



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

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

Option: REUTILISATION DES EAUX NON CONVENTIONNELES

THEME :

**Redimensionnement de la STEP de SIDI BEL ABBES et la
réutilisation des eaux épurées à des fins agricoles**

Présenté par :

BADOUR MOHAMED Ouassim

Devant les membres du jury

Nom et Prénoms	Grade	Qualité
Mr. DERNOUNI Youcef	M.A.A	Président
Mme. KHALED HOULI Samia	M.A.A	Examinatrice
Mr. KHEDIM ALLAH Abderrahmane	M.A.A	Examineur
Mme. TAFAT Leila	M.A.A	Examinatrice
Mme. DJOUDAR HELAL Dahbia	M.C.A	Promotrice

Remerciements

Je tiens avant tout à exprimer ma gratitude envers DIEU, qui m'a donné la force et la persévérance nécessaires pour mener à bien ce travail de fin d'études.

Mes remerciements vont tout particulièrement à mon encadrante, Mme. DJOUHAR HALLAL Dahbia, pour sa patience, ses conseils avisés, et son soutien constant tout au long de cette période de recherche.

Je souhaite également exprimer ma sincère appréciation à l'ensemble des enseignants de l'École Nationale Supérieure d'Hydraulique (ENSH) pour leur engagement et leur enseignement tout au long de mes années d'études.

Enfin, je remercie les membres du jury pour leur temps et leur expertise dans l'évaluation de ce travail.

Dédicace

À mon cher père, pour son amour inconditionnel, son soutien constant et ses sacrifices tout au long de mon parcours. Votre présence et vos encouragements ont été les fondations de cette réussite.

À ma chère sœur et À ma très chère grand-mère, pour leur soutien précieux et leur influence continue. Votre encouragement a été essentiel tout au long de ce voyage.

À mes amis, pour leur présence et leur soutien indéfectible. Votre amitié a facilité les défis rencontrés.

À mes collègues et À toute la communauté académique, pour les heures de collaboration et de réflexion enrichissantes. Votre contribution est grandement appréciée.

Enfin, À toute personne qui m'a aidé ou soutenu tout au long de ce parcours, merci pour votre soutien constant.

ملخص

تعاين محطة معالجة مياه الصرف الصحي بسيدي بلعباس من أداء غير كافٍ، حيث تتجاوز مستويات الملوثات معايير السقي. لتحسين ذلك، تم دمج مرشحين رمليين سريعين وحوض للأشعة فوق البنفسجية مع توسيع المحطة لأفق 2054، مما يرفع القدرة إلى 82425.054 م³/يوم. ستسمح هذه التحسينات بسقي حوالي 1100 هكتار من أشجار الزيتون، مما يقلل الضغط على الموارد التقليدية ويعزز إدارة مستدامة للمياه.

الكلمات المفتاحية : محطة معالجة مياه الصرف، التوسعة، إعادة استخدام المياه، السقي.

Résumé

La station d'épuration des eaux usées de Sidi Bel Abbès présente des performances insuffisantes, avec des niveaux de polluants dépassant les normes d'irrigation. Pour y remédier, deux filtres à sable rapides et un bassin UV ont été intégrés avec l'extension de la STEP pour l'horizon 2054, portant ainsi la capacité de traitement à 82425,054 m³/j. Ces améliorations permettront d'irriguer environ 1100 hectares d'oliviers, réduisant la pression sur les ressources conventionnelles et favorisant une gestion durable de l'eau.

mots clés : station d'épuration, extension, réutilisation de l'eau, irrigation.

Abstract

The wastewater treatment plant of Sidi Bel Abbas presents insufficient performance, with pollutant levels exceeding irrigation standards. To address this, two rapid sand filters and a UV basin have been integrated with the plant's extension for 2054, bringing the treatment capacity to 82425.054 m³/day. These improvements will allow irrigation of about 1100 hectares of olive trees, reducing pressure on conventional resources and promoting sustainable water management.

Keywords : treatment plant, extension, water reuse, irrigation.

Liste des abréviations

Abréviation	Signification
ADE	Algérienne des eaux
ANAT	Agence Nationale d'Aménagement du Territoire
CE	Conductivité électrique
CF	Coliformes fécaux
CT	Coliformes totaux
DBO5	Demande biologique en oxygène sur 5 jours
DCO	Demande chimique en oxygène
DHW SBA	Direction de l'hydraulique de wilaya de sidi bel abbès
DPAT	Direction de la programmation et de l'aménagement territorial
DSA	Direction des Services Agricoles
EH	Equivalent habitant
E-coli	Escherichia coli
FAO	Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture
MVS	Matières volatiles en suspension
MO	Matières organiques
OD	Oxygène dissous
ONA	Office national de l'assainissement
ONM	Office national de la météorologie
pH	Potentiel d'hydrogène
PT	Phosphore total
REUE	Réutilisation des eaux usées épurées
SAU	Surface agricole utile
SBA	Sidi bel abbès
STEP	Station d'épuration
TDS	Total des Solides Dissous
UV	Radiations ultraviolet
V-Cholérique	Vibrions cholériques
WWTP	wastewater treatment plant

Liste des tableaux

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES EAUX USEES

Tableau I.1 : Composants majeurs typiques d'une eau usée domestique.....	4
Tableau I.2 : Coefficient de biodégradabilité	6
Tableau I.3 : Paramètres microbiologiques dans les eaux usées	8
Tableau I.4 : Normes de rejets algériennes.....	8

CHAPITRE II : DIFFERENTS PROCEDES DE L'EPURATION DES EAUX USEES

Tableau II.1 : Dérivés des sels d'aluminium et de fer.....	12
Tableau II.2 : Efficacité épuratoire de la décantation.....	12
Tableau II.3 : Avantages et inconvénients des filières intensives	17
Tableau II.4 : Adsorbabilités attendues pour différentes familles de polluants selon les modes de fonctionnement du charbon actif	21
Tableau II.5 : Evolution de la composition des boues en fonction de la ligne de traitement d'eau	23

CHAPITRE III : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

Tableau III.1 : Rapports des ressources en eau superficielle	28
Tableau III.2 : températures mensuelles durant l'année 2022	32
Tableau III.3 : Précipitations moyennes mensuelles durant l'année 2022.....	33
Tableau III.4 : Humidité mensuelle de SBA	34
Tableau III.5 : Moyennes mensuelles de l'ensoleillement de SBA	34
Tableau III.6 : Récapitulatif de la population des 4 communes.....	35
Tableau III.7 : Récapitulatif des Taux d'accroissement de chaque région	36
Tableau III.8 : Estimation de la population affectée par le système de traitement des eaux usées en 2024 et 2054.....	36
Tableau III.9 : Diamètres des différentes canalisations	37

CHAPITRE IV : PRESENTATION DE LA STATION D'EPURATION A BOUES ACTIVEES DE LA VILLE DE SBA

Tableau IV.1 : Les caractéristiques des pompes de relevage	40
Tableau IV.2 : Les caractéristique de la grille grossière à nettoyage manuel (1 unité).....	41

Tableau IV.3 : Les caractéristique des grilles fins mécanisées (2 unités)	41
Tableau IV.4 : Les Équipements du Dessableur-Déshuileur.....	43
Tableau IV.5 : Les caractéristiques des bassins d'aération	45
Tableau IV.6 : Les caractéristiques des décanteurs secondaires	45
Tableau IV.7 : Les dimensions des bassins de stabilisation	48
Tableau IV.8 : Résultats des analyses physico-chimiques des eaux usées à l'entrée et à la sortie de la STEP de Sidi Bel Abbès (2023)	51
Tableau IV.9 : Résultats des analyses bactériologiques de l'eau avant et après épuration à la STEP de Sidi Bel Abbès (2023).....	52

CHAPITRE V : DIMENSIONNEMENT D'EXTENSION DE LA STEP DE SBA ET PROJECTION D'UN TRAITEMENT TERTIAIRE

Tableau V.1 : Les hypothèses pour estimer la charge hydraulique	55
Tableau V.2 : Les calculs des débits d'eaux usées journaliers	56
Tableau V.3 : Les données de la STEP existante	57
Tableau V.4 : les données de base pour l'état actuel en 2024 et l'extension 2054.....	58
Tableau V.5 : Vitesse limite en fonction du rapport K.....	59
Tableau V.6 : Dimensions du décanteur primaire	60
Tableau V.7 : Bilan de charges polluantes dans l'étape de traitement primaire.....	60
Tableau V.8 : Classes du procédé du traitement biologique à boue activée.....	61
Tableau V.9 : Résultat de dimensionnement du bassin d'aération	62
Tableau V.10 : Vitesses de dénitrification exogène en fonction du rapport NTK/DBO ₅	63
Tableau V.11 : Résultat de dimensionnement du bassin d'anoxie.....	64
Tableau V.12 : Valeurs de a' et b' en fonction du type du charge massique.....	64
Tableau V.13 : Récapitulatif des calculs (de la masse des boues jusqu'a nombre d'aérateurs).....	66
Tableau V.14 : Calcul de la quantité de boues.....	67
Tableau V.15 : Résultats du bilan des boues	69
Tableau V.16 : Les dimensions du clarificateur	70
Tableau V.17 : Bilan de charges polluantes dans l'étape de traitement biologique	70
Tableau V.18 : Propriétés du lit de filtration	72
Tableau V.19 : Caractéristiques des fluides du rétro-lavage	72
Tableau V.20 : Dimensions du filtre à sable rapide.....	73
Tableau V.21 : Bilan de charges polluantes dans l'étape de traitement tertiaire.....	75

Tableau V.22 : Caractéristiques des eaux usées épurées	76
Tableau V.23 : Indice de MOHLMAN en fonction du MES	76
Tableau V.24 : Les dimensions de l'épaississeur	77
Tableau V.25 : Les dimensions des lits de séchage	79
Tableau V.26 : Les Caractéristiques de filtre à bonde presseuse.....	80

CHAPITRE VI : CALCULE HYDRAULIQUE

Tableau VI.1 : Cotes moyennes du terrain naturel d'implantation des différents ouvrages de la STEP.....	85
Tableau VI.2 : Longueurs réelles et équivalente des conduits entre les ouvrages de la STEP	86
Tableau VI.3 : Récapitulatif des côtes des ouvrages de la STEP	89

CHAPITRE VII : REUTILISATION DES EAUX USEES EPUREES EN IRRIGATION

Tableau VII.1 : Volume d'eau utilisé par type d'ouvrage	90
Tableau VII.2 : Les résultats des analyses moyens mensuelles (2023) des éléments traces métalliques et chimiques à l'entrée et à la sortie de la STEP de SBA.....	92
Tableau VII.3 : Classification des eaux en fonction de leur conductivité.....	93
Tableau VII.4 : Eléments chimiques pour le calcul de SAR.....	94
Tableau VII.5 : Catégorisation des eaux en fonction de leur indice de Sodium Adsorption Ratio (SAR).....	94
Tableau VII.6 : Calcul des besoins en eau pour l'olivier	96

Liste des figures

CHAPITRE II : DIFFERENTS PROCEDES DE L'EPURATION DES EAUX USEES

Figure II.1 : les différents procédés du prétraitement.....	11
Figure II.2 : Schéma de la procédé coagulation-floculation.....	11
Figure II.3 : Schéma simplifié d'un système à boues activées	14
Figure II.4 : Schéma simplifié d'une station de lagunage naturel... ..	14
Figure II.5 : Représentation schématique du système à lit bactérien	15
Figure II.6 : Représentation schématique du procédé à disques biologique	16
Figure II.7 : Une illustration graphique de la cavitation hydrodynamique.....	22

CHAPITRE III : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

Figure III.1 : Présentation géographique de la wilaya de Sidi Bel Abbès.....	26
Figure III.2 : Réseau hydrographique et potentiel en eaux superficielles au Nord de la wilaya de Sidi Bel Abbès	29
Figure III.3 : Potentiel en eaux superficielles au Sud de la wilaya de Sidi Bel Abbès	30
Figure III.4 : Potentiel en eaux souterraines dans la wilaya de Sidi Bel Abbès	31
Figure III.5 : Les courbes température moyenne maximale et minimale de l'année 2022	32
Figure III.6 : Représentation graphique des moyennes mensuelles des précipitations de l'année 2022	33
Figure III.7 : Représentation graphique de l'humidité mensuelle	34
Figure III.8 : Représentation graphique des moyennes mensuelles de l'ensoleillement.....	35

CHAPITRE IV : PRESENTATION DE LA STATION D'EPURATION A BOUES ACTIVEES DE LA VILLE DE SBA

Figure IV.1 : Photo de la station d'épuration de SBA	38
Figure IV.2 : Schéma de télégestion de la STEP	39
Figure IV.3 : Photo de relevage par des pompes	40
Figure IV.4 : Déversoir d'orage de la STEP.....	40
Figure IV.5 : La grille grossière de la STEP (entrée de l'eau dans la step).....	41

Figure IV.6 : Les deux grilles mécanisées de la STEP	42
Figure IV.7 : Bassin dessablage-déshuilage de la STEP	43
Figure IV.8 : Le décanteur primaire de la STEP	44
Figure IV.9 : Bassin d'aération de la STEP	45
Figure IV.10 : Tour de répartition N° 3 de la STEP	46
Figure IV.11 : Le décanteur secondaire de la STEP	46
Figure IV.12 : Les vis d'Archimède (STEP SBA,2024)	47
Figure IV.13 : Bassin de chloration de la STEP	47
Figure IV.14 : Le déversement de l'eau traitée dans l'Oued Mekerra.....	48
Figure IV.15 : L'épaississeur de la STEP	49
Figure IV.16 : Lits de séchage de la STEP	49
Figure IV.17 : Image satellitaire de la STEP de Sidi Bel Abbas	50
Figure IV.18 : Laboratoire d'analyse de la STEP.....	51
Figure IV.19 : Armoire de la télégestion	51

