.

➢ Dimensionnement de la bâche de reprise de la station de pompage (SP1-2) :

D'après le tableau et pour une puissance de 893.51 KW, on peut retenir 4 démarrages / h

$$V = \frac{7704\times(\frac{1}{4})}{4\times(5-1)} = 120.375\ m^3$$

Le volume utile de la bâche de reprise sera majoré de 30%

Donc : $V_{bâche} = 156.4875\ m^3$

On choisit un volume normalisé de 160 m^3.

- **Dimensionnement du réservoir mise en charge (RMC1-1) :**

Le réservoir mise en charge RMC1-1 sert à transiter le débit refoulé par la station de pompage SP1-2 vers le couloir d'adduction 01. Le volume du réservoir est donné par :

$$V = V_r + V_s + V_a \quad \text{(VII-11)}$$

- V_r : volume de régulation ;

$$V_r = Q \times \frac{T}{4} \quad \text{(VII-12)}$$

- Q : le débit transité dans la conduite ;
- T : pris égal à 45 minutes ;
- Vs : Volume de sécurité ;

$$V_s = Q \times \frac{t}{2} \quad \text{(VII-13)}$$

- t : temps de fermeture de la vanne (15 min) ;
- Va : volume correspondant au signal d'alarme.

$$Va = S \times h \quad \text{(VII-14)}$$

$$S = (Vr + Vs) / H \quad \text{(VII-15)}$$

- h : Hauteur proposée pour le réservoir = 10 cm.

Tableau VII. 4 : Calcul du volume du réservoir tampon

Q (m^3/h)	Vr (m^3)	Vs (m^3)	Vr + Vs (m^3)	S (m^2)	Va (m^3)	V (m^3)	V normalisé (m^3)
7 704	1 444.5	481.5	1926	385.2	38.52	1 964.52	2 500

On prend un réservoir rectangulaire à deux compartiments chacun de volume 2500 m^3.

- **Dimensionnement des réservoirs terminaux :**

Sont des réservoirs de tête des réseaux de distribution des villes de TAZOULT, BATNA, HAMLA, AIN TOUTA, SEGGANA et BARIKA. Ces réservoirs sont alimentés gravitairement par le réservoir RMC1-1.

Réservoir de TAZOULT :

La capacité de stockage du réservoir de tête de la ville de TAZOULT est :

AN :

- Qa = 7993.188 m^3 / j = 333.05 m^3 / h;
- Qmax, h = 476.26 m^3 / h.

Donc : V = 4 × (476.26 – 333.05) = 572.84 m^3

Nous préconisons un volume de 120 m^3 comme réserve d'incendie.

Donc le volume total du réservoir sera :

V_t = 572.84 + 120 = 732.84 m^3

Le volume normalisé sera de 800 m^3 on prend deux réservoirs de volume 500 et 300 m^3

Réservoir de BATNA :

La capacité de stockage du réservoir de la ville de BATNA est :

AN :

- Qa = 4161.33 m^3 / h;
- Qmax, h = 5572.02 m^3 / h.

Donc : V = 4 × (5572.02 – 4161.33) = 5642.76 m^3

Nous préconisons un volume de 120 m^3 comme réserve d'incendie.

Donc le volume total du réservoir sera :

Vt = 5642.76 + 120 = 5762.76 m^3

Le volume normalisé sera de 6000 m, donc on prend deux réservoirs, un de volume 5000 m^3 et un autre de 1000 m^3 sera projeté.

Réservoir de HAMLA :

La capacité de stockage du réservoir de la ville de HAMLA est :

AN :

- Qa = 471.734 m^3 / h;
- Qmax, h = 674.58 m^3 / h.

Donc : V = 4 × (674.58 – 471.734) = 811.384 m^3

Nous préconisons un volume de 120 m^3 comme réserve d'incendie.

Donc le volume total du réservoir sera :

Vt = 811.384 + 120 = 931.384 m^3

Le volume normalisé sera de 1000 m^3

Réservoir d'AIN TOUTA :

La capacité de stockage du réservoir de la ville d'AIN TOUTA est :

AN :

- Qa= 134.94 m^3/h;
- Qmax, h = 210.51 m^3/h.

Donc : V = 4 × (210.51 – 134.94) = 302.28 m^3

Nous préconisons un volume de 120 m^3 comme réserve d'incendie.

Donc le volume total du réservoir sera :

Vt = 302.28+ 120 = 422.28 m^3

Le volume normalisé sera de 500 m^3

Réservoir de SEGGANA :

La capacité de stockage du réservoir de la ville de SEGGANA est :

AN :

- Qa = 85.059 m^3/h ;
- Qmax, h = 143.75 m^3/h.

Donc : V = 4 × (143.75 – 85.059) = 234.764 m^3

Nous préconisons un volume de 120 m^3 comme réserve d'incendie.

Donc le volume total du réservoir sera :

Vt = 234.764+ 120 = 354.764 m^3

Le volume normalisé sera de 500 m^3

Réservoir de BARIKA :

La capacité de stockage du réservoir de la ville de BARIKA est :

AN :

- Qa = 1597.354 m^3/h;
- Qmax, h = 2138.86 m^3/h.

Donc : V = 4 × (2138.86 – 1597.354) = 2166.024 m^3

Nous préconisons un volume de 120 m^3 comme réserve d'incendie.

Donc le volume total du réservoir sera :

Vt = 2166.024 + 120 = 2286.024 m^3

Le volume normalisé sera de 3000 m^3 on prend deux réservoirs de volume 2000 et 1000 m^3

VII.10 ANALYSE DES RESULTATS :

Il est à signaler que le couloir 01 est alimenté par 6 réservoirs de 10600 m^3, ce qui est considéré comme insuffisant. Il est donc nécessaire de projeter un autre réservoir d'une capacité de 1000 m^3 à la commune de Batna.

VII.11 Forme des réservoirs :

La section circulaire est généralement adoptée pour les réservoirs de capacité inférieure à 10000 m^3, ce qui permet de choisir cette forme pour tous les réservoirs de notre projet.

La hauteur d'eau utile est limitée généralement entre 3 et 6 mètres ; l'optimum, pour les agglomérations de petite ou moyenne importance, se situe le plus souvent vers 4 à 5 mètres, leurs dimensions sont déterminées comme suit :

- **Le diamètre D de la cuve :**

$$S = \frac{V_n}{h} \rightarrow \frac{\pi \times D^2}{4} \rightarrow \frac{V_n}{h} \rightarrow D = \sqrt{\frac{4 \times V_n}{\pi \times h}} \qquad \text{(VII-16)}$$

- $\boldsymbol{V_n}$: Capacité normalisée du réservoir (m^3) ;
- S : Section du réservoir (m^2) ;
- D : Diamètre de la cuve (m) ;
- h : Hauteur utile optimale d'eau (m),

On prend h = 5 m.

- **Réévaluation de la hauteur d'eau h :**

On calcule le diamètre de la cuve comme suit :

$$h = \frac{4 \times V_n}{\pi \times D^2} \qquad \text{(VII-17)}$$

- **La section de la cuve :**

La section est calculée comme suit :

$$S = \frac{V_n}{h} \quad \text{(VII-18)}$$

- **La hauteur totale H du réservoir :**

  On calcule la hauteur du réservoir moyennant la formule :

$$H = h + R \quad \text{(VII-19)}$$

Avec :

- H : Hauteur totale du réservoir (m) ;
- h : Hauteur d'eau (m) ;
- R : revanche (m), qui varie de 0,25 à 1 m.

Tableau VII. 5: les dimensions de réservoir projeté à la ville de BATNA

Réservoirs	**Volume (m^3)**	**D (m)**	**S (m^2)**	**h (m)**	**R (m)**	**H (m)**
Réservoir projeté	1000	16	200	5	0.5	5.5

Conclusion:

L'étude du stockage des réservoirs d'eau potable, nécessaires au couloir 01, dans la wilaya de Batna, est une étape indispensable pour assurer un approvisionnement en eau fiable, continu et adapté aux besoins spécifiques de la population locale.

Le couloir 01 possède actuellement six réservoirs d'une capacité de stockage totale de 10600 m3. Après avoir fait le calcul du volume de stockage nécessaire, nous avons constaté un déficit, c'est pourquoi nous recommandons la réalisation d'un nouveau réservoir de capacité 1000m^3 à la commune de Batna

Chapitre VIII : Choix des matériaux et réhabilitation des conduites de refoulement

Introduction :

Face au récent éclatement de la conduite en BPAT, le choix du matériau pour notre projet est d'une importance capitale. Ce chapitre propose une analyse comparative approfondie entre les matériaux des conduites, en mettant en lumière les points faibles de chacun. Notre objectif est de justifier la solution optimale qui garantira non seulement les performances techniques attendues, mais aussi d'assurer la protection nécessaire pour une performance à long terme de notre projet.

VIII.1 Aperçu sur les différents matériaux :

Les matériaux entrant dans la fabrication des conduites se distinguent fortement en termes de composition chimique, de processus de production, de propriétés physiques et le cout. Voici les principaux types de canalisations pour le transport d'eau potable :

a. Acier :

L'acier est le matériau privilégié pour les réseaux d'adduction d'eau potable et les conduites de transfert d'eau brute, car il offre la solution a plus rentable face aux contraintes techniques les plus sévères.

Les performances des tubes, notamment sa résistance aux fortes pressions et aux contraintes mécaniques, sont directement liées à l'épaisseur de métal.

b. Fonte grise :

Ces tuyaux sont parmi les plus largement utilisés pour l'adduction publique, grâce à leur durée de vie qui peut excéder 100 ans. Cependant, leur principale faiblesse réside dans leur vulnérabilité aux sollicitations externes telles que les mouvements du sol, les phénomènes de coup de bélier et les surcharges engendrées par la circulation lourde dans la zone de pose.

La fonte grise possède les caractéristiques suivantes :

- Résistance à la compression ;
- Aptitude au moulage ;
- Résistance à l'abrasion,
- Usinabilité.

c. Fonte ductile :

La fonte ductile se distingue de la fonte grise par une structure différente et l'acquisition de propriétés complémentaires. Notamment, elle devient ductile et résiliente, s'affranchissant de sa fragilité antérieure. Cette amélioration est le résultat direct de l'incorporation de magnésium dans la masse fondue, ce qui a pour effet de modifier la cristallisation du graphite en favorisant l'apparition de sphères. La fonte ductile présente les caractéristiques complémentaires suivantes :

- Haute limite élastique ;
- Résistance à la traction ;
- Résistance aux chocs ;
- Allongement important,
- Une durée de vie pouvant dépasser largement les 50 voire 100 ans à condition que les instructions de mise en œuvre soient respectées.

d. Béton :

Ces canalisations de grand diamètre sont typiquement utilisées pour des dimensions allant de 400 à 4 000 mm, bien qu'elles concernent généralement les diamètres supérieurs à 300 mm. Elles sont appréciées pour leur excellente résistance mécanique et leur bonne résistance à la corrosion interne et externe, assurant une durabilité de 100 ans.

e. Béton précontraint :

Souvent utilisés pour les conduites d'eau potable, les tuyaux en béton précontraint sont encore opérationnels, notamment sous des pressions modérées. Leur raccordement est assuré par un emboîtement mâle et femelle muni d'un joint d'étanchéité, capable de supporter des pressions de 2 à 20 bars.

La précontrainte est obtenue en utilisant des câbles d'acier de haute résistance pour mettre le béton sous tension.

f. Béton précontraint à âme tôle :

Ces canalisations sont spécifiquement employées pour l'acheminement de l'eau potable. Elles se caractérisent par une grande modularité des dimensions : les diamètres varient de 200 mm à 4 000 mm, et les longueurs unitaires sont comprises entre 2,34 m et 6,15 m. De plus, elles sont capables de résister à une pression de service allant jusqu'à 25 bars.

- **La canalisation comprend :**

- D’une paroi intérieure en béton riche en ciment et très lisse qui protège la tôle contre la corrosion de l’acier par passivation et contre l’abrasion. Celle-ci permet, contrairement aux revêtements minces des autres matériaux, de résister à la dépression et aux vibrations.

- D'un tube médian fabriqué à partir de tôles d'acier cintrées et soudées longitudinalement ou hélicoïdalement assurant une étanchéité totale et l'auto-buttage de la conduite.
- D'une armature en acier réalisée par enroulement hélicoïdal d'un fil d'acier à pas constant.
- D'une paroi extérieure en béton armé qui protège indéfiniment la tôle des agents agressifs extérieurs (terrain, nappe phréatique,...) et reprend les efforts dus aux remblais et aux charges extérieures. (Bonnat TP, [Brochure technique], 2021.)

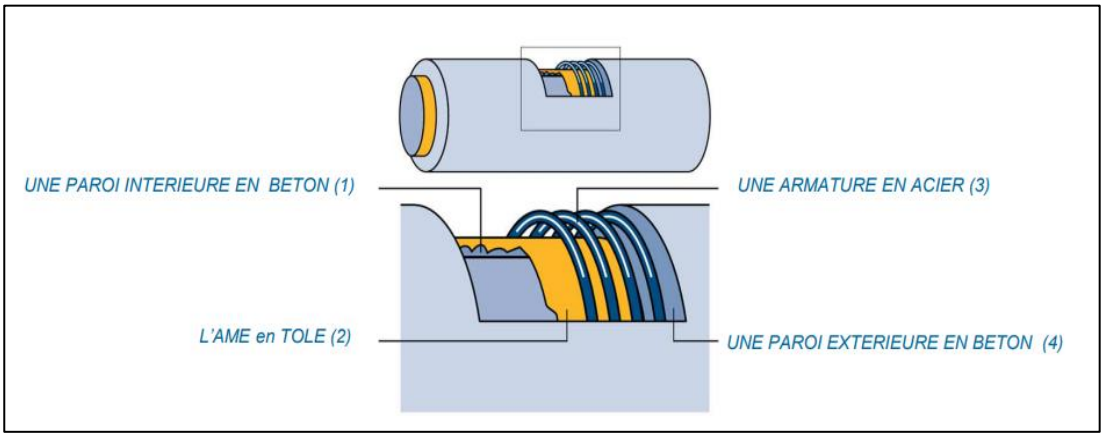


Figure VIII. 1 : Schéma d'une conduite en béton précontraint à âme tôle

(Source : Bonnat TP, [Brochure technique], 2021.)

➢ Remarque :

Dans le cadre de cette étude, les conduites plastiques n'ont pas été retenues en raison de leur résistance insuffisante. Face aux exigences techniques et aux contraintes de charge du projet, ce type de matériau n'offrait pas la robustesse nécessaire pour garantir la durabilité et la sécurité de l'installation. Cette exclusion a donc orienté le choix vers des solutions de canalisation plus résistantes.

VIII.2 Avantages et inconvénients des types de canalisations :

Chaque matériau de conduite possède des avantages et des inconvénients qui influencent grandement son adéquation à un projet donné.

Tableau VIII. 1 : Avantages et inconvénients des différents matériaux

Matériaux	Avantages	Inconvénients
Acier	• Réduction importante du nombre de joints • Etanchéité • Continuité de la résistance mécanique	• Nécessite une protection cathodique contre la corrosion extérieure • Prix élevé

	• Bonne élasticité	• Poids élevé
Fonte ductile	• Bonne résistance mécanique (réduction du risque de fissure) • Bonne élasticité • Matériaux flexibles • Les conduites sont protégées à l'intérieur avec une couche de mortier traité de point de vue thermique et à l'extérieur avec protection en Zinc	• Nombre de joints important • Poids élevé • Nécessite une protection cathodique passive • Sensibilité à la corrosion • Prix élevé • Cout de manutention (poids)
Fonte grise	• Résistance à la corrosion • Durabilité élevé	• Sensibilité au choc et surpression (risque de cassure) • Sensibilité à la corrosion car posé sans protection cathodique • Matériaux non résistant aux dynamiques et sismiques
Béton	• Pose continue sans joint • Bonne résistance contre les corrosions intérieures et extérieures • Bonne résistance mécanique	• Peut affecter les caractéristiques organoleptiques de l'eau • Poids élevé
BPAT	• Étanchéité exceptionnelle • Haute résistance à la pression • Grande durabilité et longévité • Résistance aux impacts et aux charges externes	• Coût initial élevé • Poids et manutention • Complexité de réparation • Sensibilité aux dommages lors du transport/stockage

VIII.3 Comparaison technique entre les conduites en fonte, acier et BPAT :

La comparaison technique entre la fonte, l'acier et le BPAT est essentielle pour choisir le matériau le plus approprié à une application donnée, notamment dans le transport de fluides sous pression.

Tableau VIII. 2 : Comparaison technique entre les conduites en fonte, acier et BPAT

Caractéristique / Matériau	Fonte (majoritairement Fonte ductile)	Acier (Carbone ou Inoxydable)	BPAT (Béton Précontraint avec Âme en Tôle)
Composition Principale	Alliage fer-carbone (>2% C) avec ajout de magnésium (pour la fonte ductile)	Alliage fer-carbone (<2% C) et autres éléments d'alliage (Mn, Si, Cr, Ni, etc.)	Âme en tôle d'acier, couche de béton, enroulement de fils d'acier précontraints, revêtement de mortier de ciment.
Résistance à la Traction	Moyenne (environ 300-500 MPa pour la fonte ductile). Bonne résistance à la compression.	Très élevée (300-1000+ MPa selon la nuance). Excellente résistance à la traction.	Élevée (grâce à l'âme en tôle et la précontrainte), mais la résistance dépend de l'ensemble du système.
Ductilité / Fragilité	Bonne ductilité pour la fonte ductile (permet une déformation avant rupture), mais reste plus fragile que l'acier.	Excellente ductilité et ténacité. Se déforme plastiquement avant la rupture, résiste bien aux chocs.	Faible ductilité globale, la rupture du béton est fragile, mais l'âme en tôle confère une certaine résistance résiduelle.
Résistance à la Pression	Bonne (PN 10 à PN 64 courantes	Très élevée (PN 10 à PN 400+ courantes). Capable de supporter de très hautes pressions.	Élevée (PN 10 à PN 25/32 courantes, parfois plus). Bonne pour les grands diamètres sous pression.
Diamètres Disponibles	Petits à grands (DN 50 à DN 2000+). Très courant pour les réseaux de distribution.	Petits à très grands (DN 15 à DN 3000+). Très polyvalent	Grands à très grands (DN 300 à DN 4000+). Spécialisé pour les grosses adductions.

Résistance à la Corrosion	Très bonne (surtout avec revêtements internes/externes : ciment, zinc, époxy, polyuréthane). Formation d'une couche de patine protectrice.	Variable. L'acier carbone est très sensible à la corrosion (nécessite revêtements/protection cathodique). L'acier inoxydable est très résistant.	Très bonne (le mortier de ciment et l'âme en tôle sont protégés par le béton alcalin). Excellente pour les milieux agressifs.
Poids	Lourd.	Relativement léger par rapport à la fonte pour une même résistance (à diamètre équivalent).	Très lourd (à cause du béton). Nécessite des engins de levage importants.
Facilité de Pose / Installation	Lourde, mais emboîtements faciles et rapides. Nécessite engins de levage.	Variable : légère pour petits diamètres, lourde pour grands. Soudage (nécessite personnel qualifié) ou assemblage boulonné. Grande adaptabilité aux tracés.	Très lourde, manutention complexe, nécessite engins lourds et fondations stables. Emboîtements spécifiques.
Coût	Généralement modéré à élever (dépend du diamètre et de la PN).	Modéré à très élevé (l'acier inoxydable est coûteux). Le coût des soudures peut être significatif.	Élevé (matériaux composites, processus de fabrication complexe, transport/pose lourds).
Durée de Vie	Très longue (50 à 100 ans et plus avec une bonne protection)	Très longue (50 ans et plus avec protection adéquate et maintenance). L'inox est quasiment illimité.	Très longue (50 à 100 ans et plus). Le béton protège bien l'acier interne.
Résistance aux Chocs	Bonne pour la fonte ductile (meilleure que la fonte grise).	Excellente. Très résistant aux impacts et aux mouvements de terrain (séismes).	Moyenne à faible pour le béton (fragilité inhérente). Les chocs violents peuvent endommager le revêtement.

Maintenance	Faible à modérée si bien protégée. Surveillance de la corrosion externe/interne si non protégée.	Modérée à élevée pour l'acier carbone (protection anticorrosion). Faible pour l'acier inoxydable.	Faible, mais nécessite une inspection des joints et parfois des réparations localisées du béton de protection.
Soudabilité	Généralement non soudable sur site pour les conduites (fonte ductile).	Excellente (pour l'acier carbone et certains inox). Permet des jonctions continues et résistantes.	Non soudable (composé de béton et d'acier).
Applications Typiques	Réseaux d'adduction d'eau potable, assainissement, irrigation, refoulement, incendie	Pipelines pétroliers/gaziers (haute pression/grands diamètres), réseaux industriels (vapeur, fluides corrosifs, haute température)	Grandes adductions d'eau potable, émissaires, réseaux d'irrigation à gros débit, réseaux industriels à gros débits et pressions moyennes/élevées.

VIII.4 Comparaison des pressions :

La résistance à la pression est un paramètre déterminant dans le choix des conduites, nous allons voire dans le tableau suivant les valeurs des pressions des différents matériaux.