Listes des planches

Planche N°1 : Profil hydraulique de la STEP de Sidi Bel Abbas

Planche N°2 : Les ouvrages annexes de la STEP

Planche N°3 : Bassin de désinfection par UV

Table des matières

Remerciement

Dédicace

Résumé

Liste des abréviations

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des planches

INTRODUCTION GENERALE..... 1

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES EAUX USEES

I.1	INTRODUCTION :.....	2
I.2	Définition des eaux usées :.....	2
I.3	Origine des eaux usées :.....	2
I.3.1	eaux usées domestiques :.....	2
I.3.2	eaux usées industrielles :.....	2
I.3.3	eaux usées agricoles :.....	3
I.3.4	eaux de ruissellement :.....	3
I.4	Les composantes des eaux usées :.....	3
I.5	Caractéristiques des eaux usées :.....	4
I.5.1	Paramètres physiques :.....	4
I.5.2	Paramètres chimiques :.....	5
I.5.3	Paramètres biologiques et microbiologiques :.....	7
I.6	Normes de rejets des eaux usées algériennes :.....	8
I.7	CONCLUSION :.....	8

CHAPITRE II : DIFFERENTS PROCEDES DE L'EPURATION DES EAUX USEES

II.1	INTRODUCTION :.....	9
II.2	Définition de l'épuration :.....	9
II.3	Le prétraitement :.....	9
II.3.1	Relevage :.....	9
II.3.2	Dégrillage :.....	9
II.3.3	Dessablage :.....	10
II.3.4	Dégraissage – déshuilage :.....	10
II.4	Le traitement primaire (physique et chimique) :.....	11
II.4.1	Coagulation floculation :.....	11

II.4.2	Décantation primaire :	12
II.4.3	Flottation :	12
II.5	Le traitement secondaire (biologique):.....	13
II.5.1	Procédés à cultures libres :	13
II.5.1.1	Boues activées :	13
II.5.1.2	Lagunage :	14
II.5.2	Procédés à cultures fixées :.....	15
II.5.2.1	Lits Bactériens : (biofiltres).....	15
II.5.2.2	Disques biologiques :	16
II.5.2.3	Les filtres biologiques à sable, ou plantés de roseaux :.....	16
II.5.3	Avantages et inconvénients des différentes filières intensives :.....	17
II.5.4	L'élimination de l'azote et du phosphore :.....	17
II.5.4.1	Nitrification biologique :	17
II.5.4.2	Dénitrification biologique :	18
II.6	Traitement tertiaire (La désinfection) :.....	18
II.6.1	Les produits halogénés :	19
II.6.2	Traitement par radiations (UV, irradiation) :.....	19
II.6.3	L'adsorption :	20
II.6.4	L'échange d'ions :	21
II.6.5	L'ozonation :	21
II.7	Traitement des boues:.....	21
II.7.1	Épaississement:	22
II.7.2	Stabilisation :.....	22
II.7.3	Conditionnement :	24
II.7.4	Déshydratation :.....	24
II.8	CONCLUSION :	24

CHAPITRE III : PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

III.1	INTRODUCTION :	25
III.2	Situation géographique :	25
III.3	Situation topographique et forme de relief:.....	26
III.4	Situation géologique :	27
III.5	Situation hydrographique :	27
III.6	Potentiel hydrique de la wilaya :	28
III.6.1	Les eaux superficielles :	28
III.6.2	Les eaux souterraines :	30
III.7	Situation climatique :.....	32
III.7.1	Climat :.....	32
III.7.2	Températures:	32

III.7.3	La pluviométrie (Précipitations) :.....	33
III.7.4	Les vents :.....	33
III.7.5	Humidité:.....	33
III.7.6	Ensoleillement:.....	34
III.8	Situation démographique :.....	35
III.8.1	Population de base :.....	35
III.8.2	Taux d'accroissement :.....	36
III.8.3	Estimation de la population à différents horizon :.....	36
III.9	Assainissement :.....	37
III.10	CONCLUSION :.....	37

CHAPITRE IV : PRESENTATION DE LA STATION D'EPURATION A BOUES ACTIVEES DE LA VILLE DE SBA

IV.1	INTRODUCTION :.....	38
IV.2	Présentation de la STEP de Sidi Bel Abbes :.....	38
IV.3	Les ouvrages de traitements :.....	39
IV.3.1	Filière de traitement des eaux usées :.....	39
IV.3.1.1	Prétraitement :.....	39
IV.3.1.2	Traitement primaire :.....	43
IV.3.1.3	traitement secondaire (biologique) :.....	44
IV.3.1.4	Traitement tertiaire (La désinfection) :.....	47
IV.3.2	Filière de traitement des boues :.....	48
IV.3.2.1	Stabilisation :.....	48
IV.3.2.2	L'épaississement :.....	48
IV.3.2.3	Lits de séchage (La déshydratation) :.....	49
IV.4	Laboratoire d'analyse :.....	50
IV.5	Évaluation des performances de la station de Sidi Bel Abbes :.....	51
IV.5.1	Les résultats des analyses physico-chimiques et biologiques :.....	51
IV.5.1.1	Interprétation des résultats :.....	52
IV.5.2	Les résultats des analyses microbiologiques (bactériologiques) :.....	52
IV.5.2.1	Interprétation des résultats :.....	53
IV.5.3	Les problèmes identifiés :.....	53
IV.5.4	Recommandations :.....	53
IV.6	CONCLUSION :.....	54

CHAPITRE V : DIMENSIONNEMENT D'EXTENSION DE LA STEP DE SBA ET PROJECTION D'UN TRAITEMENT TERTIAIRE

V.1	INTRODUCTION :.....	55
V.2	Determination de la capacite hydraulique de la station :.....	55
V.2.1	Calcul des besoins en eau :.....	55

V.3	Dimensionnement des ouvrages :	58
V.3.1	Ouvrages de traitement primaire :	58
V.3.1.1	Décanteur primaire :	58
V.3.2	Ouvrages de traitement secondaire :	60
V.3.2.1	Bassin d'aération :	60
V.3.2.2	Le bassin d'anoxie :	62
V.3.2.3	Masse et concentration des boues :	62
V.3.2.4	Besoins en Oxygène :	64
V.3.2.5	Bilan des Boues :	67
V.3.2.6	Décanteur secondaire (clarificateur) :	69
V.3.3	Ouvrages de traitement tertiaire :	70
V.3.3.1	Filtre à sable rapide :	70
V.3.3.2	Bassin de Rayonnement par ultra violet (UV) :	73
V.3.4	Ouvrages de traitement des boues :	76
V.3.4.1	Épaississeur :	76
V.3.4.2	Stabilisation :	78
V.3.4.3	Lits de séchage :	78
V.3.4.4	Filtres à bandes presseuses :	79
V.4	CONCLUSION :	80

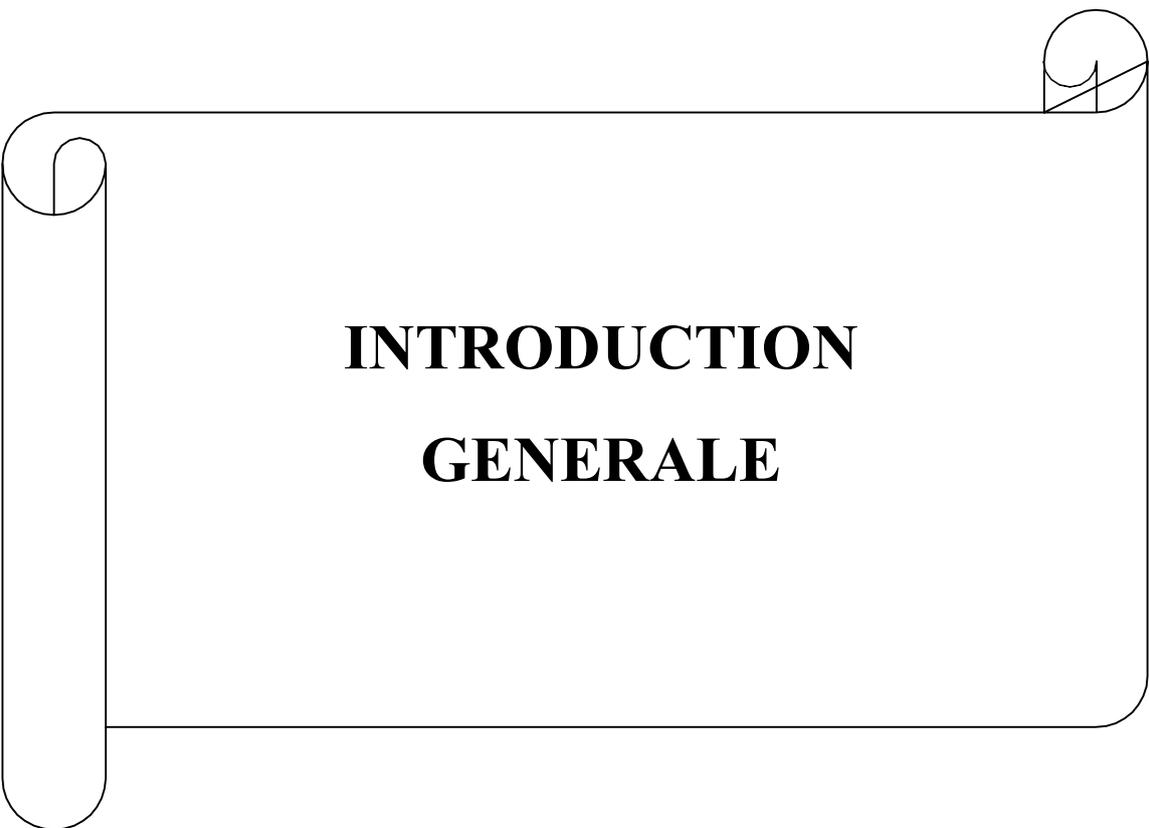
CHAPITRE VI : CALCULE HYDRAULIQUE

VI.1	INTRODUCTION :	81
VI.2	Données de base :	81
VI.2.1	Débit déversé vers l'oued MEKERRA :	81
VI.2.2	Dimensionnement du collecteur principal :	81
VI.2.3	Niveaux d'eau dans le collecteur principal :	82
VI.2.4	Hauteur de remplissage correspondant au débit entrant :	82
VI.2.5	Hauteur de remplissage correspondant au débit transitant vers la STEP :	82
VI.2.6	La Hauteur du seuil du déversoir :	82
VI.2.7	Calcul de la longueur du déversoir :	82
VI.3	Profil hydraulique :	83
VI.3.1	Dimensionnement des conduites reliant les différents ouvrages :	83
VI.3.2	Calcul des côtes piézométriques des différents ouvrages :	85
VI.4	CONCLUSION :	87

CHAPITRE VII : REUTILISATION DES EAUX USEES EPUREES EN IRRIGATION

VII.1	INTRODUCTION :	88
VII.2	Situation de l'activité agricole et des problèmes liés à l'eau dans la wilaya de SBA :	88
VII.3	Faisabilité de l'irrigation par les eaux usées épurées :	89
VII.3.1	Les avantages et les contraintes de l'irrigation :	89

VII.3.2	Qualité des eaux usées épurée en vue de leur utilisation en irrigation :	89
VII.3.3	Analyse chimique de l'eau :	90
VII.3.4	Classification chimique de l'eau d'irrigation :	93
VII.3.5	Identification du périmètre à irrigué :	93
VII.3.6	Choix de culture irriguée :	93
VII.3.7	Calcul des besoins d'irrigation :	94
VII.3.8	Calcul du débit spécifique :	95
VII.3.9	Evaluation du débit caractéristique :	95
VII.4	CONCLUSION :	95
CONCLUSION GENERALE		98
Bibliographie		
Annexes		



INTRODUCTION
GENERALE

Introduction générale

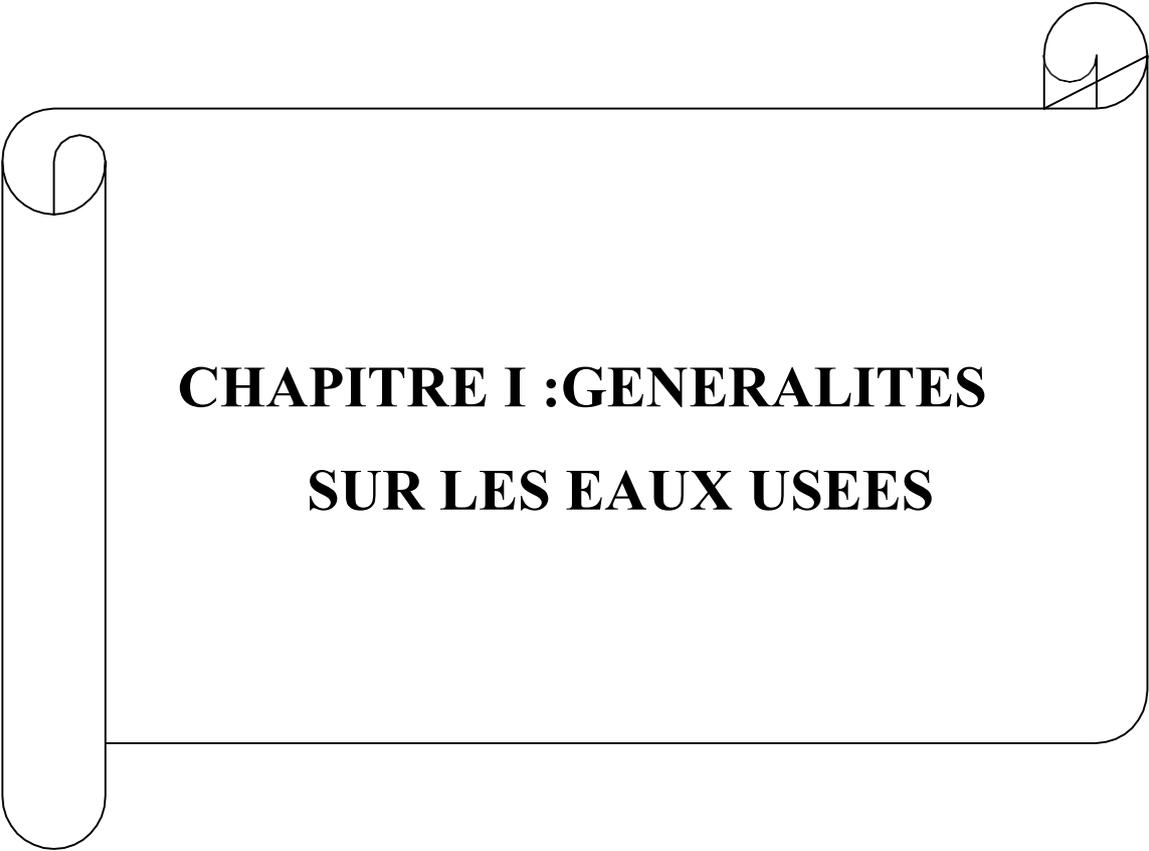
L'eau est une ressource précieuse et essentielle à la vie ainsi qu'aux activités humaines sur notre planète. Face aux défis croissants de rareté de l'eau et aux pressions environnementales, une gestion améliorée de cette ressource est devenue une priorité mondiale.

En tant que source vitale, l'eau est particulièrement sensible à la pollution, étant souvent gaspillée et contaminée à travers le monde, ce qui entraîne une diminution progressive de sa disponibilité et de sa qualité. La population exige désormais des équipements de dépollution offrant un confort équivalent à celui des zones urbaines. Les stations d'épuration des eaux usées (STEP) sont importantes dans le traitement des eaux urbaines, contribuant ainsi à la protection de l'environnement et à la préservation des ressources hydriques. Cependant, leur utilité va au-delà de l'élimination des polluants; elles offrent également une opportunité majeure et innovante : la réutilisation des eaux traitées.

Ce mémoire de fin d'études porte sur un sujet d'une importance capitale : le redimensionnement de la Station d'Épuration de Sidi Bel Abbès. L'étude se concentre sur l'optimisation de cette station, avec l'objectif d'améliorer son efficacité tout en explorant les possibilités de réutilisation des eaux traitées à des fins agricoles. La réutilisation de l'eau en agriculture contribue à la conservation des ressources en eau douce, réduit la pollution des cours d'eau, et fournit aux agriculteurs un approvisionnement fiable en eau pour leurs cultures. Cette recherche s'inscrit dans une démarche globale de gestion durable de l'eau, de protection de l'environnement, et de promotion de pratiques agricoles respectueuses de la ressource hydrique.

Au cours des prochains chapitres, nous explorerons en profondeur les aspects techniques, environnementaux, et sanitaires de la réutilisation des eaux traitées en agriculture, en nous concentrant sur les méthodologies d'évaluation des performances et les avantages potentiels de l'irrigation avec ces eaux. Nous analyserons également les défis pratiques, les normes de qualité de l'eau et les considérations réglementaires associées à ce processus complexe, tout en prenant en compte les implications économiques de cette approche et son impact sur la durabilité de la région.

L'objectif de cette étude est de contribuer à une gestion intégrée de l'eau en proposant des recommandations concrètes pour le redimensionnement de la STEP de Sidi Bel Abbès, afin de maximiser l'utilisation de l'eau traitée pour l'irrigation. En combinant nos efforts, nous pouvons façonner un avenir où l'eau est gérée de manière plus efficace, plus améliorée, assurant ainsi une meilleure qualité de vie pour les générations futures.



**CHAPITRE I :GENERALITES
SUR LES EAUX USEES**

I.1 INTRODUCTION :

La pollution des eaux usées provenant des activités humaines et industrielles constitue une menace croissante pour l'environnement. Ces eaux contiennent divers contaminants nocifs qui dégradent la qualité de l'eau, menacent la biodiversité aquatique et affectent la santé humaine. Pour atténuer ces impacts néfastes, il est essentiel de mettre en œuvre des mesures de gestion adéquates des eaux usées et de renforcer la sensibilisation, afin de préserver nos ressources en eau et de promouvoir une utilisation durable de cette ressource vitale.

I.2 Définition des eaux usées :

Selon la définition de RAMADE, Les eaux usées désignent toutes les eaux ayant servi à des fins domestiques, industrielles ou agricoles, devenant ainsi des effluents pollués rejetés dans les égouts. Ce terme englobe divers types d'eaux usées, y compris les eaux vannes et les eaux ménagères des foyers, les eaux de ruissellement, ainsi que les effluents industriels provenant des usines [1].

Les eaux usées, également appelées « eaux usagées » ou « effluents », sont définies de diverses manières. Ainsi, il n'existe pas de définition universellement acceptée du terme [2].

I.3 Origine des eaux usées :

Les sources des eaux usées sont :

- Les eaux usées domestiques.
- Les eaux usées industrielles.
- Les eaux usées agricoles.
- Les eaux de ruissellement.

I.3.1 Les eaux usées domestiques :

Ces eaux résultent de diverses utilisations domestiques, incluant notamment les eaux de cuisine, qui contiennent des minéraux, des débris végétaux et animaux, des graisses et des détergents. Elles comprennent également les eaux de salle de bain et de buanderie, riches en savons et en détergents en quantités considérables, ainsi que les eaux de robinet contenant des hydrocarbures, de l'azote, du phosphate et servant également de source de microorganismes [3]. Elles présentent en général une bonne biodégradabilité.

I.3.2 Les eaux usées industrielles :

Les eaux industrielles sont produites par diverses usines de fabrication ou de transformation, et leur composition varie considérablement en fonction du type d'industrie concerné. Ces eaux peuvent contenir une grande variété de substances, parfois acides ou alcalines, et être à haute température, ce qui leur confère souvent des odeurs et des colorations spécifiques [4].

On peut néanmoins, faire un classement des principaux rejets industriels suivant la nature des inconvénients qu'ils déversent :

- Pollution due aux matières en suspension minérales (Lavage de charbon, carrière, tamisage du sable et gravier, industries productrices d'engrais phosphatés....) ;
- Pollution due aux matières en solution minérales (usine de décapage, galvanisation...) ;
- Pollution due aux matières organiques et graisses (industries agroalimentaires, équarrissages, pâte à papier...) ;
- Pollution due aux rejets hydrocarbonés et chimiques divers (raffineries de pétrole, porcherie, produits pharmaceutiques.....) ;
- Pollution due aux rejets toxiques (déchets radioactifs non traités, effluents radioactifs des industries nucléaires....) [5].

I.3.3 Les eaux usées agricoles :

Les déchets agricoles comprennent diverses substances d'origine agricole ou animale. Parmi celles-ci se trouvent des solutions d'engrais lessivées par des sols riches en fertilisants, des produits phytosanitaires tels que les pesticides, ainsi que des déjections animales, notamment les purins et les lisiers provenant du bétail [6].

I.3.4 Les eaux de ruissellement :

Les eaux pluviales, en s'écoulant sur les surfaces urbaines, captent divers polluants atmosphériques, tels que les particules de poussière, les déchets, les résidus de combustion et les hydrocarbures émis des véhicules. Généralement collectées avec les eaux usées, ces eaux pluviales sont ensuite dirigées vers les systèmes de drainage et conduites d'assainissement pour être traitées dans une station d'épuration. Toutefois, dans de nombreux cas, elles sont directement déversées dans les cours d'eau, ce qui entraîne une pollution importante des écosystèmes aquatiques [7].

I.4 Les composantes des eaux usées :

Les eaux usées urbaines contiennent en moyenne entre (10^6) et (10^7) bactéries par 100 millilitres, parmi lesquelles se trouvent des entérobactéries, des streptocoques, des clostridium et des salmonelles, toutes potentiellement dangereuses pour la santé humaine. Ces eaux hébergent également divers protozoaires pathogènes, principalement des parasites, qui se nourrissent en utilisant leur hôte. Au cours de leur cycle de vie, certains de ces protozoaires adoptent une forme résistante appelée kyste, généralement difficile à éliminer par les procédés de traitement des eaux usées [8]. Ces informations sont récapitulées dans le (Tableau I-1) .

Tableau I.1 : Composants majeurs typiques d'une eau usée domestique [51].

Constituants	Concentration en mg/l		
	Forte	Moyenne	Faible
Solides totaux	1200	700	350
Solides dissous	850	50	250
Solides suspendus	350	200	100
Azote (en N)	85	40	20
Phosphore (en P)	20	10	6
Chlore	100	50	30
Alcalinité (en CaCO ₃)	200	100	50
Graisses	150	100	50
DBO ₅	300	200	10

I.5 Caractéristiques des eaux usées :

Les eaux usées possèdent des paramètres physiques, chimiques et biologiques ; ce qui est détaillé par la suite :

I.5.1 Paramètres physiques :

La température : La température a une influence majeure à la fois écologique et physiologique. Elle affecte la conductivité, la solubilité des sels, le pH, ainsi que l'origine de l'eau et les éventuels mélanges. De plus, elle joue un rôle important dans le métabolisme et la croissance des micro-organismes aquatiques [9].

Les matières en suspension (MES) : Les MES désignent tous les éléments présents dans l'eau qui ne se dissolvent pas ni ne se dispersent à l'état colloïdal, mais dont la taille permet leur capture à l'aide d'un filtre ayant une porosité spécifique. Les MES sont étroitement associées à la turbidité de l'eau, un indicateur du degré de trouble, et servent à évaluer le niveau de pollution des effluents, qu'ils proviennent de sources urbaines ou industrielles [10]. Environ 30 % des MES sont d'origine organique, tandis que les 70 % restants sont d'origine minérale. Les matières volatiles en suspension (MVS), représentant la fraction organique des MES, sont déterminées en soumettant les MES à une calcination à 525°C pendant 2 heures. La différence de poids entre les MES mesurées à 105°C et celles calcinées à 525°C permet de quantifier les MVS en milligrammes par litre (mg/l). D'autre part, les matières minérales en suspension (MMS) résultent de l'évaporation totale de l'eau, englobant les MES ainsi que les matières solubles comme les chlorures et les phosphates, etc [11].

La turbidité : Les particules fines en suspension (MES fines), les micro-organismes et les matières colloïdales, qu'elles soient d'origine organique ou minérale, réduisent la transparence de l'eau en bloquant la pénétration de la lumière, comme l'a décrit Cayocca en 2012. Ainsi, la turbidité reflète l'opacité d'un milieu devenu trouble [9] et [12].

L'odeur : L'eau d'égout fraîche a une odeur neutre qui n'est généralement pas désagréable. Cependant, lorsqu'elle commence à fermenter, elle développe une odeur désagréable et nauséabonde [9].

Le débit : La mesure du débit est utilisée pour évaluer la quantité de pollution rejetée en utilisant l'unité de l'habitant équivalent, qui représente le volume moyen d'eau usée déversé par habitant en une journée [9].

La couleur : La coloration de l'eau peut provenir de diverses sources, comme la présence naturelle de minéraux tels que le fer et le magnésium, ou les effets du plancton, des herbes et des composés organiques comme les polyphénols. Les eaux usées domestiques présentent généralement une teinte grisâtre, parfois noire, tandis que les eaux usées industrielles peuvent varier de l'incolore à plusieurs teintes en raison des rejets de colorants industriels [9].

I.5.2 Paramètres chimiques :

Le potentiel d'hydrogène (pH) : En général, le pH des eaux usées domestiques est compris entre 7,5 et 8,5. Il joue un rôle capital dans la croissance des micro-organismes épurateurs qui ont un pH optimum variant entre 6,5 et 8. Les valeurs inférieures à 5 ou supérieures à 9 affectent la viabilité et la croissance des micro-organismes. Les substances modifiant le pH peuvent également rendre le traitement des eaux usées moins efficace [13].

La demande biochimique en oxygène DBO5 : Quantité d'oxygène nécessaire à la dégradation par l'action bactérienne (biodégradation) de matières organiques contenues dans une eau polluée. La DBO5 est la mesure de la DBO effectuée sur 5 jours [14].

La demande chimique en oxygène DCO : Quantité d'oxygène nécessaire à la transformation par voie chimique des matières organiques (biodégradables mais aussi réfractaires) et éventuellement d'une partie des matières minérales [14].

La biodégradabilité : Reflète la capacité d'un effluent à être décomposé ou oxydé par les micro-organismes qui participent au processus de traitement biologique des eaux. Ce degré de biodégradabilité est généralement exprimé par le biais du coefficient K, [7] comme indiqué dans le (Tableau I-2).

Tableau I.2 : Coefficient de biodégradabilité [15].

Coefficient K = (DCO/DBO5)	Mode de traitement
K=1	Pollution totalement biodégradable
1<K<1.6	Epuration biologique très possible
1.6<K<3.2	Traitement biologique + traitement physico-chimique
K>3.2	Traitement biologique impossible

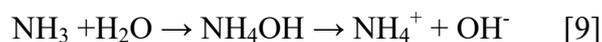
L'oxygène dissous O₂ : L'oxygène dissous est un composé essentiel de l'eau car il favorise la vie de la faune et il conditionne les réactions biologiques qui ont lieu dans les écosystèmes aquatiques. La solubilité de l'oxygène dans l'eau dépend de différents facteurs, dont la température, la pression et la force ionique du milieu. La concentration en oxygène dissous est exprimée en mg O₂/l. En exploitation des stations biologiques d'épuration, une eau traitée limpide (Secchi supérieur à 0,8 m), de bons rendements en DBO₅ et une odeur saine des boues, sont des indicateurs d'une oxygénation efficace [13].

Le carbone organique total (COT) : Représente la teneur en carbone lié à la matière organique, et repose sur une mesure, par sonde à capteur infrarouge non dispersif, du CO₂ émis après oxydation complète des matières organiques (généralement oxydation thermique à haute température (de 800 à 1200 °C)) [16].

L'azote : Se trouve dans les eaux usées domestiques sous deux formes principales : sous forme organique, où il constitue le composant majeur des protéines, et sous forme ammoniacale (NH₃ et NH₄⁺) [17].

L'azote ammoniacal : Selon REJSEK pour désigner l'azote ammoniacal, on utilise souvent le terme d'ammoniaque qui correspond aux formes ionisées (NH₄⁺) et non ionisées (NH₃) de cette forme d'azote [9].