Les déférentes pressions en fonction des diamètres et les classes des conduites pour les conduites en fonte mentionnées dans le tableau (VIII.3)

Tableau VIII. 3 : Les déférentes pressions en fonction des diamètres et les classes des conduites pour les conduites en fonte

DN (mm)	PN 10			PN 16			PN 25			PN 40		
	PFA	PMA	PEA	PFA	PMA	PEA	PFA	PMA	PEA	PFA	PMA	PEA
60-80	10	12	17	16	20	25	25	30	35	40	48	53
100-150	10	12	17	16	20	25	25	30	35	40	48	53
200-300	10	12	17	16	20	25	25	30	35	40	48	53
350-1200	10	12	17	16	20	25	25	30	35	-	-	-
1400-2000	10	12	17	16	20	25	-	-	-	-	-	-

Les déférentes pressions en fonction des diamètres et les classes des conduites pour les conduites en Acier mentionnées dans le tableau (VIII.4)

Tableau VIII. 4 : Les déférentes pressions en fonction des diamètres et les classes des conduites pour les conduites en Acier

DN (mm)	PN 10			PN 20			PN 25			PN 40	
	PFA	PMA	PEA	PFA	PMA	PEA	PFA	PMA	PEA	PFA	PMA
50-100	10	12	15	20	24	30	25	30	38	40	48
150-300	10	12	15	20	24	30	25	30	38	40	48
350-600	10	12	15	20	24	30	25	30	38	40	48
700-1200	10	12	15	20	24	30	25	30	38	40	48
1400-2000	10	12	15	20	24	30	25	30	38	40	48
2000-3000	10	12	15	20	24	30	25	30	38	40	48

Les déférentes pressions en fonction des diamètres et les classes des conduites pour les conduites en BPAT mentionnées dans le tableau (VIII.5)

Tableau VIII. 5 : Les déférentes pressions en fonction des diamètres et les classes des conduites pour les conduites en BPAT

DN (mm)	PN 10			PN 16			PN 20			PN 25	
	PFA	PMA	PEA	PFA	PMA	PEA	PFA	PMA	PEA	PFA	PMA
300-600	10	12	15	16	20	25	20	24	30	25	30
700-1200	10	12	15	16	20	25	20	24	30	25	30
1400-2000	10	12	15	16	20	25	20	24	30	25	30
2200-3000	10	12	15	16	20	25	20	24	30	-	-
3000+	10	12	15	16	20	25	-	-	-	-	-

- **Interprétation :**

Pour un projet de grand transfert d'eau, où les défis incluent souvent de longues distances, des variations topographiques, des pressions potentiellement élevées et la nécessité d'une fiabilité à toute épreuve, l'acier et le BPAT se positionnent comme des matériaux les plus adaptés et polyvalents. Cette préférence s'appuie sur une combinaison de facteurs techniques et de performance distinctifs telle que ses capacités à opérer sous de très hautes pressions, ses ductilités supérieures offrant une résilience face aux contraintes externes et sa flexibilité d'installation en font un investissement fiable et performant pour les infrastructures critiques de transport d'eau sur de longues distances. Bien que son coût initial puisse être plus élevé que d'autres options pour certaines applications, ses robustesses et durée de vie contribuent à optimiser le coût global du cycle de vie du projet.

VIII.5 Critères de choix du matériau de la conduite :

A. Critères technique et économique :

Le choix du matériau des conduites pour le transport du fluide dépend de leur faisabilité technique et économique.

Cette faisabilité technique dépend de plusieurs exigences telles que :

• Résistance aux attaques chimiques, aux pressions et à la résistance des charges mobiles ;
• Adaptation aux terrains de pose ;
• Bonne étanchéité ;
• Facilité d'entretien et de mise en service.

Cette faisabilité économique dépend essentiellement :

• Du prix de la fourniture et du transport ;
• De leur disponibilité sur le marché local (de préférence) ;
• De l'énergie consommée lors de l'exploitation.

B. Critères mécaniques :

La conduite de transfert doit répondre aux critères de résistance mécanique liés aux facteurs suivants :

- La nature des terrains traversés et les mouvements de terrain
- La pression maximale de service et de fonctionnement en régimes transitoires.
- La profondeur de pose.
- Les variations de températures.

Les pressions relatives à la conduite :

Lors du choix d'un composant d'une canalisation, il faut s'assurer que les trois inégalités ci-contre sont respectées.

$DP \leq PFA$

$MDP \leq PMA$

$STP \leq PEA$

Pression relative au concepteur :

DP : Pression de calcul en régime permanent : pression maximale de fonctionnement de la zone de pression, fixée par le projeteur mais non compris le coup de bélier.

MDP : Pression maximale de calcul : pression maximale de fonctionnement de la zone de pression, fixée par le projeteur mais comprenant le coup de bélier et tenant compte de développement futurs.

STP : Pression d'épreuve du réseau : pression hydrostatique appliquée à une conduite nouvellement posée de façon à assurer de son intégralité et de son étanchéité.

Pression relative au fabricant :

PFA : Pression de fonctionnement admissible : pression interne, non compris le coup de bélier, qu'un composant peut supporter en toute sécurité de façon continue en régime hydraulique permanent.

PMA : Pression maximale admissible : pression interne maximale, y compris le coup de bélier, qu'un composant peut supporter de façon sûre en service.

PEA : Pression d'épreuve admissible : pression hydrostatique maximale qui peut être appliquée sur site à un composant d'une canalisation nouvellement installée.

VIII.6 Etude technico-économique des conduites de refoulement SP Ain Kercha – Barrage de Koudiat Medouar :

VIII.6.1 Variante 01 :

La Variante 1 du projet consiste à utiliser des conduites en acier pour les tronçons principaux de transfert. Cette approche implique la mise en œuvre de deux segments clés :

Le premier tronçon, s'étendant du Point Kilométrique PK 18 au PK 31, sera constitué de deux lignes parallèles de conduites en acier de Diamètre Nominal (DN) 2000 mm avec une Pression Nominale (PN) de 25 bars. Ce segment aura une longueur totale de 13 000 mètres.

Le second tronçon débutera au PK 31 et se prolongera jusqu'au PK 42+200. Il sera également composé de deux lignes parallèles de conduites en acier de DN 2000 mm, mais avec une PN de 20 bars. La longueur de ce second segment sera de 11 000 mètres.

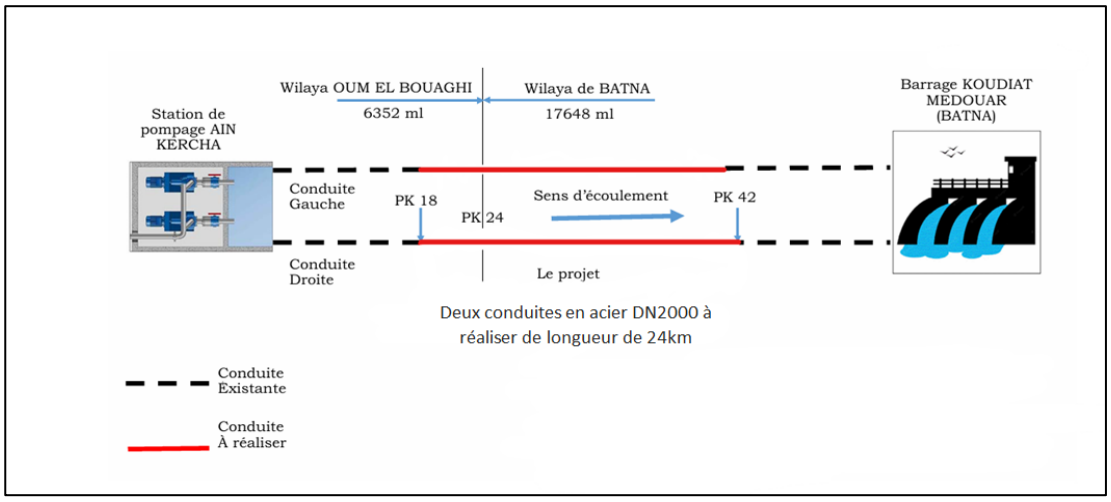


Figure VIII. 2 : Schéma variante 01

VIII.6.2 Variante 02 :

La Variante 2 marque un changement stratégique, remplaçant l'approche initiale basée sur le BPAT par l'utilisation exclusive de conduites en acier

Le premier tronçon, s'étendant du Point Kilométrique PK 18 au PK 31, sera constitué de deux lignes parallèles (2x) de conduites en acier de Diamètre Nominal (DN) 2000 mm avec une Pression Nominale (PN) de 25 bars. Ce segment aura une longueur totale de 13 000 mètres.

Le deuxième tronçon débutera au PK 31 et se prolongera jusqu'au PK 42+200. Il sera également composé de deux lignes parallèles (2x) de conduites en acier de DN 2000 mm, mais avec une PN de 20 bars. La longueur de ce second segment sera de 11 000 mètres.

Enfin, le troisième et dernier tronçon, commençant au PK 42+200 et allant jusqu'au PK 54+700, comprendra également deux lignes parallèles (2x) de conduites en acier de DN 2000 mm, cette fois avec une PN de 16 bars. La longueur de ce segment final sera de 12 700 mètres.

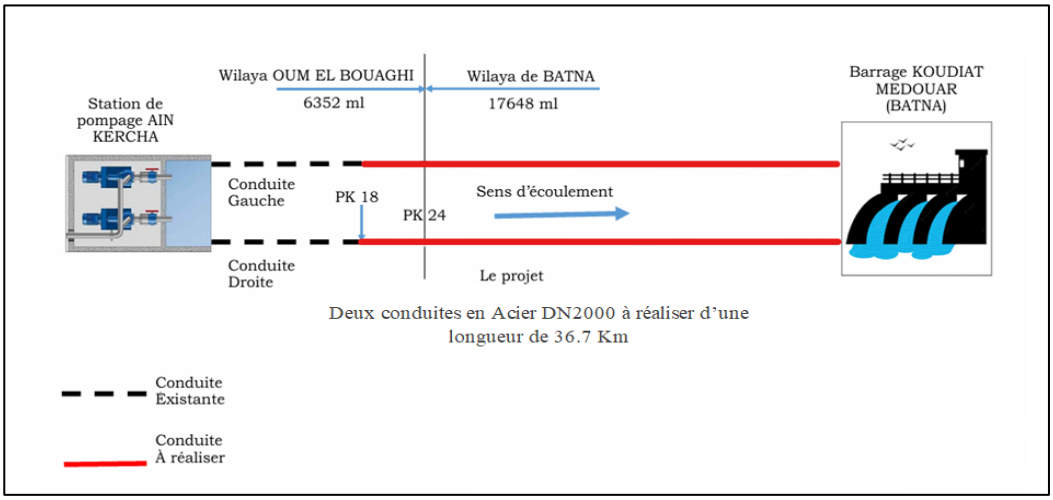


Figure VIII. 3 : Schéma variante 02

Les résultats de dimensionnement sont donnés dans les tableaux ci-dessous :

Tableau VIII. 6 : Description de variante 01

Tronçon	Nature et diamètre de la conduite (mm)	Longueur (ml)	Fourniture seule DA/ml	Prix global DA/ml	Etat des conduites
PK 00-PK 10	Acier PN40 2x DN 2000	10000	300 000- 400 000	400000-500000	Existante
PK 10-PK 18	Acier PN32 2x DN 2000	8000	250 000-350 000	350000-450000	Existante
PK 18- PK 31	Acier PN25 2x DN 2000	13000	220000-280000	320000-380000	Projetée
PK 31- PK 42+200	Acier PN20 2x DN 2000	11000	200000-260000	300000-360000	Projetée
PK 42+200- PK 54+700	BPAT PN16 2x DN2000	12700	115 000-130 000	165000-185000	Existante

- **Frais d'exploitation de la conduite :**
- **Calcul de la HMT :**

Le calcul de la HMT pour la variante 01 dans le tableau ci-dessous (Tableau VII.7).

Tableau VIII. 7 : Calcul de la HMT pour la variante 01

D (mm)	Q (m^3/s)	L (m)	λ_{acier}	λ_{BPAT}	ΔH (mCE)	Hg (mCE)	HMT (mCE)
2000	4.881	54700	0.013956	0.016574	49.01	159.4	208.41

Les frais d'exploitation du tronçon SP AK – Barrage de Koudiat Medouar dans le tableau suivant (Tableau VIII.8).

Tableau VIII. 8 : Frais d'exploitation du tronçon SP AK – Barrage de Koudiat Medouar

D (mm)	HMT (mCE)	P (W)	Prix unitaire (DA)	E (KWh)	F exploitation (DA)
Acier PN25 2x DN 2000	208.41	4 772 460.426	4,64	41 806 753.33	193 983 335.5
Acier PN20 2x DN 2000	208.41	4772460.426	4,64	41806753.33	193 983 335.5

- **Calcul des frais d'investissement :**

Les frais d'investissement du tronçon SP AK – Barrage de Koudiat Medouar dans le tableau ci-dessous (Tableau VIII.9).

Tableau VIII. 9 : Frais d'investissement du tronçon SP AK – Barrage de Koudiat Medouar

D (mm)	prix de ml (DA)	L (m)	prix total (DA)	Annuité	F amortissement (DA)	F investissement (DA)
Acier PN25 DN 2000	320 000	13 000	4.16×10^9	0,081	336 960 000	4 496 960 000
Acier PN20 DN 2000	300 000	11 000	3.3×10^9	0,081	267 300 000	3 567 300 000
Total					604 260 000	8 064 260 000

- **Cout Global :**

Le cout Global du tronçon SP AK – Barrage de Koudiat Medouar mentionné dans le tableau :

Tableau VIII. 10 : Cout Global du tronçon SP AK – Barrage de Koudiat Medouar

D (mm)	F exploitation (DA)	F amortissement (DA)	F investissement (DA)	Cout Global (DA)
2×2000	387 966 671	1 208 520 000	$1.612\,852\times10^{10}$	$1.651\,648\,667\times10^{10}$

Le tableau suivant (Tableau VIII.11) représente une description de la variante 02

Tableau VIII. 11 : Description de variante 02

Tronçon	Nature et diamètre de la conduite (mm)	Longueur (ml)	Fourniture seule DA/ml	Prix global DA/ml	Etat des conduites
PK 00-PK 10	Acier PN40 2x DN 2000	10000	300 000- 400 000	400000-500000	Existante
PK 10-PK 18	Acier PN32 2x DN 2000	8000	250 000-350 000	350000-450000	Existante
PK 18- PK 31	Acier PN25 2x DN 2000	13000	220000-280000	320000-380000	Projetée
PK 31- PK 42+200	Acier PN20 2x DN 2000	11000	200000-260000	300000-360000	Projetée
PK 42+200- PK 54+700	Acier PN16 2x DN2000	12700	180000-230000	270000-320000	Projetée

- **Frais d'exploitation de la conduite :**
- **Calcul de la HMT :**

Le calcul de la HMT pour la variante 02 mentionné dans le tableau suivant (Tableau VIII.12)

Tableau VIII. 12 : Calcul de la HMT pour la variante 02

D (mm)	Q (m^3/s)	L (m)	λ_{acier}	ΔH (mCE)	Hg (mCE)	HMT (mCE)
2000	4.881	54700	0.013956	46.96	159.4	206.36

Les frais d'exploitation du tronçon SP AK – Barrage de Koudiat Medouar dans le tableau suivant (Tableau VIII.13).

Tableau VIII. 13 : Frais d'exploitation du tronçon SP AK – Barrage de Koudiat Medouar

D (mm)	HMT (mCE)	P (W)	Prix unitaire (DA)	E (KWh)	F Exploitation (DA)
Acier PN25 2x DN 2000	206.36	4 725 516.69	4,64	41 395 526.2	192 075 241.6
Acier PN20 2x DN 2000	206.36	4 725 516.69	4,64	41 395 526.2	192 075 241.6
Acier PN16 2x DN2000	206.36	4 725 516.69	4.64	41 395 526.2	192 075 241.6

- **Calcul des frais d'investissement :**

Les frais d'investissement du tronçon SP AK – Barrage de Koudiat Medouar dans le tableau ci-dessous (Tableau VIII.14).

Tableau VIII. 14 : Frais d'investissement du tronçon SP AK – Barrage de Koudiat Medouar

D (mm)	Prix de ml (DA)	L (m)	Prix total (DA)	Annuité	F amortissement (DA)	F Investissement (DA)
Acier PN25 DN 2000	320 000	13 000	4.16×10^{9}	0,081	336 960 000	4 496 960 000
Acier PN20 DN 2000	300 000	11 000	3.3×10^{9}	0,081	267 300 000	3 567 300 000
Acier PN16 2x DN2000	270 000	12 700	3.43×10^{9}	0,081	277 749 000	3 707 749 000
Total					882 009 000	$1.1\ 772\ 009\times10^{10}$

- **Cout Global :**

Le cout Global du tronçon SP AK – Barrage de Koudiat Medouar mentionné dans le tableau :

Tableau VIII. 15 : Cout Global du tronçon SP AK – Barrage de Koudiat Medouar

D (mm)	F exploitation (DA)	F amortissement (DA)	F investissement (DA)	Cout Global (DA)
2×2000	384 150 483.2	1 764 018 000	$2.3\ 544\ 018\times10^{10}$	$2.3\ 928\ 168\times10^{10}$

- **Interprétation :**

Après une analyse économique des variantes étudiées, il ressort que la variante 01 présente un avantage significatif et constitue l'option la plus favorable.

VIII.7 Techniques d'assemblage :

L'objectif fondamental de toute méthode d'assemblage est d'assurer l'étanchéité absolue de la liaison entre deux sections de canalisation. Au-delà de l'étanchéité, certains dispositifs possèdent la capacité de résister aux poussées longitudinales, prévenant ainsi la séparation des éléments.

Des techniques spécifiques, comme le soudage, ne sont applicables qu'à certains matériaux et requièrent une maîtrise technique pointue. La mise en œuvre de ces assemblages doit être réalisée avec le plus grand soin, car elle est déterminante pour la performance du réseau. Les assemblages soudés, par exemple, nécessitent l'intervention de spécialistes pour garantir leur fiabilité.

Catégories d'Assemblages :

- Assemblages à brides
- Assemblages flexibles (à joint automatique ou à joint mécanique)
- Assemblages soudés (pour matériaux spécifiques comme l'acier)

Assemblage à brides : Une bride est un élément circulaire doté de perforations destiné à l'insertion de tiges filetées. Située en terminaison du tuyau ou du raccord, elle peut être soit fixe, soit libre en rotation (orientable). L'étanchéité de la jonction repose sur l'insertion d'un joint plat entre les deux brides, celui-ci étant ensuite mis sous compression par le serrage uniforme des boulons. La résistance à la pression nominale de cet assemblage est fonction du calibre de la boulonnerie utilisée et du nombre de points de serrage.

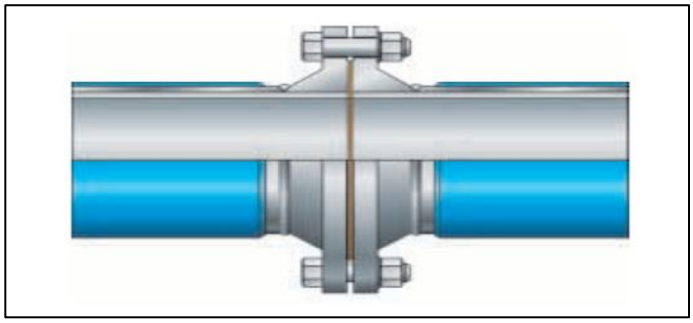


Figure VIII. 4 : Assemblage à brides

Assemblage flexible à joint automatique : Ce type de raccord utilise une bague d'étanchéité en élastomère, laquelle est logée dans la gorge prévue à cet effet au sein de l'emboîture du tuyau. L'étanchéité est créée lorsque l'extrémité opposée (lisse) du tuyau est enfoncée dans l'emboîture, compressant ainsi le joint de manière permanente. L'efficacité de l'étanchéité est renforcée par la pression de l'eau, qui accentue la liaison entre le joint et la paroi externe du tuyau.

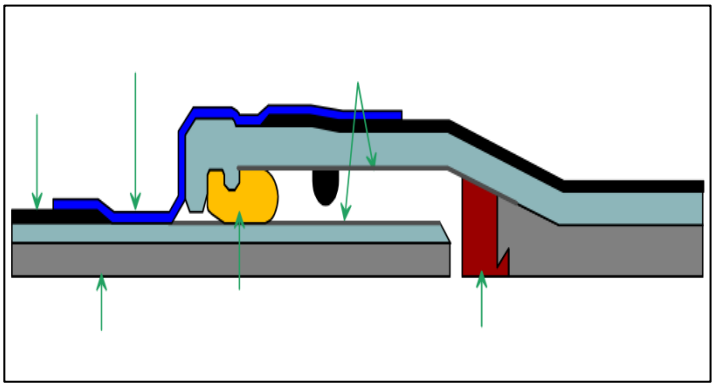


Figure VIII. 5 : Assemblage flexible à joint automatique

Assemblage flexible à joint mécanique : L'assemblage flexible à joint mécanique est surtout privilégié pour raccorder un accessoire à l'extrémité lisse d'un tuyau, étant notamment fréquent pour les accessoires en fonte.

Le principe d'étanchéité est assuré par un joint en élastomère inséré dans une gorge située dans l'emboîture. La force de compression nécessaire sur ce joint n'est pas exercée par le tuyau lui-même, mais par une contre-bride de serrage qui s'appuie sur le joint via son talon de butée.

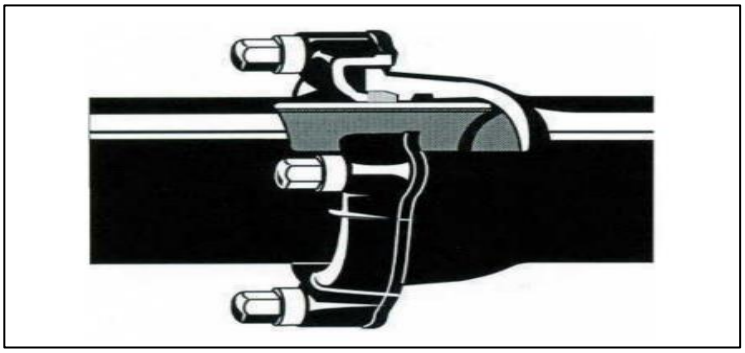


Figure VIII. 6 : Assemblage flexible à joint mécanique

Joint soudé pour les tuyaux acier : Deux procédés majeurs sont employés pour le soudage des tubes en acier : le soudage à l'électrode cellulosique et le procédé semi-automatique. Ce dernier est généralement réservé aux chantiers d'importance, car il maximise la vitesse d'exécution.

Le protocole de soudage implique la réalisation de plusieurs passes (dont le nombre varie selon l'épaisseur), débutant par la phase de pénétration, suivie des passes de remplissage. Ces opérations doivent être confiées à des soudeurs certifiés toutes positions. Une fois la jonction achevée, le revêtement de protection extérieur doit être reconstitué sur la zone soudée.



Figure VIII. 7: Joint soudé pour les tuyaux acier

VIII.8 Protection contre la corrosion :

a. Corrosion :

La corrosion est l'altération subie par les matériaux métalliques des conduites sous l'influence du milieu ambiant.

Ce phénomène est régi par des échanges ioniques et des transferts de charges entre des zones à potentiel différent, identifiées comme l'anode et la cathode du métal. La continuité

électrique est assurée par le matériau de la conduite. Ces réactions peuvent avoir lieu soit entre la conduite et le sol extérieur, soit entre deux sites internes du métal.