L'ammoniaque constitue un des maillons du cycle de l'azote. Dans son état primitif, l'ammoniac (NH₃) est un gaz soluble dans l'eau, mais, suivant les conditions de pH, il se transforme soit en un composé non combiné, soit sous forme ionisée (NH₄⁺). Les réactions réversibles avec l'eau sont fonction également de la température et sont les suivantes :



Le phosphore : Le phosphore se trouve dans les eaux résiduaires sous deux formes principales : une forme organique, d'origine industrielle ou biologique comme les matières fécales, et une forme minérale, comprenant les orthophosphates et les polyphosphates, provenant principalement des lessives et des engrais phosphatés. L'apport quotidien moyen en phosphore est d'environ 4 grammes par habitant et par jour. Mesurer la quantité de phosphore dans les eaux usées brutes est essentielle pour évaluer la faisabilité d'un traitement biologique [18].

Nitrites (NO₂-) : Les ions nitrites (NO₂-) jouent un rôle d'intermédiaire entre les ions ammonium (NH₄⁺) et les ions nitrates (NO₃-). Ils représentent un poison potentiellement dangereux pour les organismes aquatiques, même à des concentrations très faibles. Il est important de noter que la toxicité des nitrites augmente avec la température [18].

Nitrates (NO₃-) : Les nitrates représentent le stade ultime de l'oxydation de l'azote organique dans l'eau grâce à l'action des bactéries, telles que les Nitrobacters. Les nitrates en eux-mêmes ne sont pas toxiques, mais des concentrations élevées en nitrates peuvent entraîner le phénomène d'eutrophisation de l'environnement. Il est important de noter que leur potentiel de danger reste lié à la possibilité de leur conversion en nitrites par réduction [18].

Les chlorures et le sodium : Les chlorures et le sodium peuvent avoir diverses origines, qu'elles soient naturelles, humaines ou industrielles. Leur présence peut être due à des sources naturelles telles que l'eau de mer contenant environ 27 grammes de chlorure de sodium (NaCl) par litre, à des contributions humaines provenant notamment des urines avec une concentration d'environ 10 à 15 grammes de NaCl par jour, ou à des sources industrielles liées à des secteurs tels que la production de potasse, l'industrie pétrolière, la galvanoplastie et l'agroalimentaire. Les chlorures et le sodium peuvent poser des problèmes, notamment lorsque les réseaux d'égout drainent des eaux phréatiques saumâtres [19].

La conductivité : La conductivité électrique est un indicateur rapide de la salinité de l'eau testée. Une conductivité élevée peut être due soit à des valeurs de pH atypiques, soit à une concentration élevée de sels dissous. Les résultats sont généralement exprimés en siemens par mètre (S/m) [10].

I.5.3 Les paramètres biologiques et microbiologiques :

Les micro-organismes : Les micro-organismes ne sont pas, en soi, nuisibles au milieu naturel, mais peuvent affecter ses usages en dégradant l'état sanitaire. Leur élimination constitue donc une contrainte de qualité importante chaque fois qu'un usage exigeant sur le plan sanitaire est impliqué, tels que les baignades, les activités de loisirs, et la conchyliculture...[20] Les principaux types de micro-organismes concernés sont les bactéries, les virus, les protozoaires et les helminthes.

microbiologiques : L'analyse de la composition de l'échantillon d'eau en ce qui concerne la présence de flore aérobie mésophile totale, de coliformes totaux, de coliformes fécaux, de staphylocoques, de streptocoques, de salmonelles, de shigelles et de bactéries sulfito-réductrices, ainsi que de certains pathogènes, peut fournir des informations importantes sur les risques potentiels associés à l'utilisation de certaines sources d'eau [8].

Tableau I.3: Paramètres microbiologiques dans les eaux usées.

Microorganisme	Gram	Respiration	Genre
Coliformes	-	Anaérobie facultative	Escherichia, Citrobacter, Enterobacter, Klebsiella, Yersinia, Serratia
Streptocoques fécaux	+	Aéro-anaérobie facultatifs	Streptococcus, Enterococcus, Lactococcus
Bactéries sulfito-réductrices	+	Anaérobie stricte	Clostridium
Staphylocoques	+	Aéro-anaérobie Facultatifs	Staphyococcus
Shigelles	-	Anaérobie facultative	Shigella
Salmonelles	-	Anaérobie facultative	Salmonella

I.6 Normes de rejets des eaux usées algériennes :

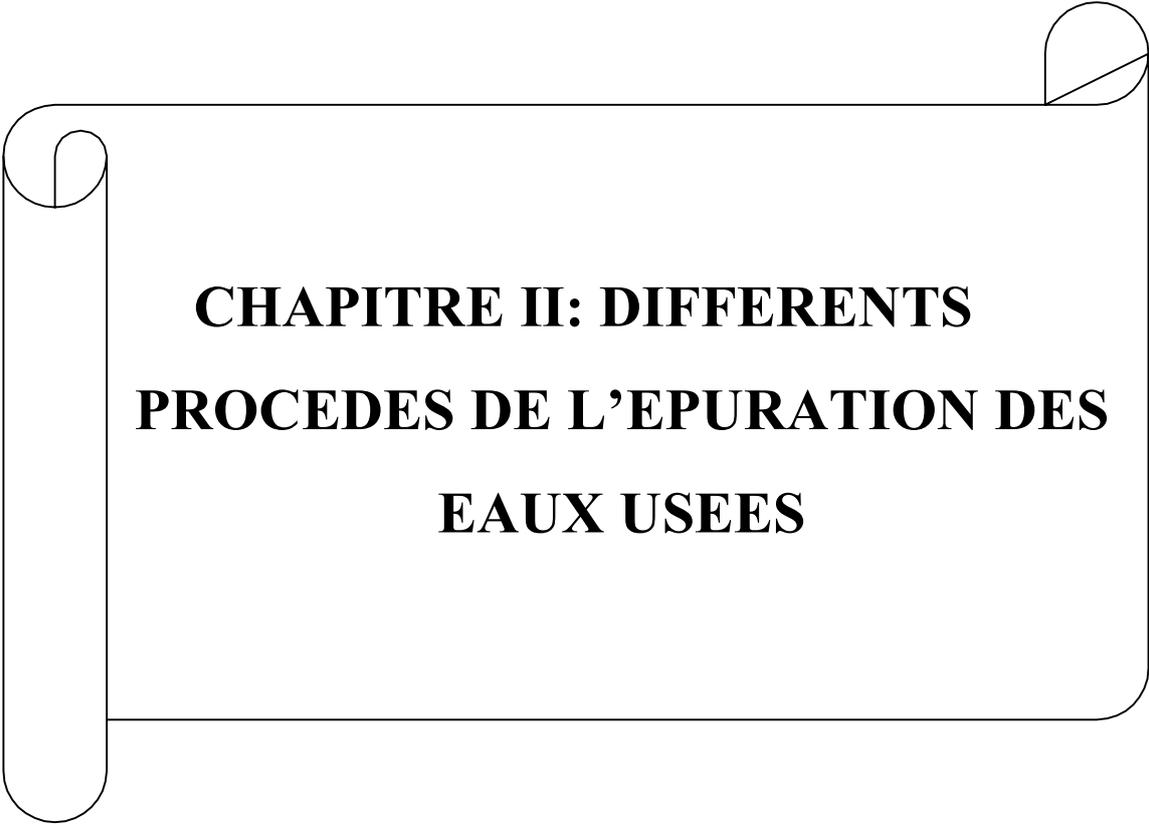
Un critère est rempli lorsque le paramètre en question respecte les limites définies, qu'elles soient supérieures ou inférieures.

Tableau I.4 : Normes de rejets Algériennes (JOA, 2016).

Paramètres	Unité	Normes utilisées
Ph	-	6.5-8.5
DBO₅	mg/l	<35
DCO	mg/l	<120
MES	mg/l	<35
NH₄⁺	mg/l	<30
NO₂	mg/l	1
NO₃	mg/l	30
P₂O₅	mg/l	<10
T	°C	<30
Couleur	-	Incolore
Odeur	-	Inodore

I.7 CONCLUSION :

Ce chapitre avait pour objectif de faire un bilan des connaissances sur les eaux usées, qui présentent une composition chimique et biologique complexe, ce qui en fait un défi environnemental majeur en raison de leur potentiel de contamination des ressources en eau douce et des écosystèmes aquatiques. Cependant, grâce à des systèmes de traitement avancés et à des normes strictes, il est possible de réduire les concentrations de polluants à des niveaux considérés comme non dangereux.



**CHAPITRE II: DIFFERENTS
PROCEDES DE L'EPURATION DES
EAUX USEES**

II.1 INTRODUCTION :

Dans ce chapitre, nous aborderons les fondamentaux de l'élimination des polluants présents dans les eaux usées urbaines municipales, en décrivant les différents types de traitements et les principaux procédés d'épuration utilisés.

Le traitement des eaux usées, qui sont de plus en plus polluées, représente un défi technique et économique. L'objectif principal est de préserver la biodiversité et la ressource en eau, tout en assurant le bien-être des populations. Pour répondre aux besoins croissants des collectivités, nous créons des systèmes de traitement adaptés, en tenant compte de la qualité des eaux usées à traiter et de la sensibilité du milieu naturel récepteur [21].

II.2 Définition du l'épuration :

Le traitement des eaux usées a pour but de diminuer leur charge polluante afin de fournir une eau de qualité au milieu aquatique, préservant ainsi l'équilibre naturel et permettant son utilisation future. Les stations d'épuration jouent un rôle essentiel dans ce processus en mettant en œuvre plusieurs étapes, que nous décrirons ci-dessous : le prétraitement, le traitement physico-chimique, le traitement biologique, et enfin le traitement tertiaire [22].

II.3 Le prétraitement :

Les dispositifs de prétraitement sont présents dans toutes les stations d'épuration domestiques, quels que soient les procédés mis en œuvre en aval. Ils ont pour but de retenir les déchets grossiers présents dans les eaux, ces solides susceptibles de gêner les traitements ultérieurs ou d'endommager les équipements [14]. Il se compose de 4 étapes, présentes ou non selon les besoins, à savoir :

- Le relevage
- Le dégrillage
- Le dessablage
- Le dégraissage – déshuilage

II.3.1 Le relevage :

Avant tout prétraitement, il est essentiel de garantir un passage gravitaire de l'eau à travers les différents ouvrages de traitement. Étant donné que le niveau d'entrée des eaux usées est plus bas que celui de sortie du clarificateur, un système de relevage est nécessaire. Ce système peut être assuré par des pompes à roues multicanaux fermées ou par des vis d'Archimède, permettant ainsi de faciliter le transfert de l'eau à épurer jusqu'au rejet dans le milieu naturel [23].

II.3.2 Le dégrillage :

Le dégrillage est une étape essentielle dans le traitement des eaux usées, consistant à faire passer les eaux à travers une grille qui retient les éléments les plus grossiers. Ces éléments sont ensuite éliminés avec les ordures ménagères [24]. Les grilles sont composées de barreaux

placés verticalement ou inclinés à un angle de 60° à 80° par rapport à l'horizontale, et l'espacement des barreaux de la grille est déterminé en fonction de la taille et de la nature des déchets acceptés par la STEP. En général, l'espacement des barreaux est de 2,0 à 2,50 cm pour un dégrilleur mécanique et de 3 à 4 cm pour un dégrilleur manuel. Le dégrillage peut être réalisée avant la station de relevage pour protéger les pompes ou les vis d'Archimède.

Selon l'écartement des barreaux ou le dimensionnement des mailles on distingue:

- **Le prédégrillage :** L'espacement entre barreaux 30 à 50 mm placé généralement en amont des pompes.
- **Le dégrillage :** L'espacement entre barreaux 10 à 30 mm
- **Le dégrillage fin :** Espacement entre barreaux 3 à 10 mm [16].
- **Tamissage :** (Mailles de 0,1 à 3 mm) Cette technique de filtration, utilisant des toiles, des tôles perforées ou des treillis métalliques, est rarement employée dans les traitements traditionnels des eaux urbaines. Toutefois, les nouvelles configurations telles que la décantation physico-chimique-biofiltre peuvent justifier son utilisation, notamment pour éviter un colmatage prématuré de l'étage de biofiltration. De plus, cette technique est souvent indispensable pour le traitement des eaux résiduaires issues des industries agroalimentaires [14].

II.3.3 Le dessablage :

Après le dégrillage, il reste des particules de dureté et de taille relativement importantes, supérieures à 0,2 mm, qui pourraient entraîner l'usure des composants de la station, notamment des pompes. Ces particules décantables sont éliminées dans un petit bassin rectangulaire ou circulaire [25].

II.3.4 Le dégraissage – déshuilage :

Le déshuilage est une opération de séparation liquide-liquide visant à éliminer toutes les matières flottantes moins denses que l'eau, telles que les huiles, les hydrocarbures et les graisses. Ces matières peuvent présenter une grande variété de compositions [22].

Le dégraissage est une opération solide-liquide visant à réduire au maximum la rétention des graisses tout en minimisant la formation de boues. L'injection d'air au fond du bassin de séparation favorise la flottation des graisses, facilitant ainsi leur récupération [26].

Les graisses, qu'elles soient d'origine animale ou végétale, se retrouvent dans les eaux usées urbaines et certaines eaux industrielles, notamment celles des secteurs agroalimentaires. Difficilement biodégradables à l'état brut, elles peuvent causer divers problèmes lors du traitement, tels que la formation de boues graisseuses, la diminution des transferts d'oxygène et l'apparition de bactéries filamenteuses. Les graisses peuvent également endommager les équipements, notamment les pompes, c'est pourquoi elles font l'objet d'un prétraitement.

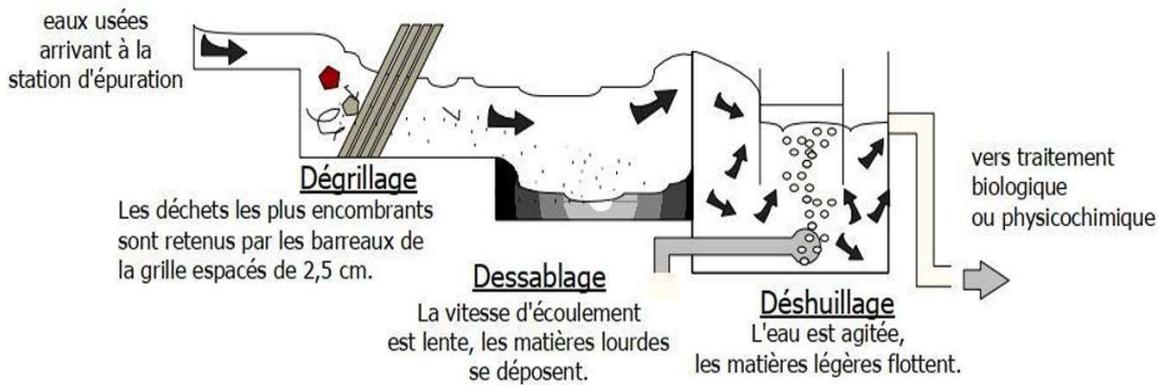


Figure II.1 : les différents procédés du prétraitement [23].

II.4 Le traitement primaire (physique et chimique) :

Cette étape vise à éliminer la pollution particulaire, composée des matières en suspension (MES) et des colloïdes. Généralement, ce processus est facilité par l'ajout de coagulants et de floculants, qui permettent la formation d'amas de matières particulaires (flocs) de poids plus importants. Ces flocs décantent alors beaucoup plus facilement et rapidement [28].

II.4.1 Coagulation floculation :

La coagulation dans le traitement des eaux usées consiste à ajouter des produits chimiques pour neutraliser les charges de surface similaires des particules en suspension, ce qui facilite leur décantation. Les coagulants réagissent également avec le phosphore soluble pour former un précipité insoluble. Ensuite, la floculation regroupe ces particules en agrégats appelés flocs, facilitant leur élimination. En agitant doucement l'eau traitée, on forme de gros flocs de solides en suspension ou de précipités de phosphore, qui sont ensuite éliminés par sédimentation et filtration. L'ajout approprié de coagulants ou de floculants peut éliminer environ 90 % du phosphore et des solides en suspension dans un effluent [27].

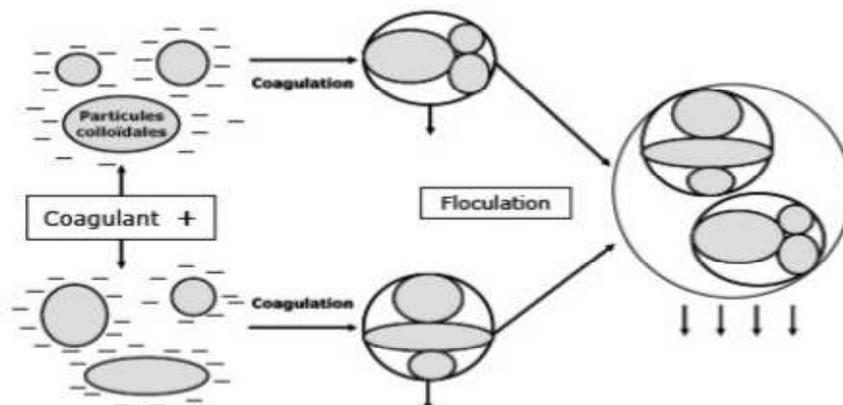


Figure II.2 : Schéma de la procédé coagulation-floculation.

L'efficacité du processus de clarification repose principalement sur le choix du coagulant. Les agents les plus performants sont des composés métalliques, à base d'aluminium ou de fer. Ces éléments sont listés dans le tableau ci-dessous :

Tableau II.1 : Dérivés des sels d'aluminium et de fer.

Sels d'aluminium	Formule chimique	Sels de fer	Formule chimique
Sulfate d'aluminium	$Al_2(SO_4)_3$	Sulfate ferrique	$Fe_2(SO_4)_3$
Chlorure d'aluminium	$AlCl_3$	Chlorure ferrique	Fe_2Cl_3
Aluminate de sodium	$NaAlO_2$	Sulfate ferreux	$FeSO_4$

II.4.2 Décantation primaire :

Les décanteurs sont des dispositifs conçus pour permettre à l'eau de circuler de manière extrêmement lente et continue, facilitant ainsi l'élimination des matières en suspension et colloïdales qu'elle transporte. Ces matières sont regroupées en flocons dans le flocculateur. Les boues résultantes sont ensuite collectées dans la partie inférieure de l'appareil et évacuées à intervalles réguliers ou en continu, selon leur volume. Les types de décanteurs comprennent :

- Décanteurs à écoulement horizontal.
- Décanteur à flux vertical.
- Décanteur lamellaire.

Tableau II.2 : Efficacité épuratoire de la décantation.

Paramètres	MES	DCO	DBO5	NTK	Hydrocarbures	Pb
Réduction de la pollution (%)	80 à 90	60 à 90	75 à 90	40 à 70	35 à 90	65 à 80

(Source:J.K.EUAHNetall.ColloidsSurface.(1992)(www.univ-ubs.fr))

II.4.3 Flottation :

La flottation est une technique de séparation liquide-solide qui peut remplacer la sédimentation. Cette méthode repose sur la formation d'agrégats de particules à éliminer, qui, étant plus légers que l'eau, remontent à la surface où elles se fixent à des bulles d'air avant d'être écumées. Elle s'avère particulièrement efficace pour éliminer les particules de 1 à 400 μm , une taille inférieure à celle que la sédimentation peut traiter. La flottation est particulièrement adaptée aux eaux riches en algues, à faible turbidité naturelle ou fortement colorées. Cependant, elle est moins performante que la sédimentation pour éliminer certaines particules ou réduire la turbidité. De plus, sa performance peut être réduite par temps très froid en raison de sa sensibilité aux variations de température.

II.5 Le traitement secondaire (biologique):

les prétraitements utilise des procédés physiques, tandis que le traitement secondaire se concentre sur une épuration biologique [16]. L'épuration biologique peut être réalisée par voie aérobie ou anaérobie. Dans les deux méthodes, des micro-organismes adaptés prolifèrent en absorbant la pollution organique, principalement des bactéries hétérotrophes qui assimilent les matières organiques. C'est au cours de ce traitement que la majorité de la pollution carbonée biodégradable est éliminée. Divers types de bassins ou réacteurs sont utilisés, en fonction de la présence des micro-organismes, qu'ils soient fixés sur un support ou en suspension dans l'eau. On considère :

- **Les cultures libres**, telles que les boues activées et le lagunage, se caractérisent par la biomasse en suspension. Ce procédé reproduit de manière accélérée les mécanismes d'autoépuration des milieux aquatiques.
- **Les cultures fixées**, également appelées biofiltrations, incluent les lits bactériens, les disques biologiques, les filtres biologiques à sable ou plantés de roseaux. Ces procédés exploitent la capacité des micro-organismes à produire des exopolymères, facilitant ainsi leur fixation sur divers supports pour former un biofilm. La croissance de ces micro-organismes est assurée dans des conditions aérobies et anaérobies [16].

II.5.1 Procédés à cultures libres :

II.5.1.1 Boues activées :

Le procédé à boues activées est basé sur l'intensification des processus d'autoépuration présents dans le milieu naturel. Il permet la dégradation et la minéralisation de la matière organique par les bactéries aérobies dans un espace réduit, grâce à un apport en oxygène assuré par le brassage de la liqueur mixte [16].

Ce procédé exerce une action épuratoire sur la plupart des polluants, qu'ils soient solubles ou particuliers, mais le degré d'efficacité dépend du dimensionnement choisi. La difficulté principale réside souvent dans la maîtrise de la phase de clarification finale et la recirculation de la biomasse active, nécessitant une exploitation soignée. Il s'agit d'éviter que la boue ne rencontre des conditions néfastes (l'anaérobiose), qui pourraient affecter son activité et ses propriétés de décantation [14].

Les systèmes par boues activées se compose de deux bassins principaux :

- **Un bassin d'aération :**

Les agrégats bactériens sont maintenus en suspension dans l'eau grâce à un brassage continu de la liqueur. Les micro-organismes se développent dans ce milieu et consomment la pollution organique des effluents, la transformant en dioxyde de carbone et en eau [16].

- **Un décanteur secondaire (clarificateur) :**

Cela permet ensuite la séparation des phases solide et liquide. Une partie de la boue décantée est recirculée dans le bassin aéré, augmentant ainsi la concentration de biomasse dans le réacteur biologique et améliorant le taux d'épuration des eaux. Les boues excédentaires sont envoyées vers la filière de traitement des boues [16].

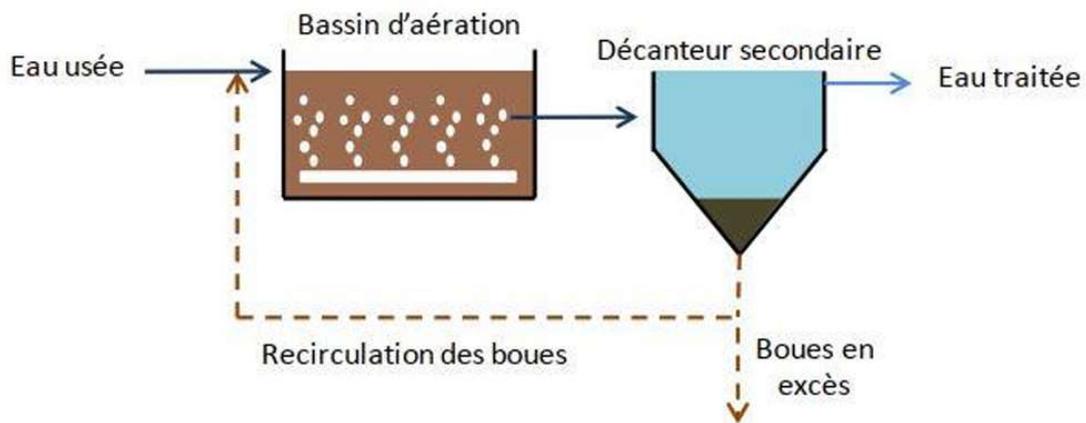


Figure II.3 : Schéma simplifié d'un système à boues activées [16].

II.5.1.2 Le lagunage :

est un procédé d'épuration qui consiste à faire circuler des effluents dans une série de bassins peu profonds, généralement trois, avec une profondeur variant de 1 à 5 mètres. Ce procédé permet aux eaux usées, préalablement décantées ou non, de séjourner suffisamment longtemps pour que les processus naturels d'auto-épuration se déroulent. Pratiqué principalement dans les régions ensoleillées, le lagunage recrée des chaînes alimentaires aquatiques dans ces bassins. Le rayonnement solaire fournit l'énergie nécessaire à la production de matière vivante au sein des chaînes trophiques, tandis que les végétaux contribuent à la production de matière consommable et d'oxygène, les substances nutritives étant apportées par les effluents [29].

- **Lagunage naturel :**

Dans le lagunage naturel, l'épuration des effluents est principalement assurée par des bactéries aérobies. Ces bactéries bénéficient de l'oxygénation fournie par l'action chlorophyllienne des végétaux présents, qui participent également à la synthèse directe de la matière organique [16].

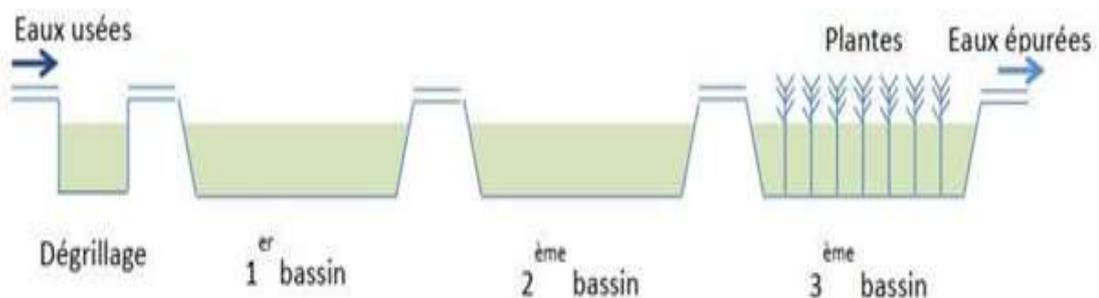


Figure II.4 : Schéma simplifié d'une station de lagunage naturel [16].

- **Lagunage Aéré :**

Le lagunage aéré repose sur le même principe que le lagunage naturel, mais avec un apport accru en oxygène grâce à des aérateurs mécaniques. On distingue deux types de lagunes aérées :

- Lagunes aérobies : où une concentration uniforme en oxygène dissous est maintenue dans tout le bassin.
- Lagunes facultatives : où l'oxygène est principalement maintenu dans la partie supérieure du bassin, créant une zone anaérobie au fond [22].

Bien que le lagunage puisse éliminer entre 80 % et 90 % de la demande biologique en oxygène (DBO) et réduire de 20 % à 30 % l'azote, tout en contribuant à une diminution significative des germes, il nécessite des surfaces importantes et ses performances varient au long de l'année [22].

II.5.2 Procédés à cultures fixées :

II.5.2.1 Lits Bactériens : (biofiltres)

Le fonctionnement d'un lit bactérien repose sur le ruissellement d'effluents préalablement décantés sur un support poreux ou caverneux, qui sert de substrat aux micro-organismes épurateurs. L'aération, naturelle ou forcée par ventilation, fournit l'oxygène nécessaire au bon fonctionnement des bactéries aérobies. Les matières polluantes présentes dans l'eau et l'oxygène de l'air se diffusent en contre-courant à travers le biofilm, atteignant les micro-organismes épurateurs. Ce biofilm est constitué de bactéries aérobies en surface et de bactéries anaérobies plus profondes. Les sous-produits et le dioxyde de carbone générés par l'épuration sont évacués dans les phases liquide et gazeuse. Cette technique peut atteindre un rendement maximal de 80 % pour l'élimination de la DBO5 [22].