Il est reconnu que l'inhomogénéité du sol d'enfouissement est un facteur aggravant de la corrosion pour les conduites enterrées, favorisant l'établissement des circuits de charges entre les zones à potentiel électrochimique variable.

b. Relation sol corrosion des conduites :

Les propriétés du sol exercent une influence significative sur la détérioration des réseaux d'aqueduc. L'agressivité d'un sol est déterminée par son profil chimique, biologique et son niveau d'aération.

Le sol contient une forte concentration de sels minéraux, qui peuvent avoir un effet délétère en favorisant la corrosion des conduites. Ces sels contribuent à la formation de cellules galvaniques, accélérant ainsi le processus de dégradation.

Outre la texture, l'évaluation du taux d'agressivité du sol prend généralement en compte les facteurs suivants :

- La résistivité du sol ;
- La concentration en ions d'hydrogène (pH) ;
- Le potentiel d'oxydoréduction (Rédox) ;
- La présence de sulfates (qualitatifs) ;
- Le taux d'humidité (relatif) ;
- La description du sol (homogénéité, taille des particules, couleur, texture, etc.),
- Dans certains cas, la présence de courants vagabonds (équipement industriel, transport utilisant des trames électriques, etc.).

c. Protection des conduites contre la corrosion :

Par revêtement :

La pose d'un revêtement protecteur sur les canalisations est une approche très efficace, simple et abordable pour les préserver.

Cette mesure de protection est mise en œuvre dès la production des tuyaux. On trouve un large éventail de revêtements différents, chacun étant adapté à un matériau métallique spécifique. Il est important de noter que le choix du revêtement dépend du projet, car chaque solution n'est pas interchangeable. Les revêtements extérieurs possibles ont déjà été décrits en détail pour chaque catégorie de conduite mentionnée précédemment.

Par la protection cathodique :

L'objectif de la protection cathodique est de maintenir l'intégrité des structures en acier exposées à un environnement agressif (enterrées ou immergées), en neutralisant l'attaque électrochimique du métal par le milieu ambiant.

Les réseaux de canalisations en acier représentent le champ d'intervention majeur de cette technique. L'un de ses avantages est son accessibilité économique, permettant de l'appliquer même à des réseaux en acier plus anciens et détériorés. Nous allons maintenant détailler brièvement les différents types de protection cathodique.

- **Soutirage de courant :**

Afin d'éviter la corrosion du métal il faut abaisser son potentiel à un niveau d'immunité, pour cela cette technique consiste à connecter le réseau en un ou plusieurs points au pôle négatif d'une source électrique de courant continu. Le redresseur comporte 2 pôles :

- (+) : Un pôle positif relié à la prise de terre nommée (anode), ou masse sacrificielle, c'est là où la corrosion sera reportée.
- (-) : Un pôle négatif sera relié à la conduite là ou s'échappe le courant de l'installation, il est donc soutiré.

- **Protection par anode réactive :**

Pour les anodes réactives, elles seront disposées dans les zones de terrains agressifs, ceux sont des cylindres de 15 à 30kg que l'on place dans le sol à 3 m environ de la conduite entourée d'une bouille à base d'argile colloïdale qui permet d'entretenir autour de l'anode une humidité favorable. Elles sont reliées à la conduite par un câble isolé ; On relie, de place en place, la conduite à protéger, à un métal plus électronégatif et dans ce cas celle-ci jouera le rôle de cathode.

Conclusion :

Le choix des matériaux pour les canalisations de transfert hydrique est une décision importante, influencée par des critères techniques et économiques rigoureux. Après une analyse approfondie, la variante 1, utilisant des canalisations en acier et en BPAT, se révèle être la solution la plus favorable, tant sur le plan technique qu'économique.

L'acier offre une excellente résistance mécanique aux pressions élevées et aux chocs, garantissant une grande durabilité. Le BPAT, quant à lui, assure une protection supérieure contre la corrosion interne et externe, prolongeant significativement la durée de vie des canalisations et réduisant les besoins en maintenance.

Les techniques de soudure pour l'acier permettent d'obtenir des connexions à la fois robustes et étanches. Ces assemblages créent une continuité parfaite entre les sections de tuyaux, éliminant ainsi les risques de fuites ou de défaillances des joints. Cette méthode contribue à la fiabilité globale et à la longévité du réseau.

Chapitre IX : Management de projet et organisation de chantier

Introduction :

L'organisation d'un chantier est essentielle pour la bonne exécution de tout projet de construction. Dans ce chapitre, nous aborderons en détail les tâches de réalisation des travaux, les méthodes de calcul des volumes des travaux pour une quantification précise, et enfin, l'établissement du devis estimatif pour une maîtrise budgétaire optimale.

IX.1 Différents travaux à entreprendre :

IX.1.1 Travaux concernant l'adduction :

L'installation des canalisations d'adduction suit sept étapes principales:

1. **Exécution des tranchées :** Excavation mécanique avec séparation des déblais et de la zone de manutention des tuyaux.
2. **Construction des regards :** Mise en place d'ouvrages en béton armé pour protéger les accessoires (vannes, ventouses).
3. **Pose du lit de sable :** Installation d'une couche nivelée de sable ou de gravier (0,15 à 0,2 m) au fond de la tranchée.
4. **Pose des conduites :** Installation des tuyaux avec un contrôle constant de leur alignement pour faciliter le raccordement.
5. **Épreuve de joint et de la canalisation :** Tests de pression réalisés avant le remblayage (pression = 1,5 fois la pression de service ; variation tolérée $\leq$ 0,2 bar en 30 minutes).
6. **Remblayage des tranchées :** Après le succès des épreuves, le remblai est mis en place manuellement par couches de 20 à 30 cm, en utilisant la terre des déblais (exempte de tout élément indésirable).
7. **Nivellement et compactage :** Une fois le remblai terminé, un nivellement est effectué pour étaler les terres, suivi d'un compactage visant à augmenter la densité du sol et prévenir tout tassement ultérieur.

IX.1.2 Travaux concernant les réservoirs :

Nous allons décrire ici les principales opérations nécessaires à l'édification du réservoir, en nous concentrant sur les tâches essentielles :

- **Travaux d'Excavation :** Il s'agit du terrassement initial pour créer l'emprise du réservoir. Cette phase inclut l'enlèvement des terres et matériaux jusqu'à l'atteinte de la profondeur et des dimensions de conception de l'ouvrage.
- **Mise en place du Tout-Venant** : Cette opération consiste à étaler une couche de matériaux granulaires non triés (tout-venant) au fond de la fouille. Son rôle est de constituer une couche de fondation stable avant la coulée du béton structurel.

- **Coulage du Béton de Propreté :** Une fine couche de béton faiblement dosé (maigre) est coulée sur le tout-venant. Cette assise a pour but de fournir une surface propre, plane et stabilisée, essentielle pour la mise en œuvre des armatures et pour éviter le contact direct du ferraillage avec le sol.
- **Coulage du Radier (Dalle de Fondation) :** Cette étape cruciale pour l'intégrité de l'ouvrage comprend l'installation des armatures métalliques (ferraillage) et le coulage de la dalle en béton armé constituant la base du réservoir. Le radier assure à la fois la stabilité et l'étanchéité du fond de la structure.
- **Coulage du Voile et des Poteaux :** Ces travaux concernent la construction des éléments verticaux. Ils comprennent le ferraillage et le coulage des murs périphériques (voiles) du réservoir ainsi que des poteaux porteurs dans la chambre de manœuvre, garantissant la résistance verticale de la structure.
- **Coulage de la Coupole et de la Dalle de Couverture :** Il s'agit de la réalisation des éléments supérieurs. La tâche inclut le ferraillage et le coulage du béton pour la toiture du réservoir (coupole ou dalle) et la dalle recouvrant la chambre de manœuvre.
- **Maçonnerie de la Chambre de Manœuvre :** Après l'achèvement des structures en béton, cette phase consiste à ériger les murs non porteurs de l'enceinte technique. Ces murs sont généralement construits en blocs (parpaings ou briques) pour former l'espace protégeant les équipements internes.

IX.2 Calcul des volumes des travaux :

IX.2.1 Calcul des volumes des travaux de transfert :

➢ **Déblai d'excavation :**

Le volume des déblais est calculé en fonction des surfaces des coupes en travers sachant que :

$$S_D = b \times h \qquad \text{(IX-1)}$$

Sachant que :

- S_D : surface des déblais de chaque coupe.
- b : largeur de la tranchée.
- h : profondeur de la tranchée.

$$V_D = S_D \times L \qquad \text{(IX-2)}$$

- V_D : volume des déblais entre deux coupes consécutives.
- L : distance entre deux coupes consécutives.

➢ **La profondeur de la tranchée :**

La profondeur de la tranchée dépend du diamètre de la conduite. Elle est donnée par la relation suivante :

$$H_{tr} = D + h + h_1 \quad \text{(IX-3)}$$

Avec :

- H_{tr} : profondeur de la tranchée (m).
- D : diamètre de la conduite (m).
- h : hauteur de la génératrice supérieure de la conduite à la surface du sol.
- h_1 : épaisseur du lit de pose h1 = 0,20 m.

➢ **Largeur de la conduite :**

La largeur de la tranchée sera calculée en fonction du diamètre de la conduite toute on laisse 40 cm d'espace de chaque côté de la conduite.

$$b = D + 0{,}8 \quad \text{(IX-4)}$$

Avec :

- b : largeur de la tranchée (m).
- D : diamètre de la conduite (m).

Les résultats de calcul du volume du déblai de transfert sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau IX. 1: Calcul du volume du déblai de transfert

D (mm)	**L (m)**	**b (m)**	**Htr (m)**	**S_D (m^2)**	**V_D (m^3)**
2×2000	2×24000	2×2.8	2×3.2	2×8.96	2×139 641.776 3
Volume Total					279 283.552 6

➢ **Lit de sable :**

Le long de transfert, la conduite doit être posée sur un lit de sable de 20 cm d'épaisseur.

$$V_L = b \times e \times L \quad \text{(IX-5)}$$

Avec :

- V_L : volume du lit de sable (m^3).
- b : largeur de la tranchée (m).
- e : épaisseur du lit de sable, e = 20 cm.
- L : longueur de la tranchée (m).

Les résultats de calcul du volume du lit sable sont représentés dans le tableau (Tableau IX.2).

Tableau IX. 2 : Calcul du volume du lit de sable

D (mm)	L (m)	b (m)	e (m)	V_L (m^3)
2×2000	2×24000	2×2.8	2×0.2	2×134 40
Volume Total				26 880

- **Volume de la conduite :**

Après l'exécution des déblais de la tranchée et la mise en place du lit de sable, il y a la pose des conduites dont la connaissance de la section est importante pour la détermination du volume des remblais.

$$S_C = \frac{\pi \times D2}{4} \quad \text{(IX-6)}$$

- S_C : section de la conduite (m^2).
- D : diamètre de la conduite (m).

$$V_C = S_c \times L \quad \text{(IX-7)}$$

- V_C : volume de la conduite (m3).

Tableau IX. 3 : Calcul des volumes des conduites

D (mm)	L (m)	S_C (m^2)	V_C (m^3)
2×2000	2×24000	2×3.14	2×75 398.223 69
Volume Total			150 796.447 4

- **Remblais compactés :**

Le volume des remblais sera le volume des déblais réduit du volume occupé par la conduite et du volume du lit de sable.

$$V_r = V_D - V_C - V_L \quad \text{(IX-8)}$$

Avec :

- V_r : volume du remblai (m^3).
- V_D : volume des déblais (m^3).
- V_C : volume occupé par la conduite (m^3).
- V_L : volume du lit de sable (m^3).

AN: V_r = **2**× (139641.7763-13440) = 252403.5526 m^3.

- **Volume excédentaire :**

$$V_{exc} = V_f - V_r$$

Avec :

- V_{exc} : Volume du sol excédentaire en (m^3).
- V_f : Volume du sol foisonné en (m^3), Avec : $V_f = V_d \times K_f$
- V_d : Volume du déblai en (m^3).
- K_f : Coefficient de foisonnement dépend de la nature de sol Pour notre cas on a : K_f = 1,25

Le calcul du volume excédentaire est représenté dans le tableau suivant (Tableau IX.4).

Tableau IX. 4 : le volume excédentaire

Diamètre (mm)	V_r (m^3)	V_d (m^3)	K_f	V_f (m^3)	V_{exc} (m^3)
2000	252 403.552 6	279 283.552 6	1.25	349 104.440 8	967 00.888 15

Tableau IX. 5 : Volumes des travaux de transfert

Désignation	Unité	Quantité
Déblais	m^3	279 283.552 6
Lit de sable	m^3	26 880
Les conduites	m^3	150 796.447 4
Remblais	m^3	252403.552 6
Volume excédentaire	m^3	967 00.888 15

IX.2.2 Calcul des volumes des travaux de l'adduction de couloir 01:

Les travaux de l'adduction de couloir 01 sont les mêmes que les travaux du transfert.

- **Déblai d'excavation :**

Les résultats de calcul du volume du déblai de l'adduction sont représentés dans le tableau suivant (Tableau IX.6).

Tableau IX. 6: Calcul du volume du déblai de l'adduction

D (mm)	L (m)	b (m)	H_{tr} (m)	S_D (m^2)	V_D (m^3)
1200	19150	2	2.4	4.8	76 879.63
900	130	1.7	2.1	3.57	414.07
700	50775	1.5	1.9	2.85	134 739.10
Volume Total					212 032.8

- **Lit de sable :**

Les résultats de calcul du volume du lit sable sont représentés dans le tableau (Tableau IX.7)

Tableau IX. 7 : Calcul du volume du lit de sable.

D (mm)	L (m)	b (m)	e (m)	V_L (m^3)
1200	19 150	2	0.2	7 660
900	130	1.7	0.2	44.2
700	50 775	1.5	0.2	15 232.5
Volume Total				22 936.7

- **Volume de la conduite :**

Les résultats de calcul du volume des conduites sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau IX. 8 : Calcul des volumes des conduites

D (mm)	L (m)	S_C (m^2)	V_C (m^3)
1200	19 150	1.13	21 639.5
900	130	0.64	83.2
700	50 775	0.38	19 294.5
Volume Total			41 017.2

- **Remblais compactés :**

Les résultats de calcul du volume des remblais sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau IX. 9: Calcul des volumes des remblais

D (mm)	L (m)	V_r (m^3)
1200	19150	62 620.50
900	130	336.70
700	50775	110 181.75
Volume Total		173 138.95

- **Volume excédentaire :**

Le calcul du volume excédentaire est représenté dans le tableau suivant :

Tableau IX. 10 : Le volume excédentaire

V_r (m^3)	V_d (m^3)	K_f	V_f (m^3)	V_{exc} (m^3)
173 138.95	212 032.8	1.25	265 041	91 902.05

Tableau IX. 11 : Volumes des travaux de l'adduction de couloir 01

Désignation	Unité	Quantité
Déblais	m^3	212 032.8
Lit de sable	m^3	22 936.7
Les conduites	m^3	41 017.2
Remblais	m^3	173 138.95
Volume excédentaire	m^3	91 902.05

IX.2.3 Calcul des volumes des travaux de réservoir projeté :

Le réservoir de notre système d'adduction à réaliser est de volume de 1000 m^3

- La profondeur d'excavation est de 2m ;
- Le diamètre d'excavation doit être supérieur à celui du réservoir de 2 m (1m de part et d'autre) ;
- L'épaisseur du lit de tout venant est de : 0,3 m ;
- L'épaisseur du béton de propreté est de : 0,15 m ;
- L'épaisseur du radier du réservoir est de : 0,15 m ;
- L'épaisseur du voile du réservoir est de : 0,25 m ;
- L'épaisseur de la coupole est de 0,1 m ;
- L'acrotère à 0,3 m de hauteur et 0,08 m d'épaisseur,
- Les chicanes sont en brique de surface unitaire de 0,2 × 0,3 m^2.

La chambre de manœuvres aux dimensions suivantes :

- La longueur est de 3-6 m ;
- La largeur est de 2-5 m ;
- La hauteur est de 3 m ;
- Les murs enterrés sont en béton armé de 0,2 m d'épaisseur sur une profondeur de 0,5 m ;
- Les murs sur sol sont en briques sur une hauteur de 2,5 m ;
- La dalle à 0,15 m d'épaisseur repose sur 4 poteaux est 3 ceintures,
- Les poteaux sont de forme carrée (0,3 × 0,3 m^2) et les ceintures de forme rectangulaire (0,3 × 0,45 m^2).

➢ **Calcul du volume des déblais :**

Le volume total des déblais est la somme des déblais des réservoirs et des chambres de manœuvres :

$$V_d = [(\frac{\pi \times Dexc\ 2}{4}) + (L \times l\ )] \times h_{exc} \qquad \text{(IX-9)}$$

- V_d : Volume total des Déblais (m^3).
- D_{exc} : Diamètre d'excavation (m), $D_{exc} = D_{ext} + 2$.
- D_{ext} : Diamètre extérieur du radier du réservoir (m), $D_{ext} = D_{int} + (2 \times 0,3)$.
- D_{int} : Diamètre intérieur du réservoir (m).
- L : longueur de la chambre de manœuvre (m).
- l : largeur de la chambre de manœuvre (m).
- h_{exc} : profondeur d'excavation (m), $h_{exc} = 1$ m.

Tableau IX. 12 : Calcul des volumes des déblais pour les réservoirs et les chambres de manœuvres

Réservoirs	**D_{int} (m)**	**D_{ext} (m)**	**D_{exc} (m)**	**L (m)**	**l (m)**	**V_d (m^3)**
1000	16	16.6	18.6	4	3	283.72

- **Calcul du volume du tout-venant :**

Le volume du tout-venant sera calculé par la formule suivante :

$$V_{tv} = \frac{\pi \times Dexc\ 2}{4} \times e_{tv} \qquad \text{(IX-10)}$$

- V_{tv} : Volume du tout-venant (m^3).
- e_{tv} : Epaisseur de la couche du tout- venant (m), etv = 0,3 m.

Tableau IX. 13 : Calcul des volumes du tout-venant

Réservoir	**D_{exc} (m)**	**V_{tv} (m^3)**
1000	18.6	81.51

- **Calcul du volume de béton de propreté :**

La pose du béton de propreté sera étendue de 0,6 m des parois extérieurs du réservoir.
Le volume du béton de propreté sera calculé par la formule suivante :

$$V_{bp} = \frac{\pi \times Dbp\ 2}{4} \times e_{bp} \qquad \text{(IX-11)}$$

- V_{bp} : Volume du béton de propreté (m^3).
- D_{bp} : Diamètre de la couche du béton de propreté (m), $D_{bp} = D_{ext} + 1,2$.
- e_{bp} : Epaisseur de la couche du béton de propreté (m), $e_{bp} = 0,15$ m.

Tableau IX. 14 : Calcul des volumes du béton de propreté

Réservoir	**D_{bp} (m)**	**V_{dp} (m^3)**
1000	17.8	37.33

- **Calcul du volume du béton armé :**

Les éléments des réservoirs dont le béton armé est le matériau de construction sont :

- Radiers des réservoirs ;
- Voiles des réservoirs ;
- Voiles de la chambre de manœuvre ;
- Ceintures supérieures des réservoirs ;
- Coupoles des réservoirs ;
- Poteaux de la chambre de manœuvre ;
- Ceintures de la chambre de manœuvre ;
- Chape de la chambre de manœuvre ;
- Dalle de la chambre de manœuvre,
- Maçonnerie de la chambre de manœuvre.

Les éléments du réservoir, ayant des formes circulaires, sont estimés moyennant la formule :

$$V_{ba} = \frac{\pi \times (Dext\ 2 - Dint\ 2)}{4} \times H \qquad \text{(IX-12)}$$

- Dext : Diamètre extérieur de l'élément du réservoir (m) ;
- Dint : Diamètre intérieur de l'élément du réservoir (m),
- H : Hauteur de l'élément du réservoir (m).

Les résultats de calcul sont récapitulés dans le tableau suivant :

Tableau IX. 15 : Calcul du volume du béton armé

Réservoir	Eléments	D_{ext} (m)	D_{int} (m)	H (m)	V_{ba} (m^3)
1000	**Radier**	16.3	-	0.45	93.90
	Voile	16.6	16	5	76.81
	Ceinture supérieure	17	16	0.6	15.55
	Acrotère	17	16.6	0.4	4.22
Total					190.48

- **Coupoles :**

La coupole est une sphérique de rayon :

$$R = \frac{f2 + (\frac{D}{2})2}{2 \times f} \qquad \text{(IX-13)}$$

- R : Rayon de la coupole (m).

- D : Diamètre du réservoir (m).
- f : flèche de la coupole (m), f = 1,5 m.

Et de volume :

$$V_c = 2 \times \boldsymbol{\pi} \times R \times f \times e_c \qquad \text{(IX-14)}$$

- V_c : Volume du béton armé de la coupole (m2) ;
- e_c : Epaisseur de la coupole (m), ec = 0,1 m.

Tableau IX. 16 : Calcul du volume du béton armé pour la coupole

Réservoir	D (m)	R (m)	V_c (m^3)
1000	16	22.08	20.81

Tableau IX. 17 : Calcul du volume du béton armé de la chambre de manœuvre

Eléments	Longueur L (m)	Largeur l (m)	Hauteur h (m)	N	V = L×l×h×N (m^3)
Voiles	4	0.2	0.5	3	1.2
Poteaux	0.3	0.3	3	4	1.08
Ceintures inf. long	4	0.3	0.3	3	1.08
Ceintures inf. larg	3	0.3	0.3	3	0.81
Ceintures sup. long	4	0.3	0.3	3	1.08
Ceintures sup. larg	2	0.3	0.45	3	0.81
Dalle supérieure	4	3	0.1	1	1.2
Chape inférieure	4	3	0.1	1	1.2
Total					10.78

Conclusion : le volume total du béton armé du réservoir et de la chambre de manœuvre sera de 222.07 m^3.

- **Calcul du volume du remblai compacté :**

Le volume du remblai compacté est égal au vide restant, après coulage du béton armé des voiles, entre ces derniers et les limites d'excavation.

$$Vr = \frac{\pi \times (Dexc\ 2 - Dext\ 2)}{4} \times h \qquad \text{(IX-15)}$$

- Vr : Volume du remblai compacté (m3) ;

- Dext : Diamètre extérieur du réservoir (m) ;
- h : Profondeur d'excavation (m), h = 1 m ;

Tableau IX. 18 : Calcul du volume du remblai compacté

Réservoir	D_{exc} (m)	D_{ext} (m)	V_r (m^3)
1000	16.6	16	15.36

➢ **Calcul du volume de la maçonnerie :**

Pour le réservoir seul les murs sur sol de la chambre de manœuvre seront construits avec des briques de dimensions 30 × 20 (cm^2).

La surface de la maçonnerie de la chambre de manœuvre est telle que [(4 × 2) + 3] × 3 soit 33 m^2.

La surface unitaire (surface d'une brique) étant de 0,06 m^2, la quantité de brique pour la maçonnerie est de 550 briques, le nombre de briques à prévoir en tenant compte de la casse est de 580 briques.

IX.3 Calcul des coûts des travaux :

Les coûts des travaux de transfert, l'adduction et le réservoir sont mentionnés dans les tableaux suivant :

Tableau IX. 19 : Coût des travaux de transfert

Désignation	Unité	Quantité	Prix unitaire (DA)	Montant (DA)
Déblais	m3	279 283.552 6	300	83 785 065,78
Lit de sable	m3	26 880	800	21 504 000
Conduite 2×2000	m	2×240 00	1.65×10^{10}	
Remblai compacté	m3	252 403.552 6	400	100 961 421
Volume excédentaire	m^3	96 700.888 15	150	14 505 133
Total				1.67×10^{10}

Le coût des travaux de l'adduction est de : seize milliards sept cent millions de dinars algériens (16 700 000 000 DZD).

Tableau IX. 20 : Coût des travaux de l'adduction de couloir 01

Désignation	Unité	Quantité	Prix unitaire (DA)	Montant (DA)
Déblais	m3	212 032.8	300	63 609 840
Lit de sable	m3	22 936.7	800	18 349 360
Conduite 1200	m	19 150	47498.5	909 596 275
Conduite 900	m	130	35668.4	4 636 892

Conduite 700	m	50 775	27777.32	1 410 393 423
Remblai compacté	m3	173138.95	400	69 255 580
Volume excédentaire	m3	91 902.05	150	13 785 307
Total				2 489 626 678

Le coût des travaux de l'adduction est de : Deux milliards quatre cent quatre-vingt-neuf millions six cent vingt-six mille six cent soixante-dix-huit dinars algériens (2 489 626 678 DZD)

Tableau IX. 21 : Coût des travaux de réservoir

Description des travaux	**Travaux Unité**	**Quantité**	**Prix unitaire (DA)**	**Montant (DA)**
Déblais	m^3	283.72	300	85116
Tout venant	m^3	81.51	600	48 906
Béton de propreté	m^3	37.33	8 000	298 640
Béton armé	m^3	222.07	25 000	5 551 750
Remblais compacté	m^3	15.36	400	6 144
Maçonnerie	Brique	580	40	23 200
Total				6 013 756

Le coût des travaux de réservoir est de : Six millions treize mille sept cent cinquante-six dinars algériens. (6 013 756 DZD).

Tableau IX. 22 : Bilan des coûts

Cout de transfert	16 700 000 000
Cout de l'adduction de couloir 01	2 489 626 678
Cout de réservoir	6 013 756

Le coût global du projet est estimé à : 19 195 640 430 DZD.

En ajoutant la TVA qui est de l'ordre 17%, le résultat est de : Vingt-deux milliards quatre cent quarante-deux millions sept cent soixante-dix mille cinq cents dinars algériens (22 442 770 500 DZD).

IX.4 Planification des travaux :

Avant d'entamer la réalisation des travaux sur le chantier il faut faire une planification qui consiste en une étude théorique qui recherche constamment la meilleure façon d'utilisation de la main d'œuvre et des autres moyens. L'objectif de la planification est de s'assurer que tout le travail se fait :

- Dans un ordre correct (bonne succession des opérations du réseau) ;
- Sans retard,
- Aussi économique que possible.

IX.4.1 Méthodes de GANTT (diagramme de barre) :

IX.4.1.1 Définition :

Le diagramme de Gantt, élaboré par Henry L. Gantt en 1917, est un outil de planification de projet initialement destiné à optimiser la gestion des ateliers. Il est rapidement devenu indispensable pour la coordination temporelle des multiples tâches d'un projet.

Sa structure est celle d'un planning où les tâches sont disposées verticalement et l'échelle de temps (jours, semaines) est affichée horizontalement. Cet agencement permet une visualisation instantanée des phases de réalisation et de leur progression.

IX.4.1.2 Méthodologie de construction d'un diagramme de GANTT :

L'établissement d'un diagramme de Gantt nécessite l'identification, la hiérarchisation (relations d'antériorité) et la quantification (durée, ressources) de toutes les tâches du projet.

La procédure passe par quatre étapes clés :

1. Structure des Tâches : Lister et organiser les activités du projet.
2. Quantification : Estimer la durée et les ressources nécessaires par tâche.
3. Réseau de Dépendances : Créer le réseau logique pour visualiser les liens d'antériorité.
4. Représentation Graphique : Dessiner le diagramme avec les tâches en ordonnée et l'échelle de temps (semaines/mois) en abscisse.

IX.4.1.3 Intérêt du diagramme de GANTT :

Le diagramme de Gantt permet la visualisation de la chronologie des étapes d'un projet, offrant la possibilité de :

- Minimiser le temps total de réalisation par une planification proactive.
- Identifier les chemins critiques (tâches sans marge) et les marges des autres tâches.
- Faciliter le suivi de la progression et évaluer l'impact des retards intermédiaires.
- Gérer efficacement les problèmes d'allocation de ressources.
- Agir comme un outil de communication centralisé pour toutes les parties prenantes.

IX.4.1.4 Définition des tâches et leurs durées :

Les tâches de réalisation de transfert et l'adduction et leurs durées sont mentionnées dans le tableau suivant :

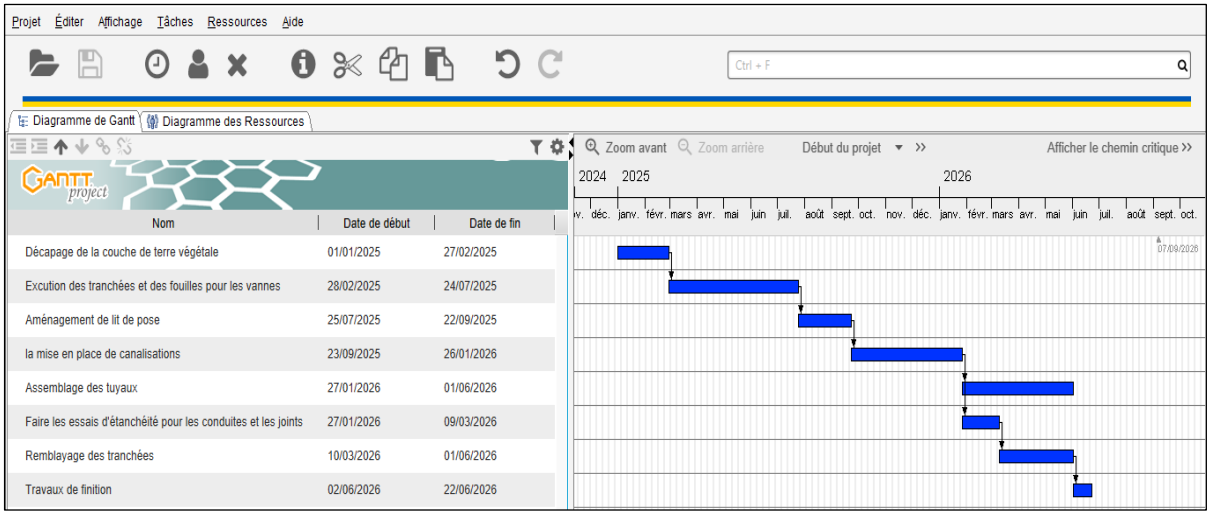
Tableau IX. 23 : Temps de réalisation des opérations de transfert et d'adduction

Notation	Opération	Durée (jours)
A	Décapage de la couche de terre végétale	42
B	Exécution des tranchées et des fouilles pour les vannes	105
C	Aménagement du lit de pose	42
D	La mise en place des canalisations en tranchées	90
E	Assemblage des tuyaux	90
F	Faire les essais d'étanchéité pour les conduites et joints	30
G	Remblayage des tranchées	60
H	Travaux de finition	15

Les tâches concernant la réalisation d'un réservoir et leurs durées sont mentionnées dans le tableau suivant :

Tableau IX. 24 : Temps de réalisation des opérations du réservoir

Notation	Opération	Durée (jours)
I	Excavation	15
J	Pose du tout-venant	7
K	Coulage du béton de propreté	3
L	Coulage du béton armé du radier et de la chape de la chambre de manœuvre	60
M	Coulage béton armé du voile du réservoir et de la chambre	60
N	Coulage du béton armé de la ceinture supérieur du réservoir et des poteaux de la chambre de manœuvre	30
O	Coulage du béton armé de la coupole et de la dalle de la chambre de manœuvre	75
P	Remblayage et compactage	5
Q	Maçonnerie et finition générale	30
R	Evaluation des débris et nettoyage	3



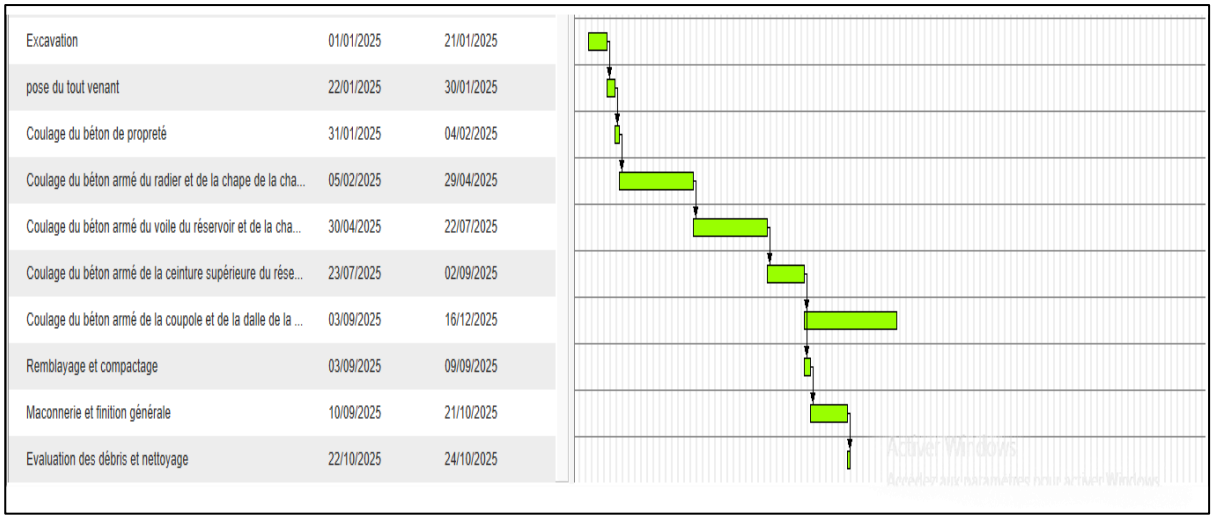


Figure IX. 1: Diagramme de GANTT

- **Conclusion :** le temps de réalisation de l'ensemble du projet est de 538 jours ouvrables, (1 an, 5 mois et 22 jours)

IX.4.2 Planification par la méthode du réseau (la méthode CPM) :

IX.4.2.1 Adduction et transfert :

On montre le lien entre les opérations qui précèdent et qui succèdent chaque opération de réalisation de transfert et l'adduction dans le tableau suivant :

Tableau IX. 25 : Tâches qui précèdent et qui succèdent chaque opération de transfert et l'adduction

Opération	Précède	Succède
A	-	B
B	A	C
C	B	D
D	C	E , F
E	D	G
F	D	G
G	E , F	H
H	G	-

IX.4.2.2 Réservoirs :

On montre le lien entre les opérations qui précèdent et qui succèdent chaque opération de réalisation d'un réservoir dans le tableau suivant :

Tableau IX. 26 : Tâches qui précèdent et qui succèdent chaque opération du réservoir

Opération	Précède	Succède
I	-	J
J	I	K
K	J	L
L	K	M

M	L	N
N	M	O , P
O	N	Q
P	N	Q
Q	O , P	R
R	Q	-

Les réseaux à nœuds sont représentés sur les figures ci-dessous où les dates de commencement et de finitions au plutôt et les dates de commencement et de finitions au plus tard et bien sur les marges totales et les temps de réalisation sont mentionnées.

- **Conclusion :**

Le temps de réalisation de l'ensemble du projet est de 444 jours calendaire, (1 an, 2 mois et 20 jours).

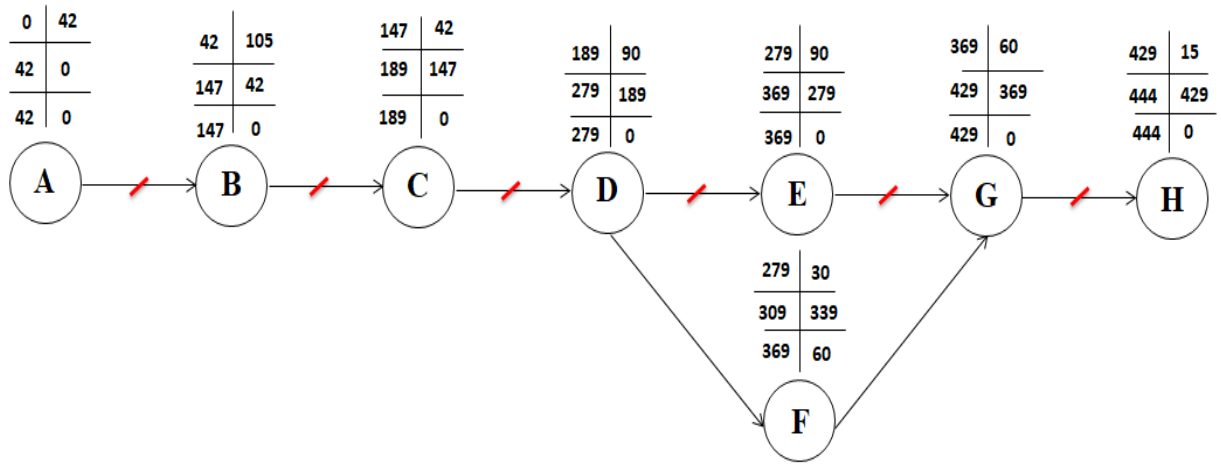


Figure IX. 2 : Réseau à nœuds du transfert et d'adduction

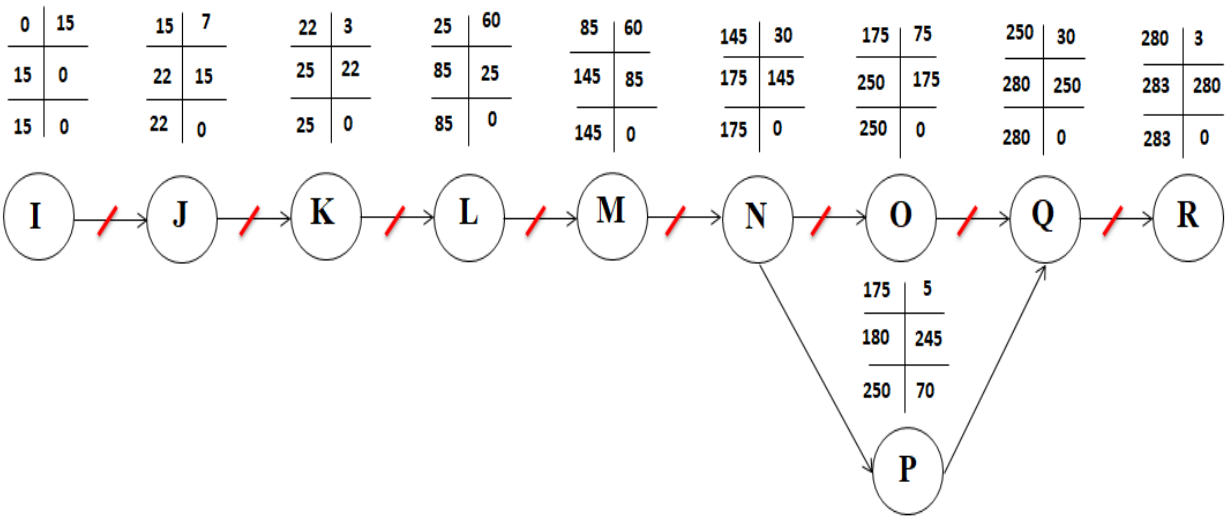


Figure IX. 3 : Réseau à nœuds du réservoir

IX.5 Protection Et Sécurité Du Travail :

Le respect des règles de sécurité au travail est fondamental pour minimiser la fréquence et la gravité des accidents sur les sites de construction, notamment dans les domaines de l'hydraulique et du génie civil. Cette obligation s'étend à l'ensemble du cycle de vie des projets d'adduction d'eau potable.

Les principales phases de ces projets sont associées à des risques distincts :

- **Terrassement et Excavation :** Les dangers majeurs comprennent le risque d'effondrement des parois (éboulements) et les accidents impliquant l'utilisation d'équipements lourds.
- **Forage :** Cette opération exige une application rigoureuse des protocoles de sécurité établis.
- **Construction :** Les risques à gérer incluent l'utilisation des machines de chantier, les chutes de hauteur et la manipulation de matériaux lourds.

IX.6 Causes des accidents de travail dans un chantier hydraulique :

Les accidents de travail, qu'ils résultent de conditions dangereuses ou d'actions dangereuses, proviennent généralement de l'interaction entre deux catégories de facteurs principaux : les facteurs humains et les facteurs matériels.

➢ Facteurs Humains (ou Organisationnels) :

Ces éléments sont liés à l'organisation, au personnel et à sa gestion :

- Défaut de surveillance et négligence de la part des ouvriers, des agents de maîtrise ou des responsables.
- Fatigue du personnel (ouvriers, maîtrise et direction).
- Désorganisation des zones de travail lors des différentes phases d'exécution (encombrement).
- Erreurs de jugement ou de raisonnement dans la prise de décision.
- Sous-estimation des risques durant la réalisation des tâches.
- Adoption d'un rythme de travail non approprié ou trop soutenu.

➢ Facteurs Matériels (ou Techniques) :

Ces éléments concernent l'environnement physique et les équipements :

- Matériel inadapté ou défectueux : outillage, engins, et machines de travail.
- Nature des matériaux mis en œuvre (danger intrinsèque).
- Difficultés inhérentes à l'exécution du travail ou à sa complexité.
- Installations mécaniques ou électriques non conformes ou défaillantes.

- **Liste des Actions Dangereuses (Comportements à Risque) :**

Ces comportements des travailleurs augmentent directement le risque d'accident :

- Intervention sans précaution sur des équipements en mouvement, sous tension ou sous pression.
- Agir sans autorisation ou omettre d'avertir les autres.
- Neutralisation intentionnelle des dispositifs de sécurité (verrouillage, protections, etc.).
- Non-utilisation ou mauvaise utilisation des équipements de protection individuelle (ÉPI).
- Utilisation inappropriée d'un outillage ou d'un engin.
- Adopter une posture de travail dangereuse ou instable.
- Travailler dans une position ou une altitude non sécurisée (échafaudage mal monté, etc.).
- Suivre un rythme de travail inadapté (trop rapide ou désorganisé).
- Comportements ludiques ou conflictuels (plaisanteries, querelles) qui détournent l'attention.

IX.7 Mesures préventives pour éviter les causes des accidents :

IX.7.1 Protection individuelle :

La prévention des risques dans l'exercice de métiers spécifiques exige l'utilisation essentielle d'équipements de protection individuelle. Ces ÉPI (tels que les casques, gants, lunettes et chaussures de sécurité) sont indispensables pour se prémunir efficacement contre les dangers.

IX.7.2 Autres protections :

Les obligations de sécurité pour les travaux d'excavation sont les suivantes :

- **Signalisation et Protection :** Dans les zones urbanisées ou sur les routes, les tranchées doivent être sécurisées par une barrière et faire l'objet d'une signalisation visible 24 heures sur 24 afin de prévenir les chutes.
- **Procédures Préalables :** Il est nécessaire d'informer les entités concernées (opérateurs de réseaux, autorités) avant de débuter les travaux d'excavation, tout en procédant à une vérification de la stabilité du sol.
- **Distances de Travail :** Les ouvriers qui utilisent des outils manuels (pioche, pelle) sont tenus de respecter une séparation physique adéquate entre eux pour assurer leur sécurité mutuelle.

IX.8 Choix des engins de terrassement :

Afin d'optimiser les coûts et de réduire significativement le temps d'exécution des opérations de terrassement, nous prévoyons l'utilisation d'engins mécaniques lourds.

Les équipements prévus sont :

- La pelle hydraulique.

- Le bulldozer.
- Le chargeur.
- Le compacteur.

1. Pelle Hydraulique :

La pelle est un engin de terrassement polyvalent, adapté à tous types de terrains. Sa capacité à recevoir différents accessoires en fait une machine multifonctionnelle :

- Godet standard (en butée) : Utilisé pour l'excavation frontale.
- Godet rétro (en fouille ou en tranchée) : Utilisé pour creuser sous le niveau de la machine.
- Godet niveleur : Employé pour le décapage (retrait superficiel) ou le nivellement du sol.

2. Bulldozer :

Pour les travaux de poussée et de déblaiement, nous utiliserons un bulldozer ou un angledozer (variante à lame orientable).

3. Chargeur :

Il s'agit d'un tracteur monté sur pneus et équipé d'un grand godet à l'avant, conçu pour le chargement et le déchargement de matériaux. Cet engin sera spécifiquement utilisé pour remblayer les fouilles, les casiers et les tranchées après la pose des canalisations.

4. Compacteur (Petit Format)

Ce petit engin est conçu pour le compactage des remblais et des surfaces. Il se caractérise par sa faible taille et sa maniabilité, étant généralement composée de deux petits cylindres d'environ 30 cm de diamètre et d'un guidon de commande.

Conclusion :

Ce chapitre a permis de détailler l'organisation du chantier et de mettre en lumière les aspects financiers et temporels des travaux. Nous avons, en effet, procédé à l'estimation du devis pour les travaux de transfert, d'adduction et l'implantation du réservoir. Le coût total de ces opérations s'élève à Vingt-deux milliards quatre cent quarante-deux millions sept cent soixante-dix mille cinq cents dinars algériens (22 442 770 500 DZD).

Par ailleurs, l'élaboration du diagramme de Gantt a été un outil essentiel pour la planification et la visualisation des différentes phases du projet. Grâce à cette démarche, nous avons pu estimer que les travaux d'adduction et de transfert la réalisation du réservoir sera complétée en 1 an, 5 mois et 22 jours ouvrables. Ces estimations permettent d'établir un calendrier prévisionnel clair, indispensable à la bonne gestion et à la réussite du projet.