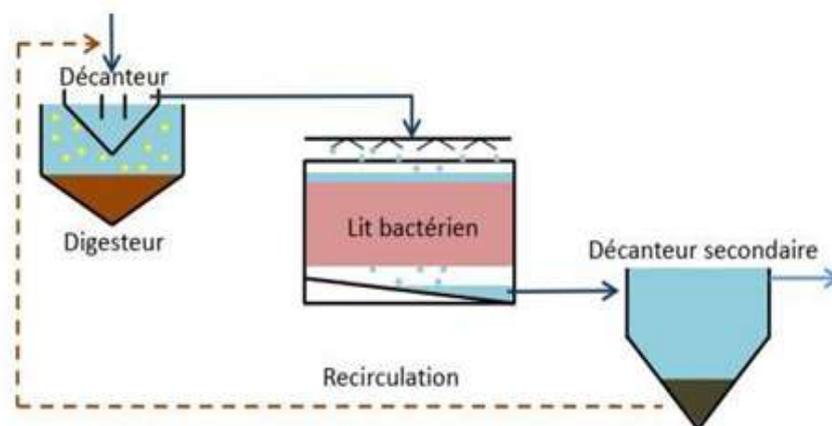


Figure II.5 : Représentation schématique du système à lit bactérien [16].

II.5.2.2 Disques biologiques :

Le procédé des disques biologiques repose sur l'utilisation de cultures fixées et utilise des disques en rotation, sur lesquels les micro-organismes se développent pour former un film biologique épurateur. Ces disques, partiellement immergés, tournent afin d'assurer l'oxygénation de la biomasse fixée [22].

Pour garantir le bon fonctionnement de ce type d'installation, il est essentiel de veiller à :

- La fiabilité mécanique de la structure, notamment en assurant un démarrage progressif du mécanisme et une fixation solide du support sur l'axe.
- Le dimensionnement approprié de la superficie des disques, avec des marges de sécurité suffisantes [30].

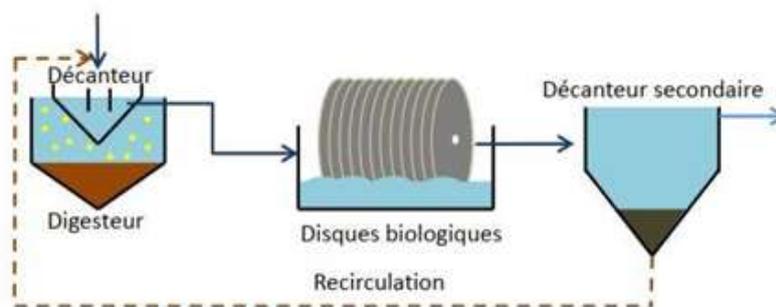


Figure II.6 : Représentation schématique du procédé à disques biologique [16].

II.5.2.3 Les filtres biologiques à sable, ou plantés de roseaux :

Le principe de fonctionnement est basé sur les capacités filtrantes mécaniques d'un sol, utilisant des matériaux tels que les graviers, l'argile expansée et le sable, ainsi que sur la dégradation biologique aérobie réalisée par les micro-organismes fixés sur les particules du sol. L'originalité de ces filtres réside dans la présence de roseaux, dont les rhizomes aèrent le massif filtrant et préviennent le colmatage. Il existe deux types de filtres plantés : à écoulement vertical et à écoulement horizontal [31].

II.5.3 Avantages et inconvénients des différentes filières intensives :

Tableau II.3 : Avantages et inconvénients des filières intensives [32].

Filière	Avantages	Inconvénients
Lits bactérien et disque biologique	<ul style="list-style-type: none"> -Faible consommation d'énergie ; - Bonne décantabilité des boues ; - Résistance au froid (les disques sont toujours protégés par des capots ou par un petit bâtiment). 	<ul style="list-style-type: none"> -Coûts d'investissement assez élevés (peuvent être supérieurs d'environ 20 % par rapport à une boue activée) ; -Sensibilité au colmatage ; -Ouvrages de taille importante si des objectifs d'élimination de l'azote sont imposés.
Boues activés	<ul style="list-style-type: none"> -Bonne élimination de l'ensemble des paramètres de pollution (MES, DCO, DBO5, N par nitrification et dénitrification) ; -Adapté pour la protection de milieux récepteurs sensibles -Adaptée pour toute taille de collectivité (sauf les très petites). 	<ul style="list-style-type: none"> -Consommation énergétique importante ; -Forte production de boues qu'il faut concentrer.

II.5.4 L'élimination de l'azote :

L'apport en nutriments, en particulier en azote et en phosphore, contribue directement à l'eutrophisation des plans d'eau. Cette surcroissance de phytoplancton et de plantes aquatiques peut entraîner un appauvrissement en oxygène lors de leur décomposition, ce qui nuit aux autres formes de vie aquatique. Pour préserver les écosystèmes aquatiques et maintenir leur équilibre biologique, il est essentiel de réduire la présence de ces éléments dans les stations d'épuration [29].

Azote : La réduction de l'azote repose sur le processus de nitrification, convertissant le NH_4^+ en NO_3^- . Cependant, en fonction des normes de rejet souhaitées pour l'effluent, ainsi que de la présence de phosphore, il peut être nécessaire d'effectuer une dénitrification, transformant les NO_3^- en composés gazeux [33].

II.5.4.1 Nitrification biologique :

La nitrification biologique est principalement assurée par des bactéries autotrophes aérobies strictes, telles que *Nitrosomonas* et *Nitrobacter*. Ces bactéries obtiennent leur énergie par l'oxydation du carbone contenu dans le dioxyde de carbone et nécessitent de l'oxygène pour leur respiration. Plusieurs facteurs influencent ce processus :

- **Charge massique** : Les bactéries autotrophes se développent plus lentement que les bactéries hétérotrophes. Pour favoriser une nitrification significative, il est nécessaire d'encourager la croissance de la biomasse nitrifiante. Cela implique une faible charge massique ou un âge des boues élevé, généralement supérieur à 18 jours.
- **Concentration en oxygène dissous** : Un taux élevé d'oxygène dissous dans l'eau améliore l'efficacité de la nitrification. Une concentration minimale d'environ 2 mg O₂/l est généralement recommandée pour optimiser ce processus.
- **Température** : Les bactéries nitrifiantes se développent de manière optimale autour de 30 °C. Des températures plus basses prolongent le temps nécessaire pour atteindre le taux de nitrification souhaité.
- **pH** : La nitrification est fortement inhibée en dehors de la plage de pH de 6,0 à 9,6. Pour une nitrification efficace, il est essentiel de maintenir le pH dans cette plage.
- **Phosphore** : Bien que les besoins en phosphore puissent varier, une concentration minimale d'environ 0,5 mg/l est généralement recommandée pour soutenir le processus de nitrification [33].

II.5.4.2 Dénitrification biologique :

Il existe trois modes de réduction des nitrates, dont la réduction dissimilaire véritable, souvent appelée "respiration des nitrates", est particulièrement intéressante. Dans ce processus, les bactéries dénitrifiantes, principalement les *Pseudomonas* (hétérotrophes aérobies facultatives), jouent un rôle essentiel. Plusieurs facteurs influencent la dénitrification, notamment :

- **Substrat** : Une concentration adéquate en carbone est essentielle pour une dénitrification complète. La qualité de la source de carbone est également critique.
- **Concentration en oxygène dissous** : L'oxygène inhibe généralement la synthèse des enzymes nécessaires à la dénitrification. Une absence totale d'oxygène est nécessaire pour permettre ce processus.
- **Température** : L'optimum se situe entre 25 et 30 °C, bien que le processus puisse se produire dans une plage plus large, allant de 5 à 50 °C.
- **pH** : L'efficacité de la dénitrification diminue considérablement en dehors de la plage de pH de 6,0 à 8,0, avec un optimum autour de 7,0 à 7,5 [33].

II.6 Traitement tertiaire (La désinfection) :

Les méthodes classiques de traitement des eaux usées ne répondant pas toujours aux exigences réglementaires et environnementales (par exemple, pour les rejets de nitrates et de

phosphore), des procédés tertiaires sont mis en place pour améliorer les capacités de traitement. Il s'agit de procédés physico-chimiques, incluant notamment des procédés membranaires (ultrafiltration, nanofiltration, osmose inverse) et des procédés d'oxydation avancée (ozonation, peroxyde d'hydrogène, UV). Ces techniques présentent souvent un coût élevé ainsi qu'un bilan environnemental discutable, en termes de transfert d'impact [28].

II.6.1 Les produits halogénés :

Trois produits ont été testés pour la désinfection des eaux résiduaires urbaines :

- Le chlore
- Le dioxyde de chlore
- Le chlorure de brome

Cependant, le chlore a montré une nette dominance parmi ces options [14]. L'opération consiste à mettre en contact de manière homogène le réactif avec l'effluent et à maintenir un temps de réaction approprié pour que l'inactivation des micro-organismes ait lieu. Le chlore, présent dans l'eau sous forme ionique, pénètre dans la cellule après une altération de la membrane cytoplasmique. Il réagit avec les acides aminés et les enzymes, bloquant ainsi le métabolisme du glucose. La membrane étant altérée et ne pouvant plus assurer sa production d'énergie, la cellule meurt.

Les réactions :



Il est difficile de déterminer avec précision la quantité de désinfectant à appliquer et les réductions en coliformes associées à une quantité donnée de désinfectant.

La déchloration : La chloration génère des composés toxiques (chlore résiduel, chloramines) pour l'environnement récepteur. Pour éliminer les conséquences néfastes du chlore, une étape de déchloration peut être ajoutée, utilisant un réducteur tel que le dioxyde de soufre ou le bisulfite de sodium. Il est possible d'utiliser d'autres substances, comme le charbon actif, à la place du SO₂, mais le coût de traitement augmente. Cette phase de déchloration n'a cependant que peu d'impact sur les sous-produits halogénés, qui seront donc rejetés dans l'effluent. En ajoutant une étape de déchloration, le coût total de la désinfection augmente de 30 à 50 %.

II.6.2 Traitement par radiations (UV, irradiation) :

Le rôle des UV comme bactéricide et virucide est bien établi. Les radiations à 254 nm pénètrent la paroi cellulaire, atteignent et modifient les acides nucléiques, porteuses de l'information génétique de la cellule, et empêchent ainsi la division cellulaire. Le germe reste vivant mais, incapable de se diviser, ne peut engendrer une infection. La source artificielle d'énergie UV la plus répandue est la lampe à mercure. La raison principale de son utilisation est que 85 % de ses émissions s'effectuent à une longueur d'onde de 253,7 nm, optimale pour

la désinfection. La radiation est générée en créant un arc électrique à travers une vapeur de mercure, et la désactivation des molécules de mercure ainsi excitées s'accompagne d'une émission de lumière UV [14].

Il existe deux systèmes de désinfection par UV :

Systèmes à U.V. ouverts :

- **Avantage :** L'accessibilité des lampes est un atout majeur. Elles peuvent être changées ou entretenues sans avoir à contourner l'étage de désinfection.
- **Inconvénient :** Étant alimenté par gravité, il est essentiel de maintenir un niveau d'eau constant dans le canal de désinfection [14].

Systèmes à U.V. fermés :

- **Avantage :** Le système fermé, étant sous pression, ne nécessite pas de maintenir un miroir d'eau.
- **Inconvénient :** Toute l'installation fermée doit être arrêtée pour toute intervention, comme le nettoyage des tubes de protection ou le changement des lampes [14].

Les avantages du Rayonnement UV sont : Directement efficace contre l'ADN de nombreux micro-organismes ; Non réactif avec d'autres formes de demande carbonée ; Fournit des valeurs de destruction bactéricide supérieures sans laisser de résidus .

Mais, l'efficacité du traitement UV peut être compromise par plusieurs facteurs, tels que les fluctuations de puissance, les variations des débits hydrauliques, ainsi que la couleur ou la turbidité de l'eau. De plus, la récupération cellulaire et la repousse des organismes endommagés, en raison de l'inactivation de leurs prédateurs et concurrents, ont été mises en évidence [34].

II.6.3 L'adsorption :

est un processus physique ou chimique au cours duquel une substance adsorbée (adsorbat) se lie à la surface d'un matériau (adsorbant) par des liaisons de différentes natures [28]. Une large gamme de matières organiques, telles que les détergents et les composés toxiques, peut être éliminée par adsorption [34].

Il existe différents types de matériaux poreux ayant des propriétés adsorbantes, classés industriellement en quatre grandes familles : les charbons actifs, les zéolithes, les gels de silice et les alumines activées. Les charbons actifs, obtenus à partir de divers matériaux carbonés comme le bois, le charbon ou la noix de coco, et sont les adsorbants les plus couramment utilisés. Ils sont efficaces tant en phase liquide qu'en phase gazeuse et se caractérisent par une surface très poreuse, avec une surface spécifique variant entre 400 et 2000 m²/g [34].

Tableau II.4 : Adsorbabilités attendues pour différentes familles de polluants selon les modes de fonctionnement du charbon actif [28].

Groupe de polluant	Elimination attendue par adsorption
Composés organiques volatils (COVs)	Faible à bon
Pesticides	Moyen à excellent
Résidus pharmaceutiques	Moyen à excellent
Hydrocarbures chlorés	Moyen à excellent
Métaux lourds	Très faible à bon*

II.6.4 L'échange d'ions :

L'échange d'ions est une réaction réversible où un ion chargé dans une solution est échangé avec un ion chargé de manière similaire, attaché électrostatiquement à une particule solide immobile. Cette méthode est couramment utilisée dans le traitement des eaux usées pour l'adoucissement, où les cations polyvalents tels que le calcium et le magnésium sont échangés contre du sodium. En pratique, les eaux usées sont introduites dans un lit de résine. La résine, fabriquée à partir de la polymérisation de composés organiques en une matrice poreuse, échange généralement le sodium avec les cations présents dans la solution. Une fois le lit saturé d'ions échangés, il doit être régénéré en faisant passer une solution concentrée de sodium à travers le lit [34].

II.6.5 L'ozonation :

L'ozone (O₃) est couramment utilisé comme oxydant puissant dans le traitement des eaux usées. Il permet d'oxyder divers composés organiques et inorganiques présents dans les eaux usées. Pendant ce processus, l'ozone est consommé pour réagir avec ces composés, ce qui génère une demande en ozone qui doit être satisfaite tout au long de l'ozonation afin d'éviter la présence de résidus mesurables. Étant donné que l'ozone est une molécule instable, il est nécessaire de le produire directement au point d'application. L'ozone est généralement formé en combinant un atome d'oxygène avec une molécule d'oxygène (O₂) [34].