Conclusion générale :

Au terme de cette étude, il a été possible de dresser un diagnostic complet du système de transfert des eaux de la station de pompage d'Aïn Kercha (W. Oum El Bouaghi) vers le barrage de Koudiat Medouar (W. Batna).

Les analyses techniques ont mis en évidence les principales vulnérabilités et recommandations, telles que :

- Deux types d'éclatement, longitudinal et transversal, mais uniquement au niveau du BPAT, à travers les conduites de transfert.

- Colmatage des filtres par l'accroissement d'algues ; au niveau de la station de traitement
- Des fuites au niveau des vannes et les raccordements avec accumulation de débris ou de matière organique ; au niveau de la station de pompage

- Les fuites, les dégradations des infrastructures et l'incapacité de certaines conduites à supporter les pressions de service, en conséquence nous proposons de de remplacer les conduites en BPAT avec des conduites en Acier, répartie sur sous tronçons de différents PN et la gestion des algues et de la matière organique et l'installation d'un système de tamisage efficace en amont pour protéger les infrastructures de la station de traitement

Pour pallier ces dysfonctionnements et garantir la fiabilité du réseau, des solutions concrètes ont été proposées. Ces mesures, qui incluent la réfection des conduites et visent à assurer un approvisionnement en eau continu et de qualité pour les populations des wilayas de Batna et Khenchela, nécessitent un cout estimé à Vingt-deux milliards quatre cent quarante-deux millions sept cent soixante-dix mille cinq cents dinars algériens (22 442 770 500 DZD), pour une durée de réalisation de dix-sept (17) mois.

Ce travail démontre l'importance d'une approche rigoureuse pour la gestion des infrastructures hydrauliques dans un contexte de stress hydrique. Les résultats obtenus fournissent une base solide pour la prise de décision et la planification des investissements futurs, ouvrant la voie à une gestion plus durable et résiliente des ressources en eau dans la région.

Enfin, ce mémoire constitue une contribution à la planification et à l'ingénierie des infrastructures hydrauliques, en s'appuyant sur un diagnostic in situ et une vision factuelle pour répondre aux défis de l'approvisionnement en eau dans une région en pleine mutation.

Référence bibliographique

- Durand Delga M. (1969). Cours de Géologie Algérienne, La chaîne des Maghrébides. Cours de Géologie algérienne, Université Ferhat Abbas, Sétif 1, [Consulté le 22 Mai 2025], disponible à l'adresse : www.charafchabou.com/Cours/Maghrebides.html

- KSB. (s.d.). Protection incendie avec KSB : systèmes de pompage de sprinkleurs et de pompiers. KSB, [Consulté le 13 Juin 2025], disponible à l'adresse : https://www.ksb.com/fr-fr/applications/batiment/lutte-anti-incendie/sprinkler

- KSB. (s.d.). Pompes à installation sèche. KSB, [Consulté le 18 Juin 2025], disponible à l'adresse : https://www.ksb.com/fr-dz/lc/Products/Pompe/Pompe-%25C3%25A0-installation-s%25C3%25A8che/c/DRY/C28A

- DAOUD, Ali. Réservoirs de stockage et distribution de l'eau potable : Département de Géographie et Aménagement du Territoire, Institut des Sciences de la Terre et de l'univers, [2020], [Consulté le 03 Juillet 2025], disponible à l'adresse : https://staff.univ-batna2.dz/sites/default/files/daoud_ali/files/stockage_de_leau_potable.pdf

- Bonnat TP, "Brochure Âme tôle," [Brochure technique], 2021, [Consulté le 20 Juillet 2025], disponible à l'adresse : https://bonnatp.com/wp-content/uploads/2022/07/BTP-AT-0722-Brochure-Ame-to%CC%82le.pdf

- KARA, R. (2020). Etude du système d'adduction en eau potable des villes d'Ain kercha et Ain Mlila à partir du barrage Ourkiss (W.Oum El Bouaghi). ENSH-BLIDA, [Consulté le 26 Juillet 2025], disponible à l'adresse : http://localhost:8080/xmlui/handle/123456789/531

Annexe (II.1)

Répartition horaire des débits horaires en fonction du nombre d'habitants

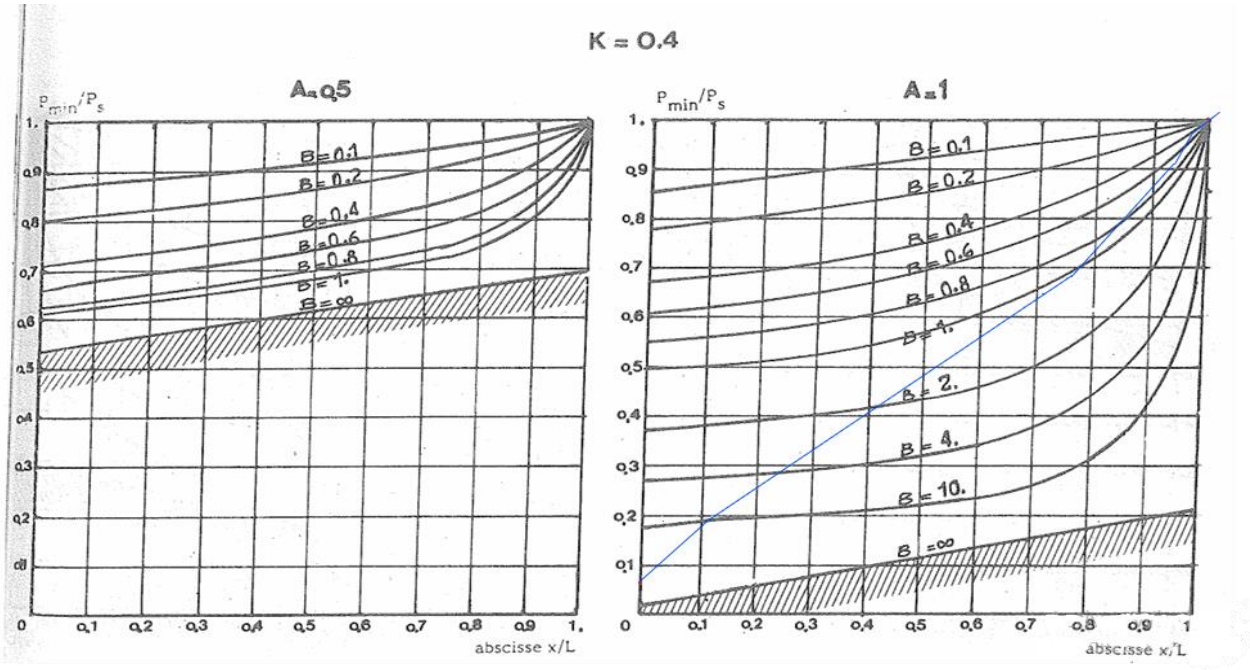
Heures	Nombre d'habitants				
	<10000	10000 à 50000	50001 à 100000	>100000	Agglomération de type rurale
0-1	1	1,5	3	3,35	0,75
1-2	1	1,5	3,2	3,25	0,75
2-3	1	1,5	2,5	3,3	1
3-4	1	1,5	2,6	3,2	1
4-5	2	2,5	3,5	3,25	3
5-6	3	3,5	4,1	3,4	5,5
6-7	5	4,5	4,5	3,85	5,5
7-8	6,5	5,5	4,9	4,45	5,5
8-9	6,5	6,25	4,9	5,2	3,5
9-10	5,5	6,25	5,6	5,05	3,5
10-11	4,5	6,25	4,8	4,85	6
11-12	5,5	6,25	4,7	4,6	8,5
12-13	7	5	4,4	4,6	8,5
13-14	7	5	4,1	4,55	6
14-15	5,5	5,5	4,2	4,75	5
15-16	4,5	6	4,4	4,7	5
16-17	5	6	4,3	4,65	3,5
17-18	6,5	5,5	4,1	4,35	3,5
18-19	6,5	5	4,5	4,4	6
19-20	5,0	4,5	4,5	4,3	6
20-21	4,5	4	4,5	4,3	6
21-22	3	3	4,8	4,2	3
22-23	2	2	4,6	3,75	2
23-24	1	1,5	3,3	3,7	1
Total	100%	100%	100%	100%	100%

(Source : Le catalogue de SALAH.B)

Annexe (III. 1)

Détermination de coefficient B par l'abaque de PUETCH et MEUNIER

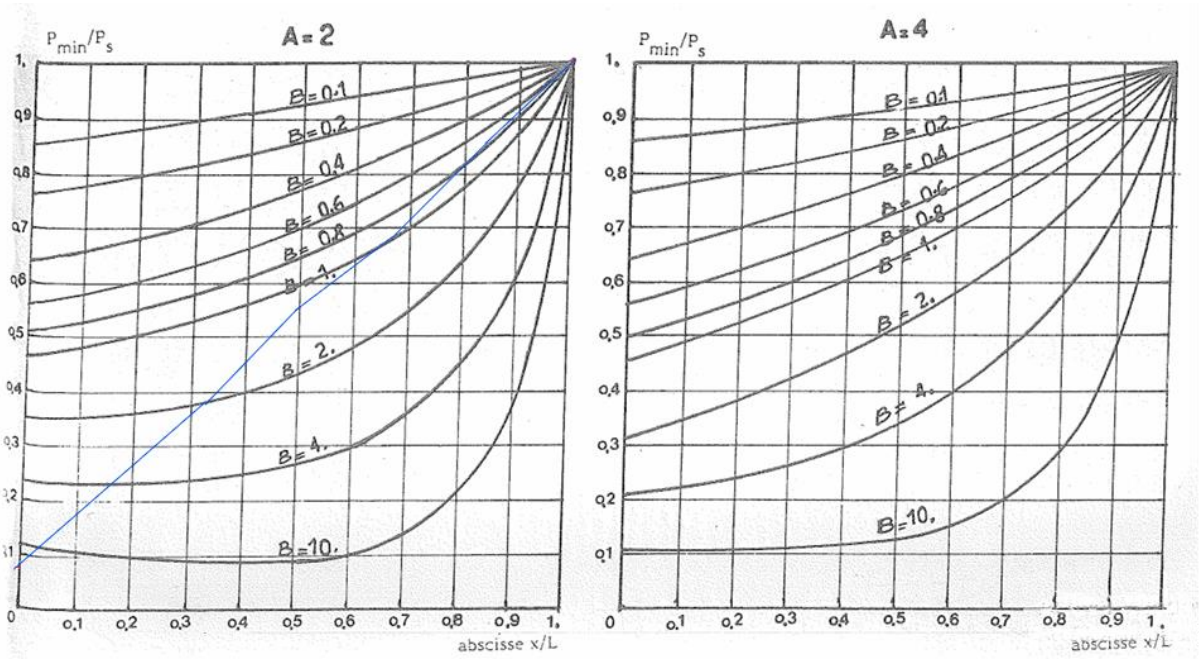
-Station de Pompage d'Ain Kercha-



Annexe (III. 2)

Détermination de coefficient B par l'abaque de PUETCH et MEUNIER

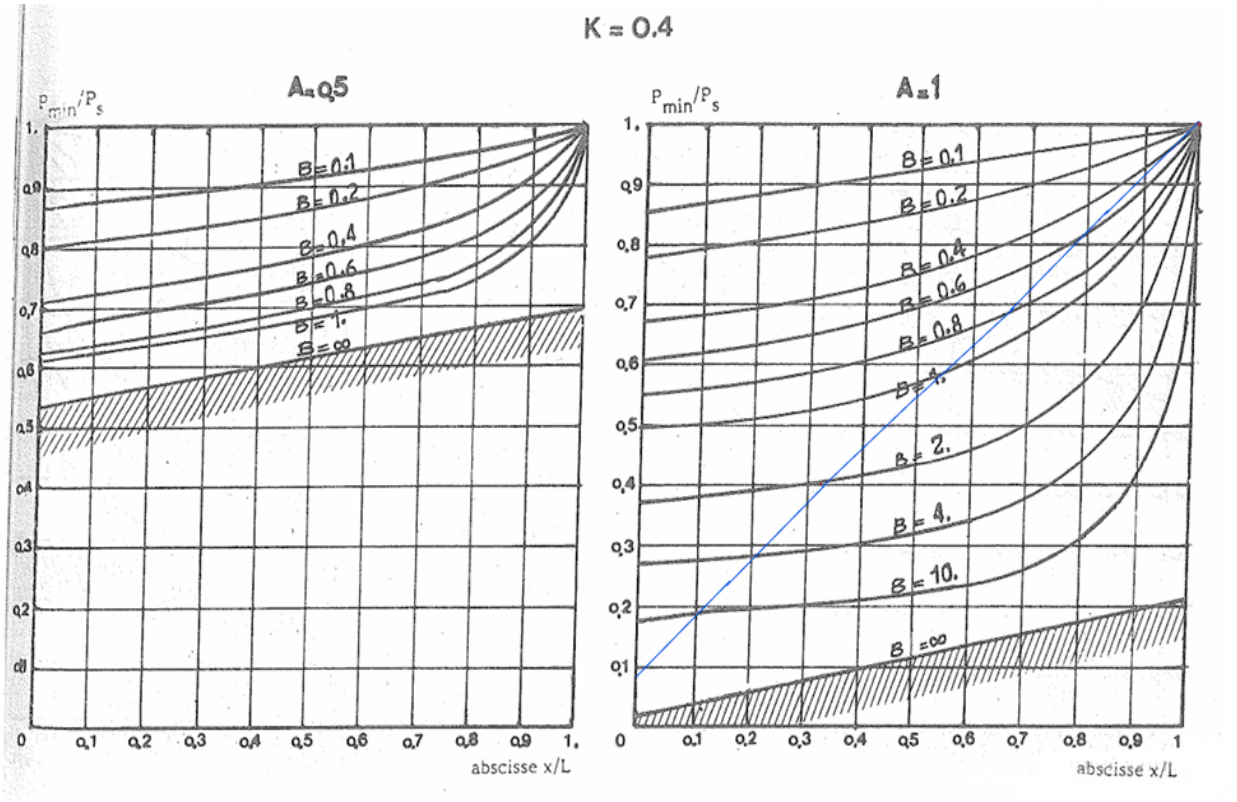
-Station de Pompage SP1-1-



Annexe (III. 3)

Détermination de coefficient B par l'abaque de PUETCH et MEUNIER

-Station de Pompage SP1-2-



Annexes (IV.1)

Pressions dans les nœuds de la conduite EST

Nœuds	Matériaux	Elévation	Pertes de charge	Pression
		m	mCE	mCE
Junc n1	Acier	785.34	1065.03	279.69
Junc n2	Acier	796.08	1064.46	268.38
Junc n3	Acier	796.48	1064.33	267.85
Junc n4	Acier	797.87	1064.22	266.35
Junc n5	Acier	803.53	1063.66	260.13
Junc n6	Acier	804.52	1063.63	259.11
Junc n7	Acier	804.7	1063.60	258.90
Junc n8	Acier	806.3	1063.30	257.00
Junc n9	Acier	807.61	1063.10	255.49
Junc n10	Acier	810.57	1062.86	252.29
Junc n11	Acier	804.47	1062.51	258.04
Junc n12	Acier	803.38	1062.01	258.63
Junc n13	Acier	804.23	1061.90	257.67
Junc n14	Acier	803.78	1061.70	257.92
Junc n15	Acier	804.18	1061.66	257.48
Junc n16	Acier	804.02	1061.57	257.55
Junc n17	Acier	804.29	1061.45	257.16
Junc n18	Acier	803.63	1061.24	257.61
Junc n19	Acier	802.32	1060.99	258.67
Junc n20	Acier	802.66	1060.72	258.06
Junc n21	Acier	802.93	1060.59	257.66
Junc n22	Acier	803.71	1060.29	256.58
Junc n23	Acier	805.46	1059.64	254.18
Junc n24	Acier	806.32	1059.29	252.97
Junc n25	Acier	809.64	1058.51	248.87
Junc n26	Acier	811.42	1058.05	246.63
Junc n27	Acier	812.04	1057.64	245.60
Junc n28	Acier	813.47	1057.16	243.69
Junc n29	Acier	817.97	1056.83	238.86
Junc n30	Acier	832.45	1056.35	223.90
Junc n31	Acier	832.76	1056.19	223.43
Junc n32	Acier	830.5	1056.05	225.55
Junc n33	Acier	826.84	1055.96	229.12
Junc n34	Acier	822.52	1055.85	233.33
Junc n35	Acier	816.87	1055.71	238.84
Junc n36	Acier	818.61	1055.62	237.01
Junc n37	Acier	820.35	1055.41	235.06
Junc n38	Acier	821.41	1055.22	233.81
Junc n39	Acier	824.86	1054.81	229.95
Junc n40	Acier	826.57	1054.65	228.08
Junc n41	Acier	822.94	1054.53	231.59
Junc n42	Acier	822.68	1054.50	231.82
Junc n43	Acier	826.1	1054.45	228.35
Junc n44	Acier	826.79	1054.42	227.63
Junc n45	Acier	821.97	1054.22	232.25
Junc n46	Acier	824.29	1053.94	229.65
Junc n47	Acier	822.24	1053.68	231.44
Junc n49	Acier	823.59	1053.53	229.94
Junc n50	Acier	827.18	1053.34	226.16
Junc n51	Acier	828.62	1052.86	224.24
Junc n52	Acier	829.27	1052.77	223.50

Junc n53	Acier	828.82	1052.67	223.85
Junc n54	Acier	824.95	1052.02	227.07
Junc n55	Acier	824.63	1051.91	227.28
Junc n56	Acier	826.96	1051.72	224.76
Junc n57	Acier	827.33	1051.40	224.07
Junc n58	Acier	833.57	1050.94	217.37
Junc n59	Acier	840.84	1050.69	209.85
Junc n60	Acier	825.27	1050.43	225.16
Junc n61	Acier	822.29	1050.28	227.99
Junc n62	Acier	822.14	1050.20	228.06
Junc n63	Acier	822.02	1050.12	228.10
Junc n64	Acier	821.97	1050.10	228.13
Junc n65	Acier	821.9	1050.04	228.14
Junc n66	Acier	823.19	1049.71	226.52
Junc n67	Acier	824.61	1049.41	224.80
Junc n68	Acier	826.72	1049.03	222.31
Junc n69	Acier	826.83	1048.99	222.16
Junc n70	BPAT	838.42	1048.49	210.07
Junc n71	BPAT	844.56	1048.34	203.78
Junc n72	BPAT	853.29	1047.89	194.60
Junc n73	BPAT	865.73	1047.59	181.86
Junc n74	BPAT	864.45	1047.51	183.06
Junc n75	BPAT	866.95	1047.43	180.48
Junc n76	BPAT	862.72	1046.93	184.21
Junc n77	BPAT	862.84	1046.82	183.98
Junc n78	BPAT	861.94	1046.67	184.73
Junc n79	BPAT	858.41	1046.48	188.07
Junc n80	BPAT	858.14	1046.14	188.00
Junc n81	BPAT	857.83	1045.98	188.15
Junc n82	BPAT	862.84	1045.75	182.91
Junc n83	BPAT	861.8	1045.64	183.84
Junc n84	BPAT	867.01	1045.04	178.03
Junc n85	BPAT	876.17	1044.50	168.33
Junc n86	BPAT	873.84	1043.92	170.08
Junc n87	BPAT	872.65	1043.70	171.05
Junc n88	BPAT	872.57	1043.65	171.08
Junc n89	BPAT	868.89	1043.11	174.22
Junc n90	BPAT	863.65	1042.66	179.01
Junc n91	BPAT	861.48	1042.50	181.02
Junc n92	BPAT	862.16	1042.33	180.17
Junc n93	BPAT	846.94	1041.49	194.55
Junc n94	BPAT	840.2	1041.01	200.81
Junc n95	BPAT	839.37	1040.46	201.09
Junc n96	BPAT	839.5	1039.94	200.44
Junc n97	BPAT	839.48	1039.73	200.25
Junc n98	BPAT	838.08	1039.64	201.56
Junc n99	BPAT	839.35	1039.56	200.21
Junc n100	BPAT	837.91	1039.30	201.39
Junc n101	BPAT	838.43	1039.26	200.83
Junc n102	BPAT	837.85	1038.88	201.03
Junc n103	BPAT	840.02	1038.74	198.72
Junc n104	BPAT	840.07	1038.46	198.39
Junc n105	BPAT	841.4	1038.27	196.87
Junc n106	BPAT	842.73	1038.04	195.31
Junc n107	BPAT	842.18	1037.85	195.67
Junc n108	BPAT	846.43	1037.74	191.31
Junc n109	BPAT	844.72	1037.70	192.98
Junc n110	BPAT	843.49	1037.54	194.05

Junc n111	BPAT	842.67	1037.41	194.74
Junc n112	BPAT	843.53	1037.11	193.58
Junc n113	BPAT	847.42	1037.01	189.59
Junc n114	BPAT	849.24	1036.82	187.58
Junc n115	BPAT	842.21	1036.55	194.34
Junc n116	BPAT	851.79	1036.43	184.64
Junc n117	BPAT	852.32	1036.25	183.93
Junc n118	BPAT	848.15	1035.92	187.77
Junc n119	BPAT	852.9	1035.81	182.91
Junc n120	BPAT	850.28	1035.54	185.26
Junc n121	BPAT	851.86	1035.43	183.57
Junc n122	BPAT	850.97	1035.16	184.19
Junc n123	BPAT	848.89	1034.82	185.93
Junc n124	BPAT	850.82	1034.59	183.77
Junc n125	BPAT	851.65	1034.40	182.75
Junc n126	BPAT	851.87	1034.21	182.34
Junc n127	BPAT	851.57	1033.86	182.29
Junc n128	BPAT	853.39	1033.67	180.28
Junc n129	BPAT	853.39	1033.48	180.09
Junc n130	BPAT	854.55	1033.26	178.71
Junc n131	BPAT	856.11	1032.76	176.65
Junc n132	BPAT	856.11	1032.68	176.57
Junc n133	BPAT	856.73	1032.55	175.82
Junc n134	BPAT	857.04	1031.96	174.92
Junc n135	BPAT	859.12	1031.56	172.44
Junc n136	BPAT	861.11	1031.01	169.90
Junc n137	BPAT	861.99	1030.82	168.83
Junc n138	BPAT	862.44	1030.72	168.28
Junc n139	BPAT	863.39	1030.66	167.27
Junc n140	BPAT	862.82	1030.06	167.24
Junc n141	BPAT	864.9	1029.53	164.63
Junc n142	BPAT	867.81	1029.10	161.29
Junc n143	BPAT	868.64	1028.86	160.22
Junc n144	BPAT	869.69	1028.84	159.15
Junc n145	BPAT	869.72	1028.74	159.02
Junc n146	BPAT	870.02	1028.38	158.36
Junc n147	BPAT	871.29	1028.15	156.86
Junc n148	BPAT	872.13	1027.83	155.70
Junc n149	BPAT	873.94	1027.08	153.14
Junc n150	BPAT	877.63	1026.74	149.11
Junc n151	BPAT	879.11	1026.60	147.49
Junc n152	BPAT	884.03	1026.46	142.43
Junc n153	BPAT	883.31	1026.28	142.97
Junc n154	BPAT	882.86	1026.04	143.18
Junc n155	BPAT	885.57	1025.57	140.00
Junc n156	BPAT	884.41	1024.84	140.43
Junc n157	BPAT	886.19	1024.82	138.63
Junc n158	BPAT	893.53	1024.71	131.18
Junc n159	BPAT	892.26	1024.20	131.94
Junc n160	BPAT	893.41	1023.41	130.00
Junc n161	BPAT	903.73	1023.18	119.45
Junc n162	BPAT	915.79	1023.02	107.23
Junc n163	BPAT	917.32	1022.88	105.56
Junc n164	BPAT	919.56	1022.73	103.17
Junc n165	BPAT	918.35	1022.63	104.28
Junc n166	BPAT	918.34	1022.61	104.27
Junc n167	BPAT	920.69	1022.47	101.78
Junc n168	BPAT	920.92	1021.96	101.04

Junc n169	BPAT	923.22	1021.54	98.32
Junc n170	BPAT	935.71	1021.42	85.71
Junc n171	BPAT	926.6	1020.86	94.26
Junc n172	BPAT	928.09	1020.70	92.61
Junc n173	BPAT	939.3	1020.64	81.34
Junc n174	BPAT	933.41	1020.61	87.20
Junc n175	BPAT	933.24	1020.36	87.12
Junc n176	BPAT	933.98	1019.79	85.81
Junc n177	BPAT	929.24	1019.59	90.35
Junc n178	BPAT	922.97	1019.57	96.60
Junc n179	BPAT	921.98	1019.22	97.24
Junc n180	BPAT	924.31	1018.83	94.52
Junc n181	BPAT	922.1	1018.56	96.46
Junc n182	BPAT	923.39	1018.01	94.62
Junc n183	BPAT	924.76	1017.76	93.00
Junc n184	BPAT	927.19	1017.73	90.54
Junc n185	BPAT	927.72	1016.98	89.26
Junc n186	BPAT	927.25	1016.63	89.38
Junc n187	BPAT	934.16	1016.56	82.40
Junc n188	BPAT	940.29	1016.24	75.95
Junc n189	BPAT	942.54	1016.10	73.56
Junc n190	BPAT	941.94	1016.04	74.10
Junc n191	BPAT	939.94	1015.58	75.64
Junc n192	BPAT	946.08	1015.57	69.49
Junc n193	BPAT	946.92	1014.45	67.53
Junc n194	BPAT	947.1	1014.42	67.32
Junc n195	BPAT	961.09	1014.42	53.33
Junc n196	BPAT	963.39	1014.33	50.94
Junc n197	BPAT	961.61	1014.10	52.49
Junc n198	BPAT	958.87	1013.84	54.97
Junc n199	BPAT	954.86	1013.34	58.48
Junc n200	BPAT	958.43	1013.22	54.79
Junc n201	BPAT	952.27	1013.18	60.91
Junc n202	BPAT	953.65	1013.00	59.35
Junc n203	BPAT	956.45	1012.85	56.40
Junc n204	BPAT	957.93	1012.83	54.90
Junc n205	BPAT	960.88	1012.51	51.63
Junc n206	BPAT	961.54	1012.18	50.64
Junc n207	BPAT	979.72	1012.14	32.42
Junc n208	BPAT	1007.49	1012.13	4.64
Junc n209	BPAT	1009.64	1012.13	2.49
Junc n210	BPAT	1010.32	1012.06	1.74
Junc n211	BPAT	1010.59	1012.02	1.43
Resvr R-1	BPAT	1012	1012.00	0.00

Annexe (IV.2)

Débits et vitesses dans la conduite EST

Tronçons	Matériaux	longueur	Diamètre	Rugisité	Débit	Vitesse
		m	mm	mm	LPS	m/s
Pipe p1	Acier	664	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p2	Acier	145	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p3	Acier	123	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p4	Acier	647	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p5	Acier	40	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p6	Acier	34	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p7	Acier	347	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p8	Acier	229	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p9	Acier	278	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p10	Acier	402	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p11	Acier	567	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p12	Acier	128	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p13	Acier	233	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p14	Acier	41	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p15	Acier	111	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p16	Acier	140	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p17	Acier	242	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p18	Acier	283	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p19	Acier	316	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p20	Acier	145	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p21	Acier	350	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p22	Acier	739	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p23	Acier	402	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p24	Acier	899	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p25	Acier	535	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p26	Acier	473	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p27	Acier	544	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p28	Acier	381	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p29	Acier	560	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p30	Acier	177	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p31	Acier	161	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p32	Acier	109	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p33	Acier	123	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p34	Acier	161	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p35	Acier	100	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p36	Acier	244	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p37	Acier	219	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p38	Acier	474	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p39	Acier	184	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p40	Acier	136	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p41	Acier	40	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p42	Acier	53	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p43	Acier	40	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p44	Acier	226	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p45	Acier	327	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p46	Acier	298	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p47	Acier	168	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p48	Acier	225	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p49	Acier	546	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p50	Acier	101	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p51	Acier	115	2000	0.4	4881.00	1.55

Pipe p52	Acier	747	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p53	Acier	132	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p54	Acier	219	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p55	Acier	368	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p56	Acier	531	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p57	Acier	284	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p58	Acier	306	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p59	Acier	168	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p60	Acier	96	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p61	Acier	87	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p62	Acier	21	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p63	Acier	70	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p64	Acier	387	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p65	Acier	336	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p66	Acier	438	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p67	Acier	45	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p68	BPAT	497	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p69	BPAT	146	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p70	BPAT	446	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p71	BPAT	294	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p72	BPAT	74	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p73	BPAT	82	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p74	BPAT	485	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p75	BPAT	115	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p76	BPAT	143	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p77	BPAT	187	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p78	BPAT	331	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p79	BPAT	160	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p80	BPAT	231	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p81	BPAT	107	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p82	BPAT	589	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p83	BPAT	534	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p84	BPAT	569	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p85	BPAT	214	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p86	BPAT	46	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p87	BPAT	534	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p88	BPAT	438	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p89	BPAT	162	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p90	BPAT	163	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p91	BPAT	831	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p92	BPAT	465	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p93	BPAT	546	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p94	BPAT	506	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p95	BPAT	205	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p96	BPAT	94	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p97	BPAT	75	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p98	BPAT	262	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p99	BPAT	32	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p100	BPAT	380	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p101	BPAT	131	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p102	BPAT	281	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p103	BPAT	187	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p104	BPAT	225	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p105	BPAT	184	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p106	BPAT	107	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p107	BPAT	46	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p108	BPAT	150	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p109	BPAT	129	2000	0.9	4881.00	1.55

Pipe p110	BPAT	293	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p111	BPAT	103	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p112	BPAT	185	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p113	BPAT	265	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p114	BPAT	119	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p115	BPAT	181	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p116	BPAT	318	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p117	BPAT	112	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p118	BPAT	262	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p119	BPAT	112	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p120	BPAT	262	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p121	BPAT	337	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p122	BPAT	225	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p123	BPAT	187	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p124	BPAT	187	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p125	BPAT	337	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p126	BPAT	187	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p127	BPAT	187	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p128	BPAT	225	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p129	BPAT	487	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p130	BPAT	75	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p131	BPAT	131	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p132	BPAT	580	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p133	BPAT	393	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p134	BPAT	543	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p135	BPAT	187	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p136	BPAT	94	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p137	BPAT	56	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p138	BPAT	599	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p139	BPAT	513	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p140	BPAT	423	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p141	BPAT	243	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p142	BPAT	19	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p143	BPAT	94	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p144	BPAT	356	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p145	BPAT	225	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p146	BPAT	318	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p147	BPAT	730	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p148	BPAT	335	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p149	BPAT	139	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p150	BPAT	143	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p151	BPAT	173	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p152	BPAT	239	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p153	BPAT	460	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p154	BPAT	716	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p155	BPAT	23	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p156	BPAT	108	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p157	BPAT	499	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p158	BPAT	776	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p159	BPAT	224	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p160	BPAT	156	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p161	BPAT	140	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p162	BPAT	148	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p163	BPAT	97	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p164	BPAT	19	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p165	BPAT	136	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p166	BPAT	508	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p167	BPAT	413	2000	0.9	4881.00	1.55

Pipe p168	BPAT	117	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p169	BPAT	548	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p170	BPAT	155	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p171	BPAT	59	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p172	BPAT	28	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p173	BPAT	253	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p174	BPAT	560	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p175	BPAT	191	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p176	BPAT	17	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p177	BPAT	352	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p178	BPAT	380	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p179	BPAT	260	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p180	BPAT	540	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p181	BPAT	251	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p182	BPAT	24	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p183	BPAT	745	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p184	BPAT	340	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p185	BPAT	65	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p186	BPAT	315	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p187	BPAT	140	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p188	BPAT	60	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p189	BPAT	452	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p190	BPAT	9	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p191	BPAT	1100	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p192	BPAT	27	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p193	BPAT	7	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p194	BPAT	87	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p195	BPAT	230	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p196	BPAT	250	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p197	BPAT	496	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p198	BPAT	114	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p199	BPAT	37	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p200	BPAT	179	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p201	BPAT	143	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p202	BPAT	20	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p203	BPAT	322	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p204	BPAT	321	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p205	BPAT	41	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p206	BPAT	7	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p207	BPAT	4	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p208	BPAT	65	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p209	BPAT	41	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p210	BPAT	19	2000	0.9	4881.00	1.55

Annexe (IV.3)

Pressions dans les nœuds de la conduite OUEST

Nœuds	Matériaux	Elévation	Pertes de charge	Pression
		m	mCE	mCE
Junc n 1	Acier	785.34	1068.95	283.61
Junc n 2	Acier	786.92	1068.89	281.97
Junc n 3	Acier	796.12	1068.37	272.25
Junc n 4	Acier	796.43	1068.25	271.82
Junc n 5	Acier	798.25	1068.10	269.85
Junc n 6	Acier	800.35	1067.77	267.42
Junc n 7	Acier	802.68	1067.59	264.91
Junc n 8	Acier	807.37	1067.01	259.64
Junc n 9	Acier	810.19	1066.79	256.60
Junc n 10	Acier	802.43	1065.98	263.55
Junc n 11	Acier	803.81	1065.76	261.95
Junc n 12	Acier	803.79	1065.58	261.79
Junc n 13	Acier	803.76	1065.51	261.75
Junc n 14	Acier	803.47	1065.15	261.68
Junc n 15	Acier	802.75	1064.52	261.77
Junc n 16	Acier	803.72	1064.24	260.52
Junc n 17	Acier	807.44	1062.96	255.52
Junc n 18	Acier	808.66	1062.70	254.04
Junc n 19	Acier	809.32	1062.46	253.14
Junc n 20	Acier	811.46	1061.78	250.32
Junc n 21	Acier	811.94	1061.50	249.56
Junc n 22	Acier	813.66	1061.13	247.47
Junc n 23	Acier	829.18	1060.23	231.05
Junc n 24	Acier	832.97	1060.12	227.15
Junc n 25	Acier	833.26	1059.99	226.73
Junc n 26	Acier	829.73	1059.89	230.16
Junc n 27	Acier	823.54	1059.78	236.24
Junc n 28	Acier	817.84	1059.55	241.71
Junc n 29	Acier	819.75	1059.33	239.58
Junc n 30	Acier	824.73	1058.72	233.99
Junc n 31	Acier	826	1058.57	232.57
Junc n 32	Acier	824.49	1058.47	233.98
Junc n 33	Acier	821.38	1058.33	236.95
Junc n 34	Acier	821.48	1058.17	236.69
Junc n 35	Acier	821.27	1058.13	236.86
Junc n 36	Acier	823.89	1057.86	233.97
Junc n 37	Acier	821.88	1057.61	235.73
Junc n 38	Acier	823.95	1057.48	233.53
Junc n 40	Acier	828.84	1056.87	228.03
Junc n 41	Acier	824.94	1056.43	231.49
Junc n 42	Acier	827.77	1056.26	228.49
Junc n 43	Acier	824.63	1056.00	231.37
Junc n 44	Acier	824.45	1055.97	231.52
Junc n 45	Acier	825.97	1055.56	229.59
Junc n 46	Acier	826.22	1055.36	229.14
Junc n 47	Acier	830.22	1054.91	224.69
Junc n 48	Acier	825.08	1054.40	229.32
Junc n 49	Acier	823.17	1053.68	230.51
Junc n 50	Acier	824.22	1053.48	229.26
Junc n 51	Acier	824.52	1053.41	228.89
Junc n 52	Acier	826.72	1053.00	226.28

Junc n 53	BPAT	826.77	1052.98	226.21
Junc n 54	BPAT	839.46	1052.47	213.01
Junc n 55	BPAT	845.65	1052.32	206.67
Junc n 56	BPAT	867.42	1051.55	184.13
Junc n 57	BPAT	867.12	1051.38	184.26
Junc n 58	BPAT	861.58	1050.94	189.36
Junc n 59	BPAT	864.44	1050.77	186.33
Junc n 60	BPAT	859.95	1050.20	190.25
Junc n 61	BPAT	861.84	1049.67	187.83
Junc n 62	BPAT	862.11	1049.57	187.46
Junc n 63	BPAT	865.34	1049.18	183.84
Junc n 64	BPAT	867.85	1048.99	181.14
Junc n 65	BPAT	873.09	1048.67	175.58
Junc n 66	BPAT	877	1048.44	171.44
Junc n 67	BPAT	875.81	1048.16	172.35
Junc n 68	BPAT	874.3	1047.86	173.56
Junc n 69	BPAT	873.18	1047.65	174.47
Junc n 70	BPAT	873.17	1047.60	174.43
Junc n 71	BPAT	869.46	1047.14	177.68
Junc n 72	BPAT	864.14	1046.63	182.49
Junc n 73	BPAT	859.87	1046.13	186.26
Junc n 74	BPAT	849.89	1045.62	195.73
Junc n 75	BPAT	841.95	1045.11	203.16
Junc n 76	BPAT	839.52	1044.60	205.08
Junc n 77	BPAT	839.51	1044.09	204.58
Junc n 79	BPAT	69.46	1043.68	974.22
Junc n 80	BPAT	839.62	1042.89	203.27
Junc n 81	BPAT	839.55	1042.78	203.23
Junc n 82	BPAT	839.52	1042.54	203.02
Junc n 83	BPAT	839.6	1042.48	202.88
Junc n 84	BPAT	839.57	1042.38	202.81
Junc n 85	BPAT	840.38	1042.12	201.74
Junc n 86	BPAT	840.36	1041.86	201.50
Junc n 87	BPAT	843.31	1041.36	198.05
Junc n 88	BPAT	842.05	1041.21	199.16
Junc n 89	BPAT	846.68	1040.97	194.29
Junc n 90	BPAT	845.04	1040.87	195.83
Junc n 91	BPAT	843.96	1040.52	196.56
Junc n 92	BPAT	848.25	1040.21	191.96
Junc n 93	BPAT	844.43	1039.89	195.46
Junc n 94	BPAT	376.69	1039.25	662.56
Junc n 95	BPAT	848.09	1038.74	190.65
Junc n 96	BPAT	852.87	1038.44	185.57
Junc n 97	BPAT	852.04	1038.23	186.19
Junc n 98	BPAT	852.24	1037.72	185.48
Junc n 99	BPAT	851.83	1037.59	185.76
Junc n 100	BPAT	850.38	1037.51	187.13
Junc n 101	BPAT	851.32	1037.21	185.89
Junc n 102	BPAT	852.47	1036.70	184.23
Junc n 103	BPAT	852.75	1036.54	183.79
Junc n 104	BPAT	853.4	1036.30	182.90
Junc n 105	BPAT	853.57	1036.19	182.62
Junc n 106	BPAT	855.07	1035.68	180.61
Junc n 107	BPAT	855.03	1035.53	180.50
Junc n 108	BPAT	856.34	1035.08	178.74
Junc n 109	BPAT	857.06	1034.92	177.86
Junc n 110	BPAT	856.97	1034.82	177.85
Junc n 111	BPAT	857.41	1034.66	177.25

Junc n 112	BPAT	859.24	1034.15	174.91
Junc n 113	BPAT	860.47	1033.72	173.25
Junc n 114	BPAT	860.67	1033.65	172.98
Junc n 115	BPAT	861.96	1033.14	171.18
Junc n 116	BPAT	862.26	1033.03	170.77
Junc n 117	BPAT	862.74	1032.91	170.17
Junc n 118	BPAT	862.78	1032.82	170.04
Junc n 119	BPAT	862.82	1032.76	169.94
Junc n 120	BPAT	863.02	1032.63	169.61
Junc n 121	BPAT	592.96	1031.53	438.57
Junc n 122	BPAT	868.78	1030.99	162.21
Junc n 123	BPAT	869.32	1030.84	161.52
Junc n 124	BPAT	869.55	1030.74	161.19
Junc n 125	BPAT	870.16	1030.48	160.32
Junc n 126	BPAT	872.27	1029.97	157.70
Junc n 127	BPAT	876.57	1029.46	152.89
Junc n 128	BPAT	876.95	1028.95	152.00
Junc n 129	BPAT	877.89	1028.82	150.93
Junc n 130	BPAT	879.74	1028.49	148.75
Junc n 131	BPAT	880.82	1028.44	147.62
Junc n 132	BPAT	885.14	1028.34	143.20
Junc n 133	BPAT	885.65	1028.32	142.67
Junc n 134	BPAT	888.17	1028.17	140.00
Junc n 136	BPAT	78.75	1027.33	948.58
Junc n 137	BPAT	898.9	1025.33	126.43
Junc n 138	BPAT	908.31	1024.84	116.53
Junc n 139	BPAT	909.69	1024.64	114.95
Junc n 140	BPAT	913.89	1024.50	110.61
Junc n 141	BPAT	917.53	1024.36	106.83
Junc n 142	BPAT	915.9	1024.22	108.32
Junc n 143	BPAT	915.61	1024.17	108.56
Junc n 144	BPAT	917.54	1024.05	106.51
Junc n 145	BPAT	919.86	1023.94	104.08
Junc n 146	BPAT	918.51	1023.59	105.08
Junc n 147	BPAT	921.72	1023.45	101.73
Junc n 148	BPAT	923.38	1023.33	99.95
Junc n 149	BPAT	934.92	1023.08	88.16
Junc n 150	BPAT	936.7	1023.03	86.33
Junc n 151	BPAT	935.47	1022.98	87.51
Junc n 152	BPAT	930.94	1022.66	91.72
Junc n 153	BPAT	929.88	1021.99	92.11
Junc n 154	BPAT	933.91	1021.55	87.64
Junc n 155	BPAT	931.47	1021.33	89.86
Junc n 156	BPAT	930.68	1021.28	90.60
Junc n 157	BPAT	929.83	1021.21	91.38
Junc n 158	BPAT	927.37	1021.04	93.67
Junc n 159	BPAT	923.08	1020.89	97.81
Junc n 160	BPAT	923.6	1019.99	96.39
Junc n 161	BPAT	924.81	1019.43	94.62
Junc n 162	BPAT	925.65	1019.16	93.51
Junc n 163	BPAT	927.95	1018.61	90.66
Junc n 164	BPAT	941.76	1017.57	75.81
Junc n 165	BPAT	941.21	1017.49	76.28
Junc n 166	BPAT	945.71	1017.32	71.61
Junc n 167	BPAT	943.46	1017.20	73.74
Junc n 168	BPAT	940.21	1016.96	76.75
Junc n 169	BPAT	947.96	1016.80	68.84
Junc n 170	BPAT	946.14	1016.49	70.35

Junc n 171	BPAT	584.82	1016.12	431.30
Junc n 172	BPAT	952.68	1015.65	62.97
Junc n 173	BPAT	955.24	1015.55	60.31
Junc n 174	BPAT	961.42	1014.77	53.35
Junc n 175	BPAT	955.72	1013.70	57.97
Junc n 176	BPAT	955.46	1013.69	58.23
Junc n 177	BPAT	949.15	1013.67	64.52
Junc n 178	BPAT	951.16	1013.59	62.43
Junc n 179	BPAT	88.93	1012.71	923.78
Junc n 180	BPAT	958.96	1011.79	52.83
Junc n 181	BPAT	960.29	1011.76	51.47
Junc n 182	BPAT	960.66	1011.74	51.08
Junc n 183	BPAT	960.41	1011.71	51.30
Junc n 184	BPAT	961.16	1011.69	50.53
Junc n 185	BPAT	964.52	1011.63	47.11
Junc n 186	BPAT	972.35	1011.46	39.11
Junc n 187	BPAT	977.93	1011.37	33.44
Junc n 188	BPAT	978.44	1011.36	32.92
Junc n 189	BPAT	979.24	1011.35	32.11
Junc n 190	BPAT	996.9	1011.17	14.27
Junc n 191	BPAT	1006.76	1011.03	4.27
Resvr R-1	BPAT	1011	1011.00	0.00

Annexe (IV.4)

Débits et vitesses dans la conduite OUEST

Tronçons	Matériaux	Longueur	Diamètre	Rugosité	Débit	Vitesse
		m	mm	mm	LPS	m/s
Pipe p 1	Acier	71	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p 2	Acier	599	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p 3	Acier	132	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p 4	Acier	172	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p 5	Acier	384	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p 6	Acier	202	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p 7	Acier	678	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p 8	Acier	251	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p 9	Acier	934	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p 10	Acier	243	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p 11	Acier	206	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p 12	Acier	83	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p 13	Acier	413	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p 14	Acier	729	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p 15	Acier	325	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p 16	Acier	1474	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p 17	Acier	294	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p 18	Acier	276	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p 19	Acier	780	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p 20	Acier	322	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p 21	Acier	424	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p 22	Acier	1046	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p 23	Acier	121	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p 24	Acier	151	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p 25	Acier	108	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p 26	Acier	132	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p 27	Acier	266	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p 28	Acier	255	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p 29	Acier	697	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p 30	Acier	174	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p 31	Acier	111	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p 32	Acier	170	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p 33	Acier	179	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p 34	Acier	48	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p 35	Acier	311	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p 36	Acier	283	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p 37	Acier	155	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p 38	Acier	702	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p 39	Acier	500	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p 40	Acier	196	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p 41	Acier	304	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p 42	Acier	31	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p 43	Acier	469	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p 44	Acier	235	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p 45	Acier	520	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p 46	Acier	581	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p 47	Acier	826	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p 48	Acier	233	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p 49	Acier	82	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p 50	Acier	476	2000	0.4	4881.00	1.55
Pipe p 51	Acier	24	2000	0.4	4881.00	1.55