Réactions : $O_3 + H_2O \rightleftharpoons H_3O + OH$ [14].

II.7 Traitement des boues:

Les boues résiduaires urbaines (BRU) sont les résidus solides issus des traitements dans les stations d'épuration (STEP), où les phases liquides et solides sont séparées. Composées de 95 à 99 % d'eau, ces boues représentent environ 50 % des coûts totaux de fonctionnement d'une station d'épuration [2]. Elles sont générées à travers les procédés primaires, biologiques et tertiaires. Les traitements primaires et tertiaires produisent des boues par la décantation des matières en suspension (MES), tandis que les traitements biologiques engendrent des boues en raison du développement des microorganismes épurateurs. En conséquence, ces boues présentent des caractéristiques variées telles que les matières sèches, les matières volatiles, les nutriments, l'alcalinité et les graisses. Par exemple, les boues primaires se distinguent des

boues secondaires par un taux de pathogènes plus élevé et une plus grande facilité de déshydratation [28].

Le traitement des boues dans les stations d'épuration (STEP) vise à modifier leurs propriétés pour faciliter leur réutilisation ou leur stockage. Ce processus a pour objectifs de stabiliser les boues en réduisant leur fermentescibilité, de diminuer leur volume et de réduire la contamination microbienne [28].

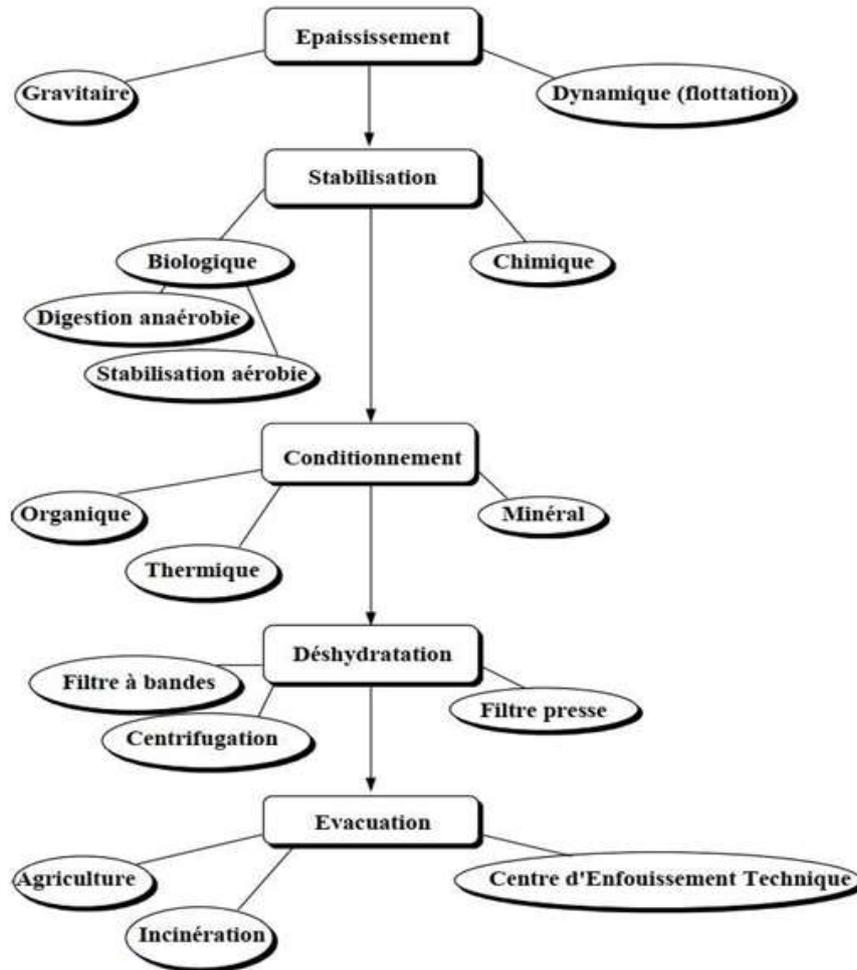


Figure II.7 : Une illustration graphique de la cavitation hydrodynamique [35].

II.7.1 Épaississement:

Il s'agit généralement de la première étape du traitement des boues dans les STEP, qui vise à réduire leur volume en séparant les matières sèches de l'eau. Classiquement, l'épaississement est réalisé de manière mécanique, soit par décantation, soit par flottation [28].

II.7.2 Stabilisation :

Les boues des stations d'épuration, souvent à forte proportion organique, sont instables en raison du développement de fermentations qui entraînent une dégradation de la qualité des

eaux et des nuisances olfactives. La stabilisation vise donc à réduire le taux de matières organiques pour empêcher ou, du moins, limiter ces fermentations [14].

- **Digestion anaérobie** : Cette méthode nécessite un épaissement préalable, ce qui signifie qu'elle n'entraîne que peu ou pas de réduction de volume pendant la digestion. La digestion anaérobie agit de la manière suivante sur les caractéristiques des boues :
 - Elle permet la disparition de 45 à 50 % des matières organiques.
 - Elle entraîne la minéralisation de l'azote organique.
 - Elle produit une boue plus colloïdale, plus homogène et plus diluée.
- **Stabilisation aérobie** : Ce procédé conduit à la production de boues très diluées et colloïdales, avec des qualités inférieures à celles des boues fraîches. De plus, la diminution des composés organiques est moins marquée par rapport à la digestion anaérobie.
- **Stabilisation chimique ($CA(OH)_2$)** : Après stabilisation chimique, les boues sont généralement favorables à la déshydratation, mais elles posent souvent des difficultés de floculation en raison des pH élevés (> 12).

Tableau II.5 : Evolution de la composition des boues en fonction de la ligne de traitement d'eau [14].

	Aérobie	Anaérobie	Chimique (Chaux)
M.O	réduction de 0-10 %	réduction de 30-50 %	pas de pertes sur boues déshydratées - hydrolyse des M.O. jusqu'à 40 % sur boues liquides
Azote N	peu de perte sur M.S. mais perte en N de la phase liquide	transformation de 40% du N organique en NH_4	stripping du NH_4 de la phase liquide et ressolubilisation d'une partie de N organique
Phosphore P	inchangé	inchangé	précipité
Réduction de la masse de boues	Oui ; 0 à 7 %	Oui ; 15 à 30 %	Non ; augmentation de 10 à 30 %

II.7.3 Conditionnement :

Les boues doivent être flocculées pour rompre leur stabilité colloïdale et augmenter artificiellement la taille des particules. Le conditionnement peut être réalisé par des méthodes physiques, telles que les traitements thermiques, mais il recourt plus fréquemment à des méthodes chimiques, notamment l'ajout de réactifs minéraux ou de polymères de synthèse. Un conditionnement efficace des boues est essentiel pour assurer le bon déroulement du traitement des boues.

Les méthodes de conditionnement incluent :

- Conditionnement par ajout de réactifs minéraux.
- Conditionnement aux polyelectrolytes.
- Conditionnement thermique.

II.7.4 La déshydratation :

La déshydratation est nécessaire pour éliminer une partie de l'eau libre contenue dans les boues. En général, elle commence par un conditionnement chimique qui facilite l'évacuation de l'eau par un changement de structure des boues. Les principales technologies de déshydratation comprennent [14] :

- 1) Les lits de séchage ;
- 2) La filtration sur bande pressante (siccité de 15 à 35%) ;
- 3) La filtration sous pression (siccité de 35 à 55%) ;
- 4) La centrifugation (siccité de 15 à 40%) [14].

II.8 CONCLUSION :

Les stations d'épuration sont fondamentales dans la gestion des ressources en eau en permettant l'élimination progressive des polluants et en facilitant la réutilisation de l'eau. Bien que leur mise en place puisse engendrer des coûts élevés, ces installations sont obligatoires pour réduire la contamination des ressources en eau douce et préserver les écosystèmes aquatiques. Les traitements des eaux usées réduisent efficacement les micro-organismes pathogènes et les micropolluants. Cependant, ces micropolluants sont généralement plus concentrés dans les boues que dans les effluents traités. Les défis futurs concernent l'amélioration des procédés existants, la gestion des pathogènes émergents et l'intégration de nouvelles technologies.



**CHAPITRE III : PRESENTATION DE
LA ZONE D'ETUDE**

III.1 INTRODUCTION :

L'agglomération, en étude, nécessite une rénovation de son système d'évacuation des eaux usées et pluviales. Pour garantir le succès de ce projet, il est essentiel de recueillir des données précises sur les aspects géographique, topographique, géologique, climatique, démographique et hydraulique.

Ce chapitre présente en détail les caractéristiques spécifiques de la wilaya Sidi Bel Abbès, en mettant l'accent sur l'analyse approfondie du site. Il aborde également les facteurs influents sur la conception du système et les impacts potentiels sur l'environnement local.

III.2 Situation géographique :

La wilaya de Sidi Bel Abbès est située au nord-ouest de l'Algérie, à environ 80 km d'Oran, à une altitude de 486 mètres. Elle couvre une superficie de 9 150,63 km² [36]. Elle se compose de 15 daïras et 52 communes.

La wilaya est délimitée comme suit :

- Au nord par la wilaya d'Oran,
- Au nord-ouest par la wilaya d'Ain Temouchent,
- Au nord-est par la wilaya de Mascara,
- À l'ouest par la wilaya de Tlemcen,
- À l'est par les wilayas de Mascara et Saida,
- Au sud par les wilayas de Nâama et El-Bayad,
- Au sud-est par la wilaya de Saida.

Occupant une position centrale et stratégique, Sidi Bel Abbès représente environ 15 % du territoire de la région du nord-ouest de l'Algérie. Sa situation géographique la place au carrefour des principaux axes routiers de cette partie du pays, en faisant un relais clé pour les échanges et les communications [52].

➤ Localisation de site de l'Implantation de la Station d'épuration :

Elle est située au nord-est de la commune de Sidi Bel Abbès, sur le côté droit de la route nationale n°13 (Sidi Bel Abbès-Oran). À l'est, elle est délimitée par un terrain agricole, tandis qu'au sud, elle est bordée par un verger. À l'ouest, elle est adjacente à la cité Rocher et à l'oued Mekerra (STEP SBA, 2024).

Remarque concernant la sismicité : Dans la nouvelle classification, notre zone d'étude se situe dans la zone sismique I qui se caractérise par une sismicité faible.

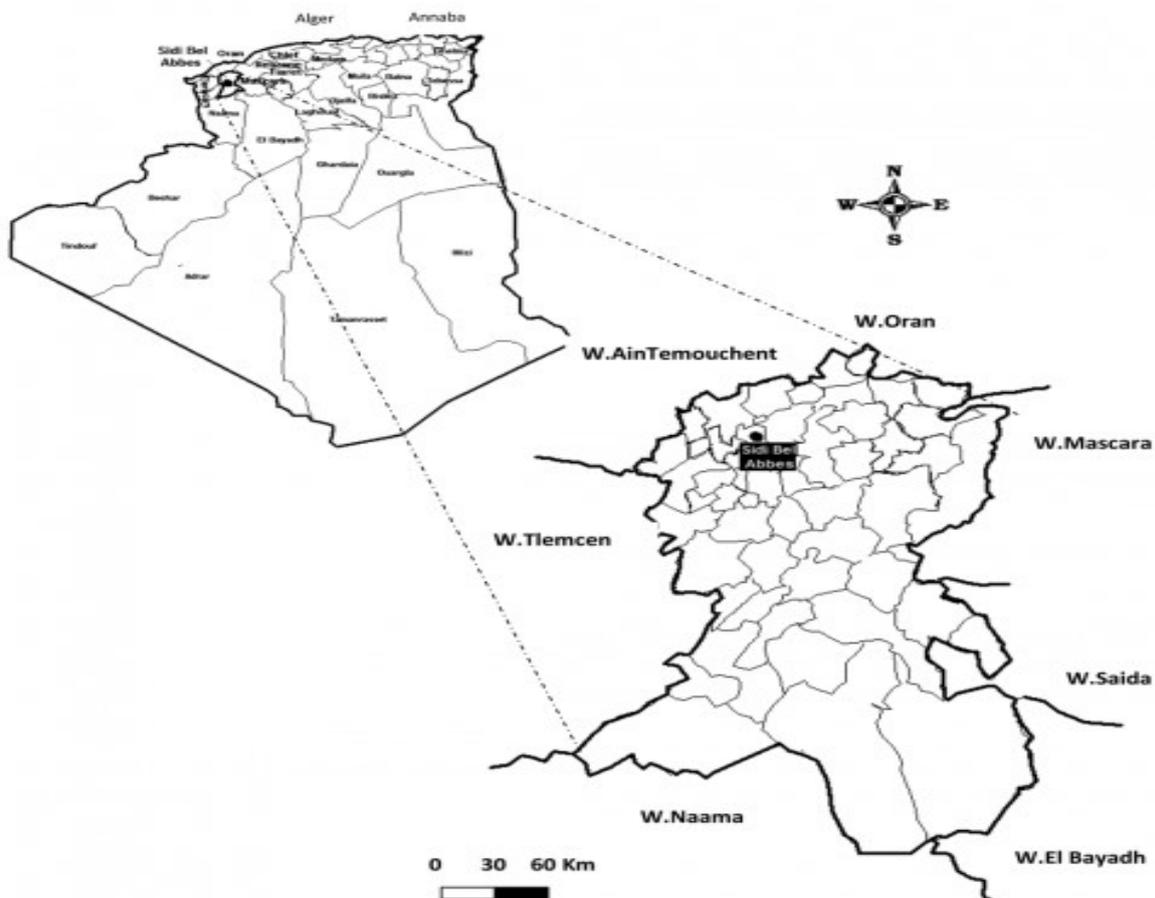


Figure III.1 : Présentation géographique de la wilaya de Sidi Bel Abbès [36].