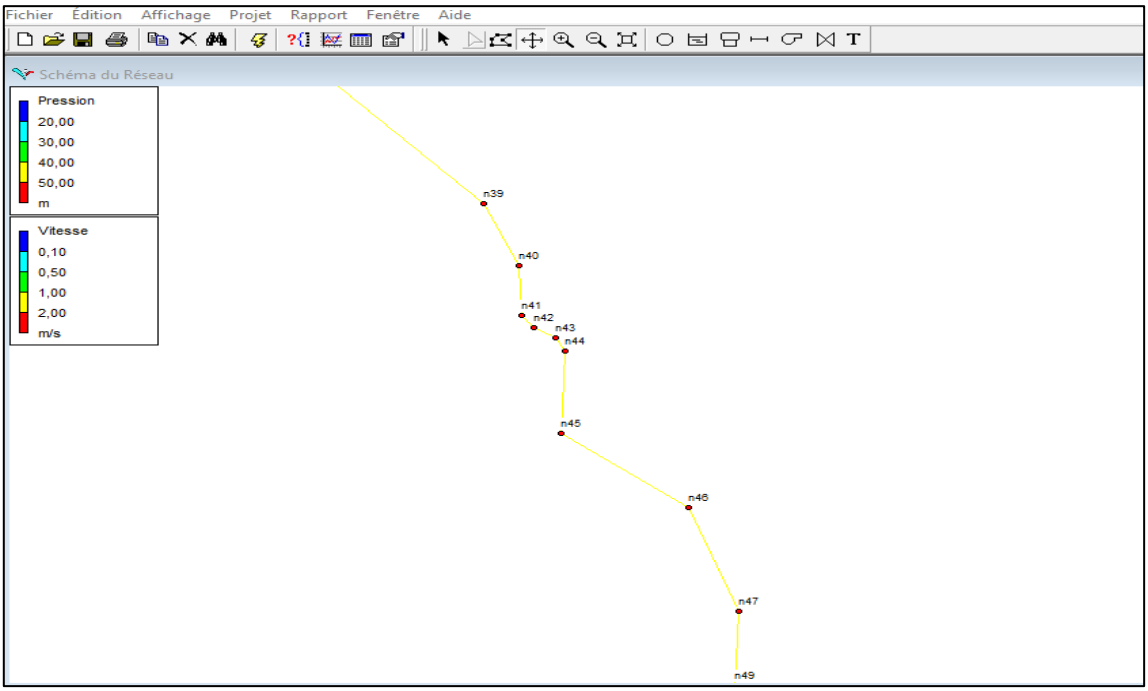
Pipe p 52	BPAT	500	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 53	BPAT	144	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 54	BPAT	754	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 55	BPAT	171	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 56	BPAT	433	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 57	BPAT	168	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 58	BPAT	559	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 59	BPAT	522	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 60	BPAT	95	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 61	BPAT	383	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 62	BPAT	188	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 63	BPAT	313	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 64	BPAT	224	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 65	BPAT	276	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 66	BPAT	299	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 67	BPAT	201	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 68	BPAT	53	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 69	BPAT	448	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 70	BPAT	500	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 71	BPAT	500	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 72	BPAT	500	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 73	BPAT	500	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 74	BPAT	500	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 75	BPAT	500	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 76	BPAT	403	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 77	BPAT	776	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 78	BPAT	112	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 79	BPAT	235	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 80	BPAT	54	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 81	BPAT	99	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 82	BPAT	255	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 83	BPAT	253	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 84	BPAT	498	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 85	BPAT	141	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 86	BPAT	237	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 87	BPAT	105	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 88	BPAT	339	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 89	BPAT	305	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 90	BPAT	313	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 91	BPAT	627	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 92	BPAT	509	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 93	BPAT	292	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 94	BPAT	208	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 95	BPAT	500	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 96	BPAT	127	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 97	BPAT	80	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 98	BPAT	293	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 99	BPAT	500	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 100	BPAT	155	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 101	BPAT	235	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 102	BPAT	110	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 103	BPAT	500	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 104	BPAT	147	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 105	BPAT	442	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 106	BPAT	157	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 107	BPAT	100	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 108	BPAT	155	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 109	BPAT	500	2000	0.9	4881.00	1.55

Pipe p 110	BPAT	423	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 111	BPAT	77	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 112	BPAT	500	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 113	BPAT	109	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 114	BPAT	115	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 115	BPAT	90	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 116	BPAT	60	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 117	BPAT	126	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 118	BPAT	1074	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 119	BPAT	537	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 120	BPAT	145	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 121	BPAT	96	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 122	BPAT	259	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 123	BPAT	500	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 124	BPAT	500	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 125	BPAT	500	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 126	BPAT	131	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 127	BPAT	327	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 128	BPAT	42	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 129	BPAT	107	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 130	BPAT	10	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 131	BPAT	152	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 132	BPAT	829	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 133	BPAT	1961	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 134	BPAT	481	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 135	BPAT	193	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 136	BPAT	145	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 137	BPAT	133	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 138	BPAT	139	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 139	BPAT	48	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 140	BPAT	123	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 141	BPAT	105	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 142	BPAT	343	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 143	BPAT	135	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 144	BPAT	117	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 145	BPAT	247	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 146	BPAT	48	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 147	BPAT	48	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 148	BPAT	319	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 149	BPAT	654	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 150	BPAT	433	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 151	BPAT	221	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 152	BPAT	48	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 153	BPAT	68	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 154	BPAT	169	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 155	BPAT	151	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 156	BPAT	883	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 157	BPAT	544	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 158	BPAT	271	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 159	BPAT	542	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 160	BPAT	1018	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 161	BPAT	74	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 162	BPAT	167	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 163	BPAT	120	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 164	BPAT	242	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 165	BPAT	153	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 166	BPAT	306	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 167	BPAT	364	2000	0.9	4881.00	1.55

Pipe p 168	BPAT	464	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 169	BPAT	99	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 170	BPAT	760	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 171	BPAT	1058	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 172	BPAT	7	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 173	BPAT	20	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 174	BPAT	77	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 175	BPAT	865	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 176	BPAT	900	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 177	BPAT	36	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 178	BPAT	20	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 179	BPAT	28	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 180	BPAT	20	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 181	BPAT	56	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 182	BPAT	163	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 183	BPAT	90	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 184	BPAT	12	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 185	BPAT	9	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 186	BPAT	181	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 187	BPAT	136	2000	0.9	4881.00	1.55
Pipe p 188	BPAT	28	2000	0.9	4881.00	1.55

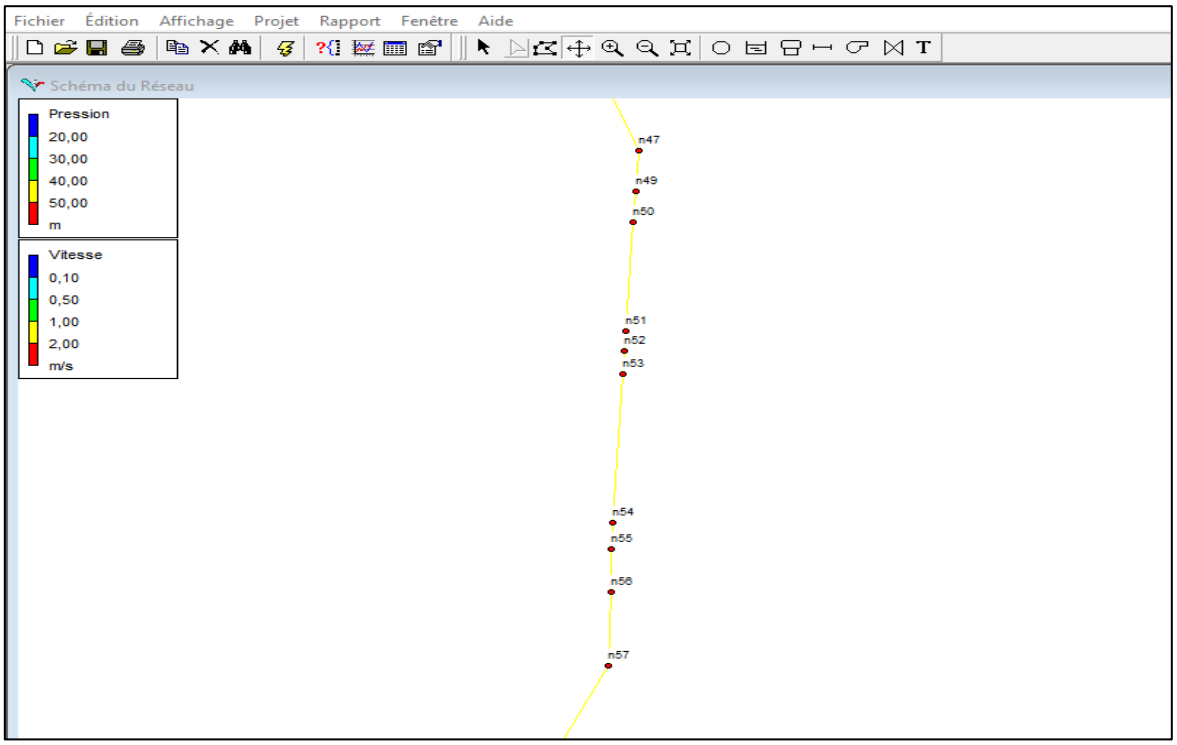
Annexe (IV.5)

Simulation fin lot A conduite EST



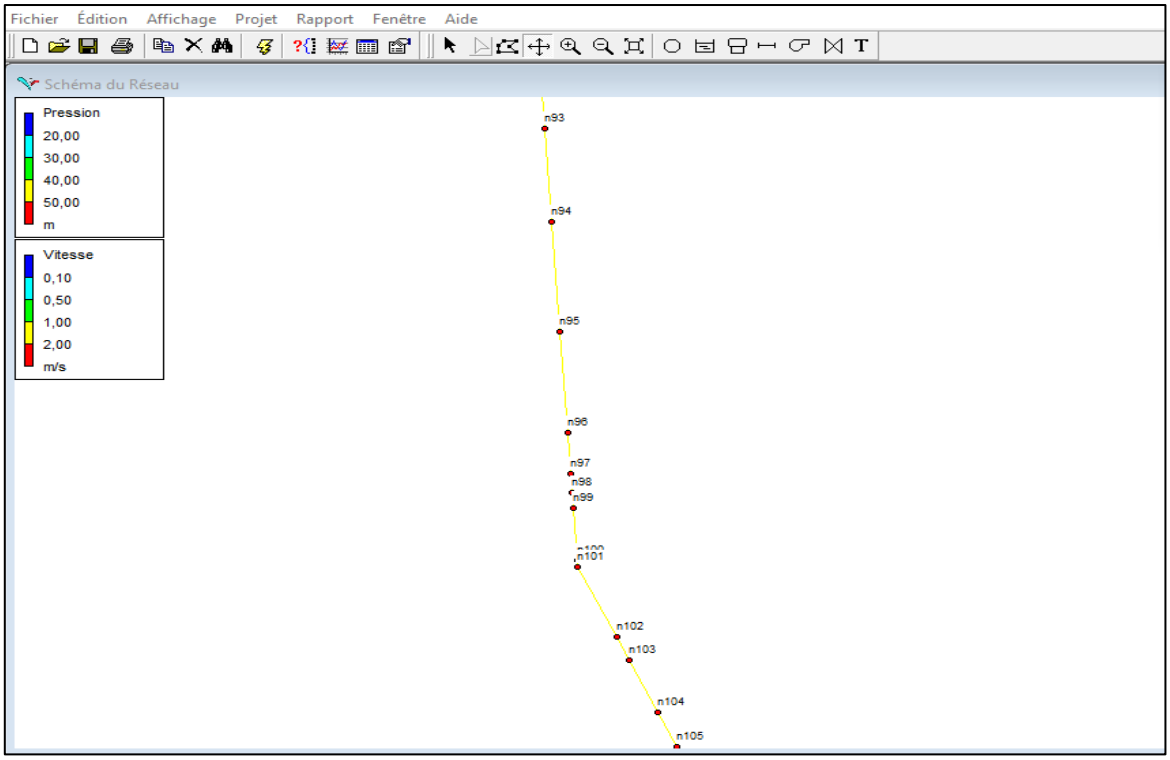
Annexe (IV.6)

Simulation début lot B conduite EST



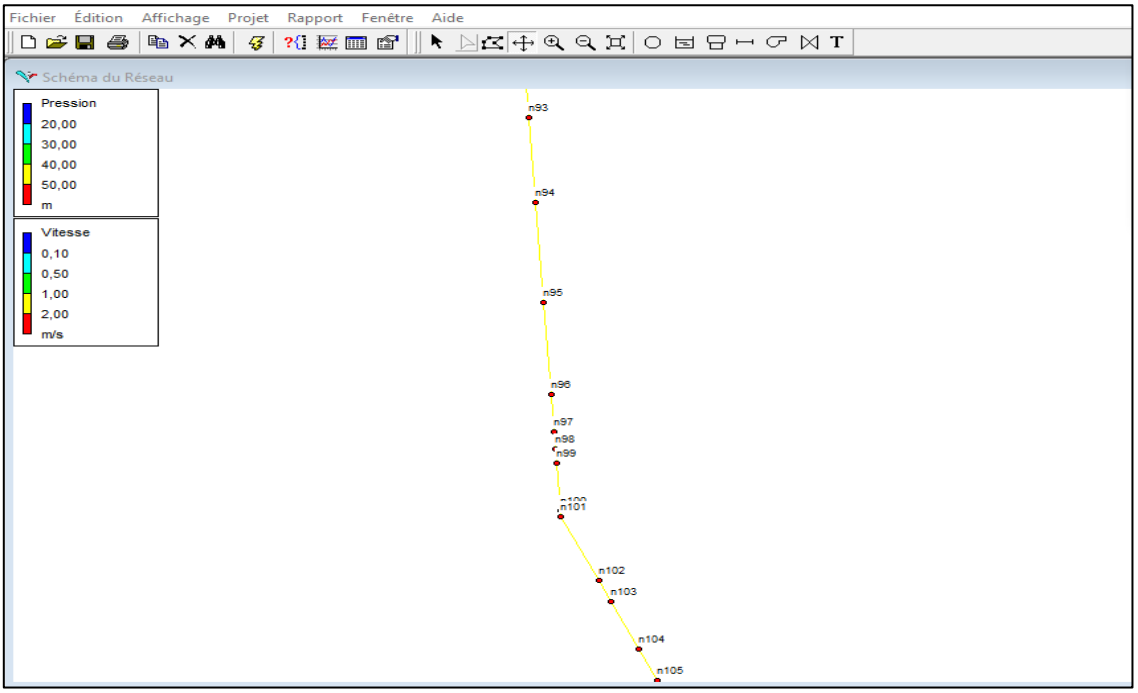
Annexe (IV.7)

Simulation fin lot B conduite EST



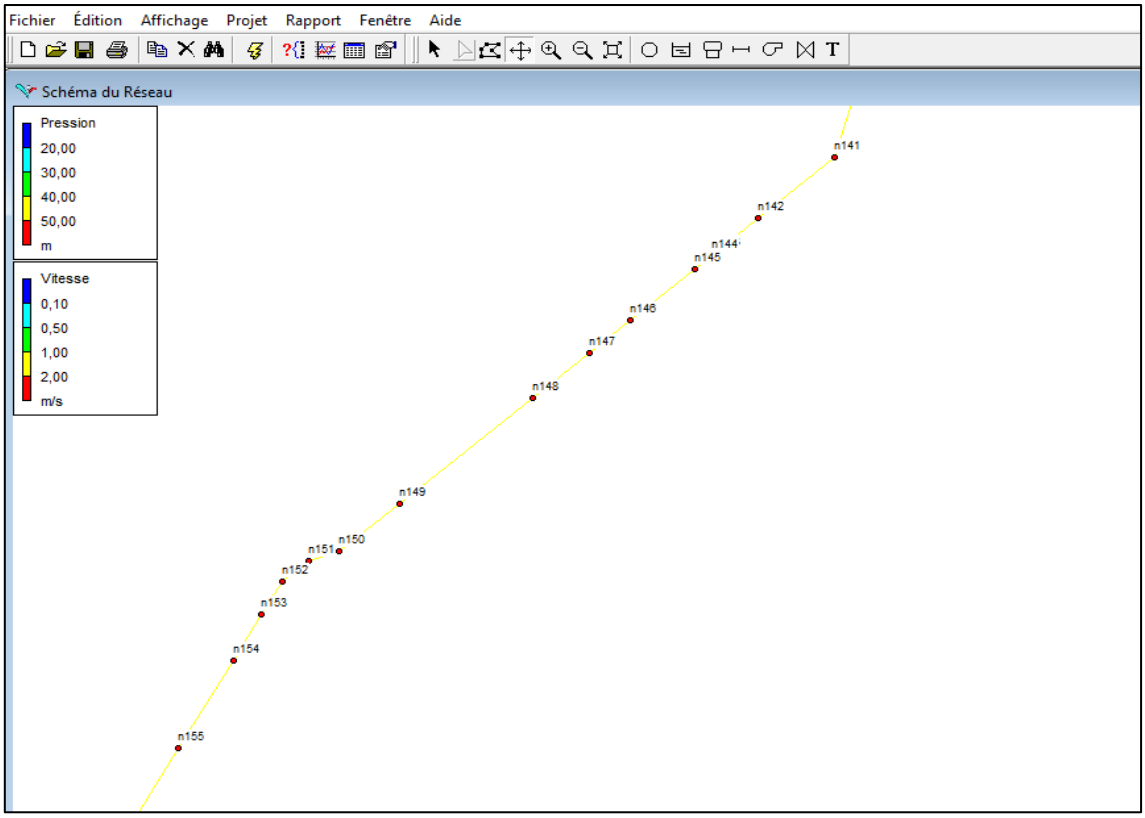
Annexe (IV.8)

Simulation début lot C conduite EST



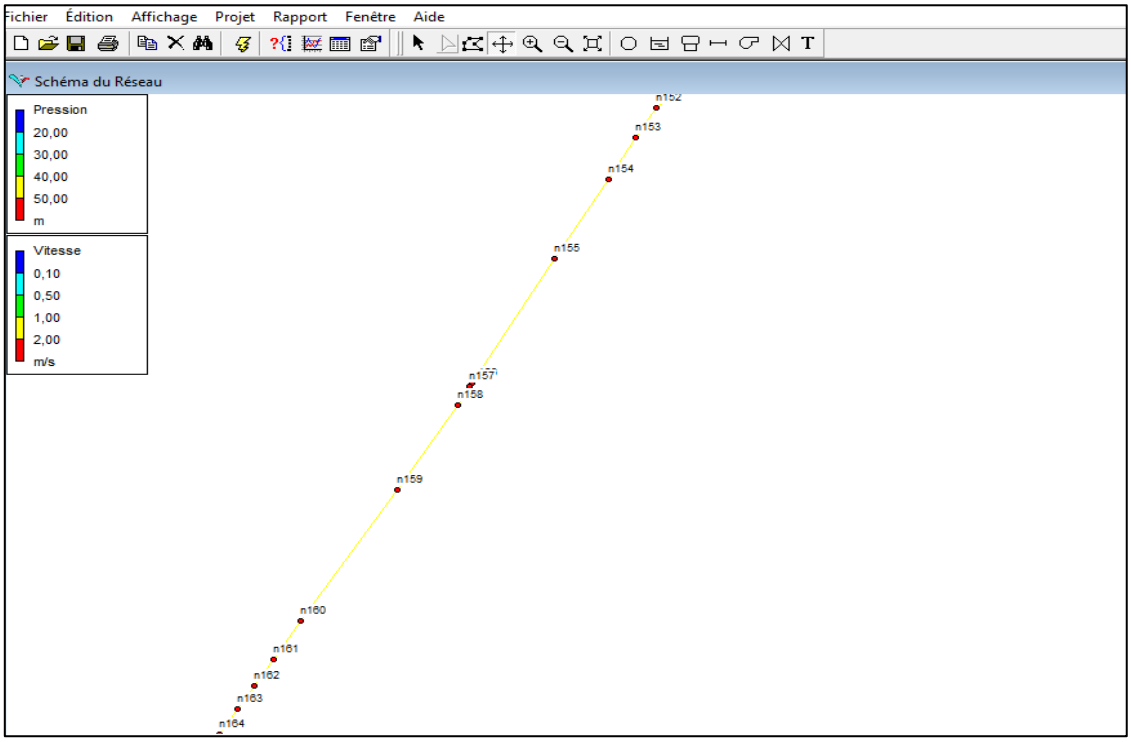
Annexe (IV.9)

Simulation fin lot C conduite EST



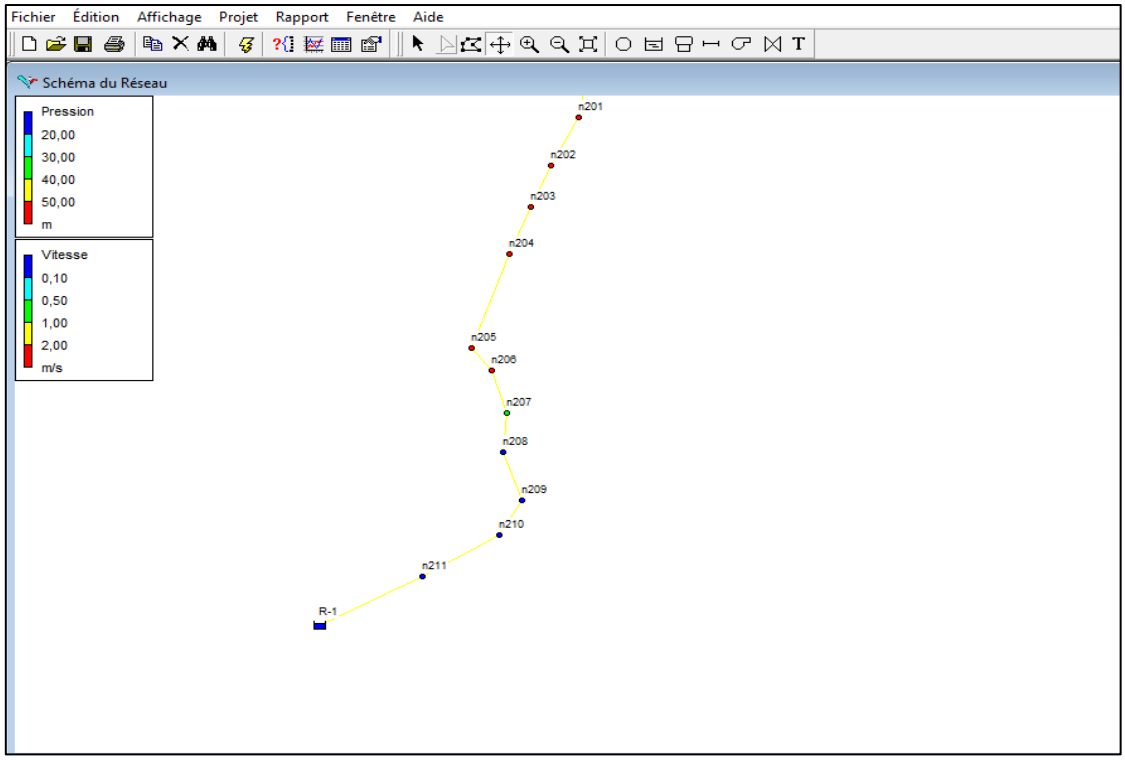
Annexe (IV.10)

Simulation début lot D conduite EST



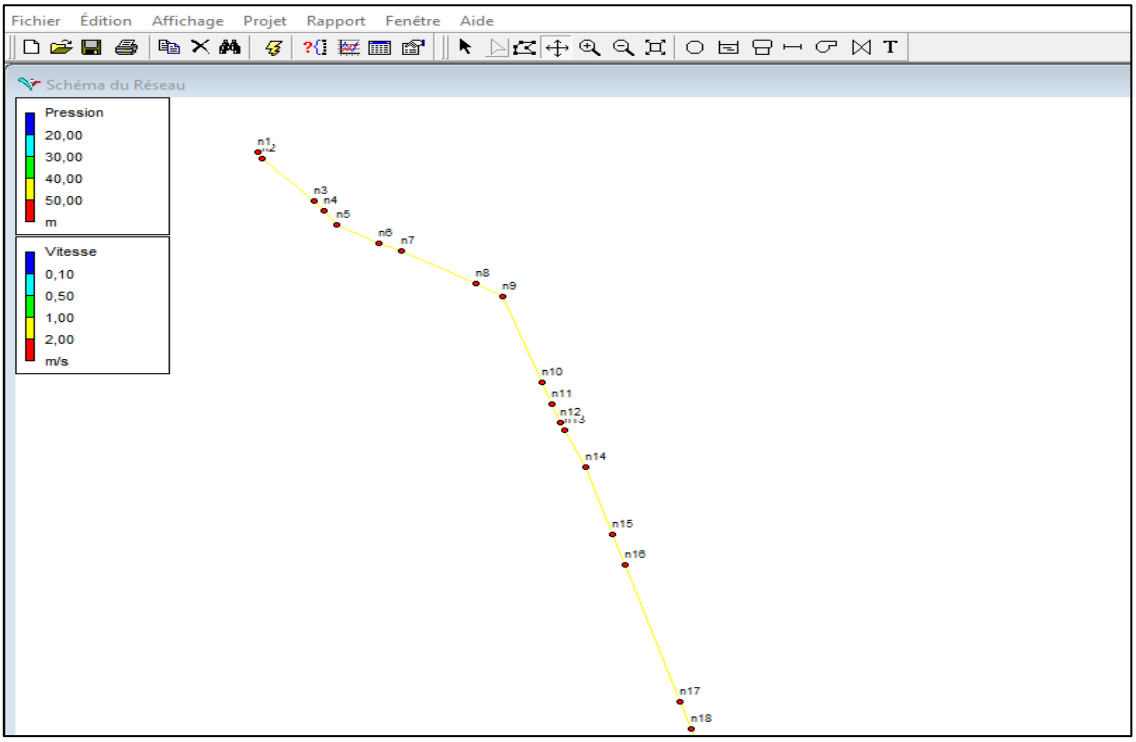
Annexe (IV.11)

Simulation fin lot D conduite EST



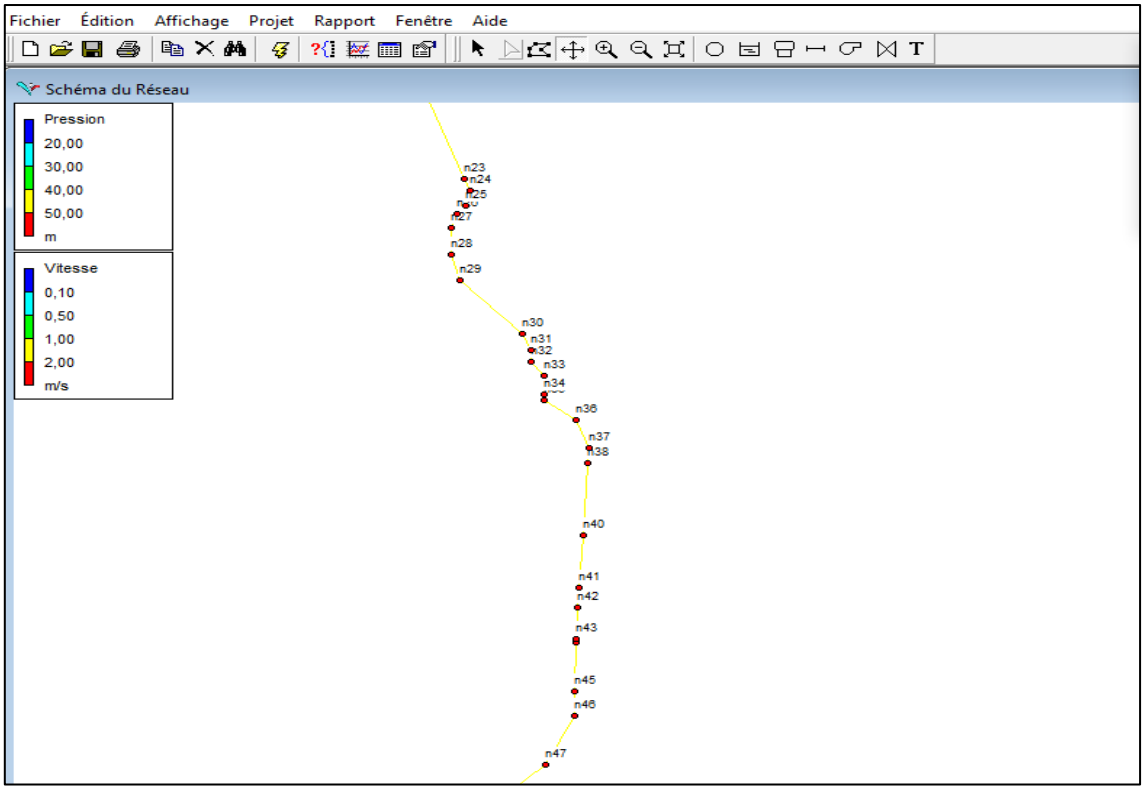
Annexe (IV.12)

Simulation début lot A conduite OUEST



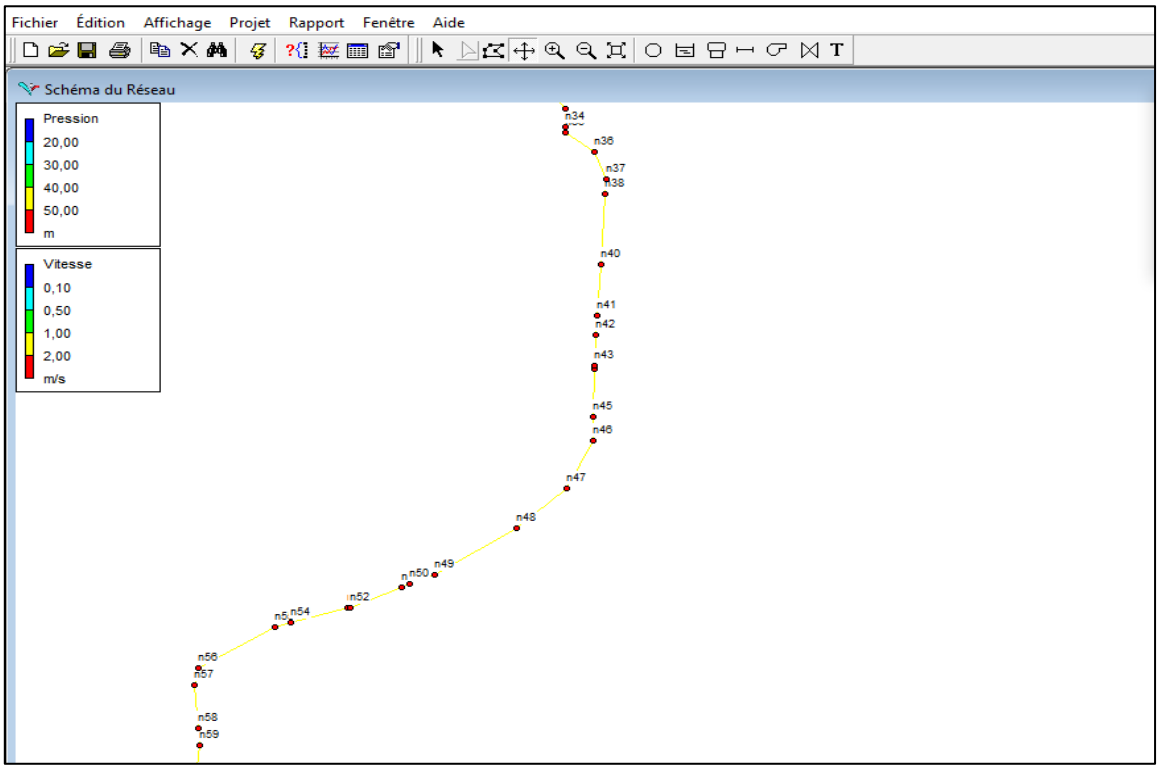
Annexe (IV.13)

Simulation fin lot A conduite OUEST



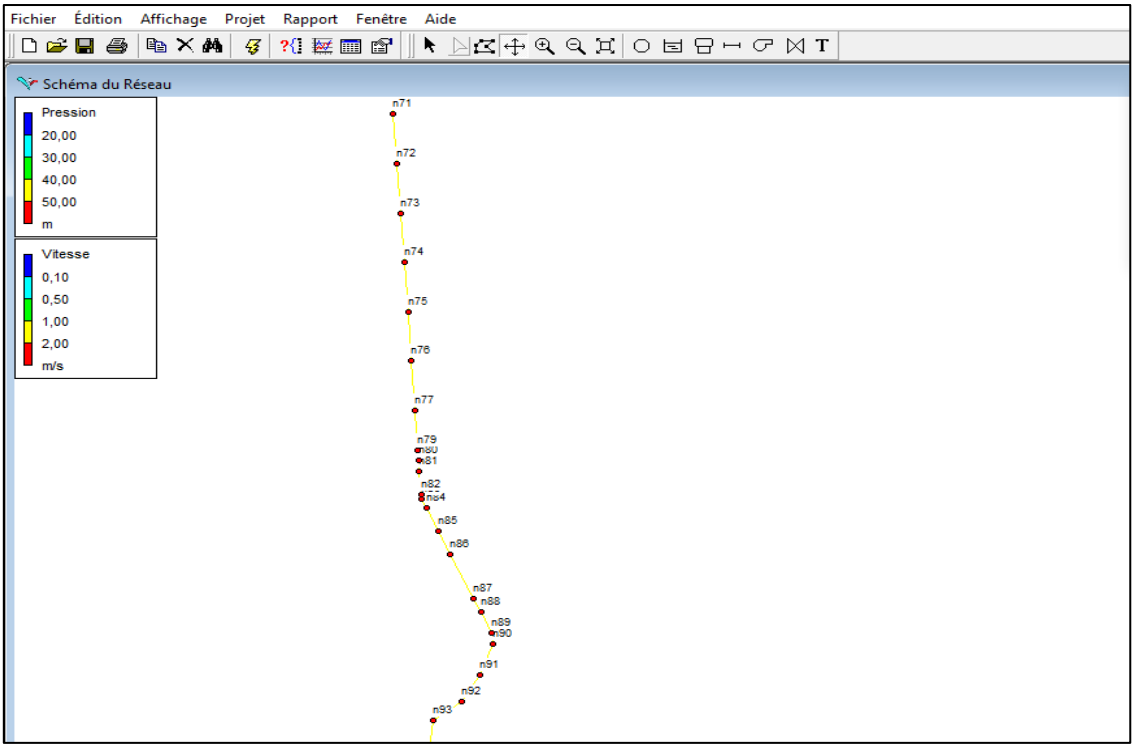
Annexe (IV.14)

Simulation début lot B conduite OUEST



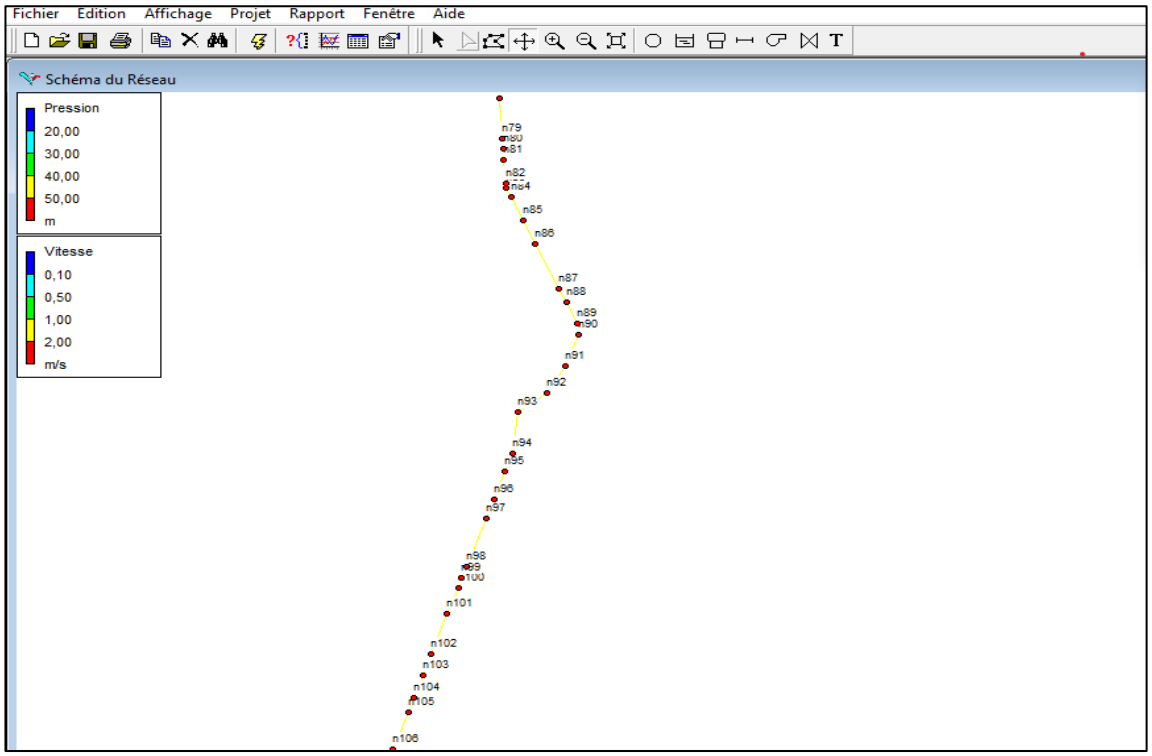
Annexe (IV.15)

Simulation fin lot B conduite OUEST



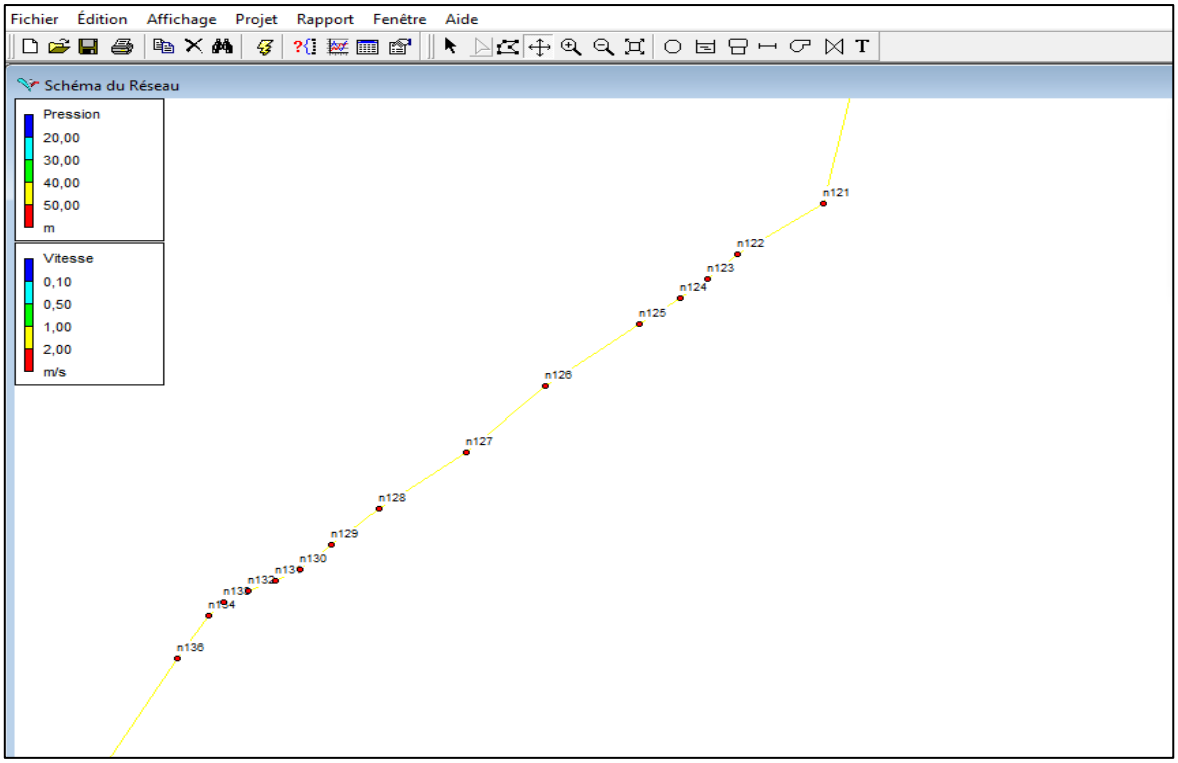
Annexe (IV.16)

Simulation début lot C conduite OUEST



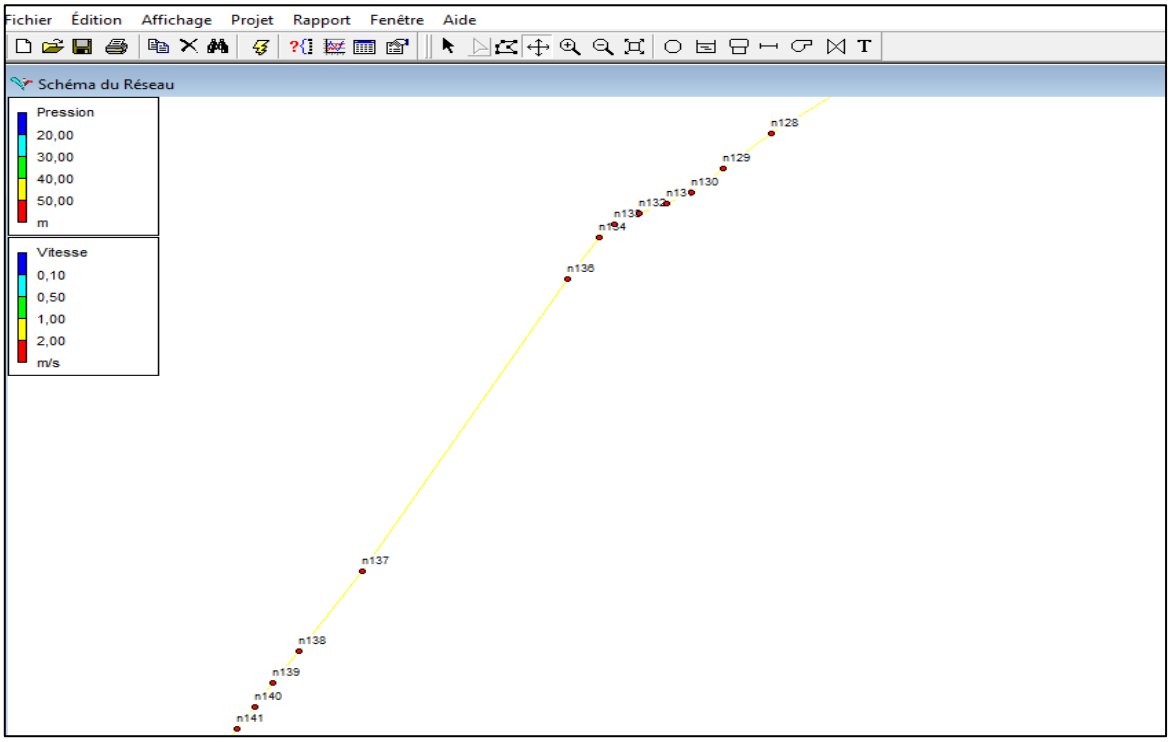
Annexe (IV.17)

Simulation fin lot C conduite OUEST



Annexe (IV.18)

Simulation début lot D conduite OUST



Annexe (VI.1)

Tableau des prix des conduites en fonte ductile d'après entreprise KOUG.C

Diamètre en (mm)	Prix de ml (DA)
60	2464,36
80	3422,31
100	6682,31
125	7836,22
150	8534,23
200	10323,10
250	11542,36
300	12336,05
350	13521,23
400	14910,06
450	15982,11
500	17885,15
600	22831,78
700	27777,32
800	31722,86
900	35668,40
1000	39613,94
1100	43553,5
1200	47498,5
1300	51443,5
1400	55388,5