III.3 Situation topographique et forme de relief:

Sur les 9 150,63 km² que compte la wilaya, on a :

- **Les zones de montagnes :**

Les montagnes couvrent environ 2 250,37 km², soit 24,59 % de la wilaya. Elles se répartissent principalement au nord avec les monts de Tessala et de Beni Chougrane, qui s'étendent sur environ 864,20 km², et au centre avec les monts de Dhaya, couvrant environ 1 386,16 km². Ce relief montagneux, modéré au sud et au sud-est, est constitué principalement de formations telliennes, avec des altitudes variées créant un terrain accidenté, enrichi par des collines environnantes [52];[37].

- **Les zones de plaine :**

Les plaines représentent une superficie totale de 3 239,44 km², soit 35,40 % de l'espace de la wilaya. Elles incluent la plaine de Sidi Bel Abbès, qui couvre environ 2 102,85 km² avec une altitude variant entre 400 et 800 mètres, ainsi que les hautes plaines de Telagh, d'une superficie d'environ 1 136,59 km² et d'altitude variant de 400 à 1 000 mètres. Au nord et à l'ouest de la wilaya, le relief est dominé par des plaines alluviales et des vallées fluviales, notamment celles traversées par le fleuve Mekerra, qui contribue à la fertilité des zones agricoles locales [52];[38].

- **Les zones de steppe :**

Les zones de steppe, situées au sud de la wilaya, couvrent environ 3 660,82 km², soit 40 % de la superficie totale. Elles présentent des altitudes variant de 1 000 à 1 400 mètres. Ces régions comprennent des plateaux légèrement ondulés, issus de formations sédimentaires et métamorphiques, souvent utilisés pour l'agriculture en raison de leur relief modéré et de leur sol fertile [52] ;[39].

III.4 Situation géologique :

La wilaya de Sidi Bel Abbès se distingue par une diversité de formations géologiques.

- **Roches sédimentaires :**

Cette région est caractérisée par des formations de roches sédimentaires telles que les calcaires, les grès et les argiles. Ces formations sont le résultat de la sédimentation marine et continentale des périodes géologiques antérieures. Les calcaires sont particulièrement fréquents dans les zones de plissements, tandis que les grès se rencontrent principalement dans les formations plus récentes [38].

- **Roches métamorphiques :**

On observe également des roches métamorphiques, comme les schistes et les gneiss, dans certaines parties de la wilaya. Ces roches ont été formées par le métamorphisme régional, processus lié à des conditions accrues de température et de pression au cours des périodes géologiques passées [37].

- **Roches volcaniques :**

Des formations volcaniques plus anciennes sont également présentes dans la région, bien que leur étendue soit limitée par rapport aux autres types de roches [39].

III.5 Situation hydrographique :

Selon les informations fournies par la direction de l'hydraulique, la wilaya de Sidi Bel Abbès est traversée par un réseau hydrographique complexe qui constitue la partie amont de deux bassins majeurs : le bassin de la Macta et le bassin du Chergui. Ce réseau s'étend suivant une orientation sud-nord dans les plaines et nord-sud dans la région steppique. Le secteur septentrional est intégré au vaste bassin de la Macta.

En outre, environ 40 % de la wilaya se trouve dans la région steppique, alimentant un troisième bassin versant. Ce dernier, bien que distinct des deux premiers, contribue aux écoulements dans trois directions principales : nord, est et sud.

- **Bassin de l'oued Mekerra :**

Ce bassin couvre 4 150 km², dont 3 629 km² sont situés dans la wilaya de Sidi Bel Abbès. L'oued Mékerra s'étend sur environ 136 km et prend sa source à plus de 1 300 mètres d'altitude. Il draine la zone steppique de Ras El Ma et Rejem Demouch.

- **Bassin Supérieur de l'oued El Hammam :**

S'étalant sur 1 240 km², ce bassin reçoit les contributions des oueds Melghir, Tenira et Sefioune, avec un apport estimé à 73 hm³ par an. Les sources de ces oueds se trouvent sur les versants nord et les monts de Dhaya, à une altitude dépassant 1 200 mètres.

- **Bassin versant des hautes plaines steppiques :**

Ce bassin, couvrant 2 925 km², inclut des oueds à écoulement intermittent tels que l'oued Djorf El Ghorab, l'oued El Kouitet et l'oued El Semar. Ces oueds, prenant naissance sur les versants sud des monts de Dhaya à environ 1 300 mètres d'altitude, déversent entre 4,8 et 11,6 hm³ d'eau par an.

Bien que les ressources hydriques ne puissent pas être mobilisées en surface, elles alimentent la nappe du bassin endoréique de Chott [53].

III.6 Potentiel hydrique de la wilaya :

III.6.1 Les eaux superficielles :

Les ressources en eau de surface de la wilaya de Sidi Bel Abbès présentent une grande variabilité selon les régions et les périodes. Au sud, les apports sont faibles et irréguliers en raison des faibles précipitations, tandis qu'au nord, ils sont plus importants mais également irréguliers [54].

Tableau III.1 : Rapports des ressources en eau superficielle [54].

Sous bassin	Potentiel	Ouvrage de mobilisation
Mekerra	25 à 30 hm ³ /an	Cheurfa (Mascara)
Melghir	10 à 15 hm ³ /an	Ouizert (Mascara)
Tagouraya	7 à 10 hm ³ /an	Bouhanifia (Mascara)
Chott chergui	4 à 8 hm ³ /an	Nappe de Chott Chergui

Les ressources en eau de surface se classifient en quatre types principaux : les eaux des oueds, des barrages, des retenues collinaires, et des sources.

- **Les eaux des oued :**

Le climat semi-aride de la région de Sidi Bel Abbès provoque un tarissement presque total des oueds pendant les périodes estivales. L'exception notable est l'oued Mekerra, qui prend sa source à Ras El Ma et traverse plusieurs agglomérations avant d'atteindre la ville de Sidi Bel Abbès. En dehors de cette zone, l'oued Mekerra présente un faible ruissellement d'eau [55].

- **Les eaux des barrages :**

- ✓ Barrage Sarno : Construit en 1947, situé à 15 km de Sidi Hamadouch, avec un débit théorique de 100 l/j (0,0368 m³/an), mais ne produit que 1000 m³/j (0,360 millions m³/an) en raison du développement d'algues.
- ✓ Barrage de Sidi Abdelli : Situé au nord de la wilaya de Tlemcen, avec une capacité de stockage de 106,61 hm³.

- ✓ Barrage de Bouhnifia : Sur l'oued El Hammam, avec une superficie de 7850 km² et une capacité de stockage de 38,11 hm³.
- ✓ Barrage Cheurfa 2 : Situé à 42 km de Sidi Bel Abbès, sur l'oued Mékerra, avec une capacité de stockage de 70,21 hm³ [53].

• **Retenues collinaires :**

Les retenues collinaires, telles que le lac Sidi Mohamed Ben Ali (36 ha), sont conçues pour emmagasiner des quantités d'eau limitées, principalement pour l'irrigation agricole et l'abreuvement des animaux [56].

• **Les eaux de source :**

Les sources locales, telles que celles de Sidi Ali Boussidi, Sidi Ali Benyoub, et Ain el Berd, fournissent des volumes variables d'eau, principalement pour l'alimentation en eau potable des agglomérations [57].

Potentiel global en eau superficielles :

La wilaya de Sidi Bel Abbès possède un potentiel global en eau superficielle estimé à 16 hm³ par an. Ce chiffre reflète la capacité totale des ressources en eau disponibles dans la région, englobant les différentes structures hydrauliques et sous-bassins [57].

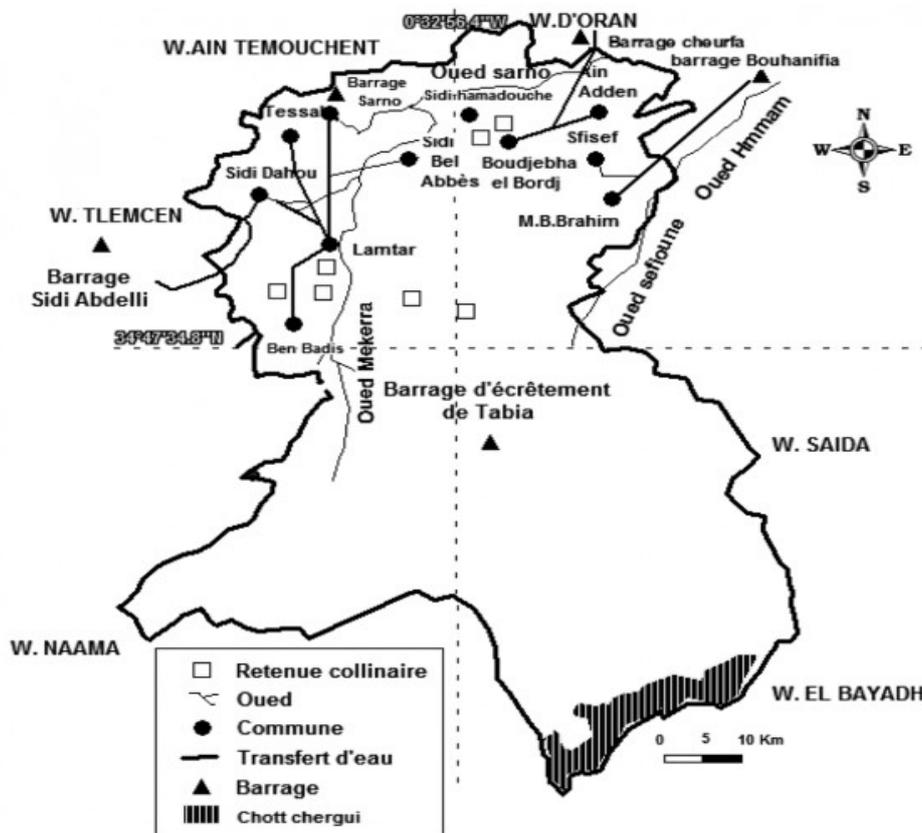


Figure III.2 : Réseau hydrgraphique et potentiel en eaux superficielles au Nord de la wilaya de Sidi Bel Abbès [36].

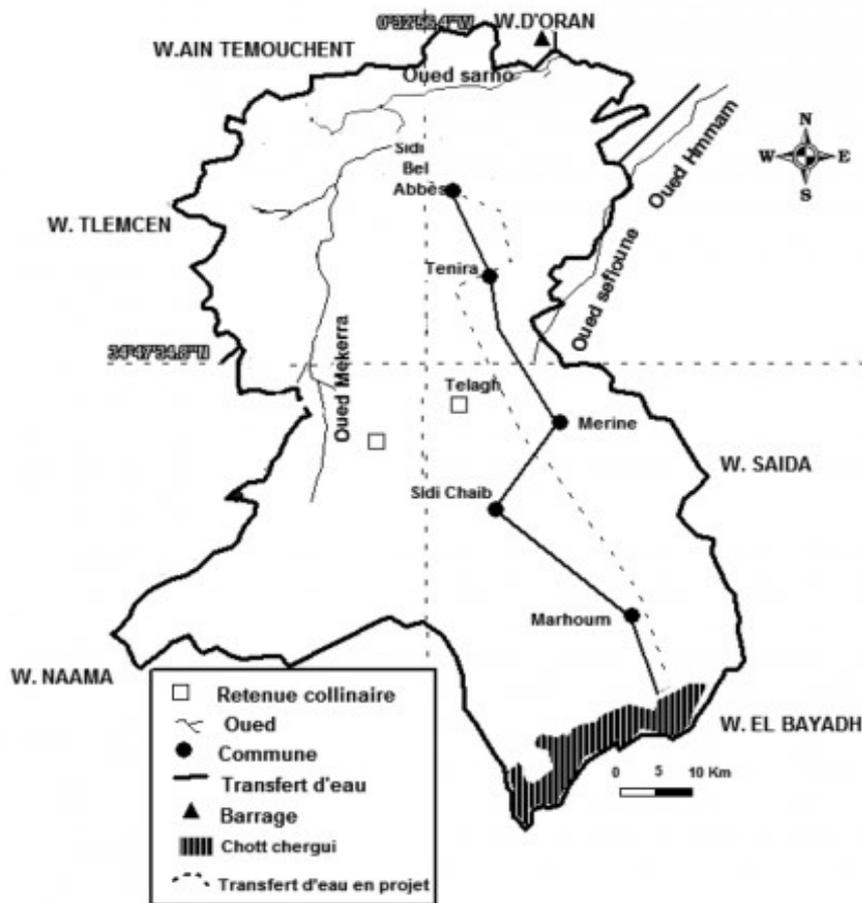


Figure III.3 : Potentiel en eaux superficielles au Sud de la wilaya de Sidi Bel Abbès [36].

III.6.2 Les eaux souterraines :

- **Nappe de la plaine de Sidi Bel Abbès :**

La nappe de la plaine de Sidi Bel Abbès est une nappe libre s'étendant sur 73 km² dans des terrains alluviaux, bien que le secteur entre Sidi Khaled et Sidi Bel Abbès soit semi-captif. Son potentiel annuel est estimé à plus de 27 millions de m³, avec une profondeur variant de 15 à 30 mètres. Cette nappe est alimentée par les précipitations (60 hm³/an), l'infiltration latérale et les oueds en période de crue. La qualité de l'eau y est relativement médiocre.

- **Nappe de Sarno :**

La nappe de Sarno, libre et située dans des terrains alluviaux, présente une qualité d'eau moyenne à mauvaise.

- **Nappe de Tenira :**

S'étendant des piémonts nord du Dhaya jusqu'à la plaine de Sidi Bel Abbès, la nappe de Tenira est caractérisée par une abondance de forages (plus de 27) et un débit important, indiquant une réserve d'eau significative de plus de 10 hm³/an. Les forages F23 et F28 fournissent ensemble un débit de 200 l/s pour la ville de Sidi Bel Abbès.

- **Nappe de Sidi Chaib :**

La nappe de Sidi Chaib est captive, située dans des terrains de grès albiens. Elle a un potentiel estimé à 7,7 millions de m³, avec une qualité d'eau variant de bonne à passable.

- **Nappe de Chott-Chergui :**

Située à l'extrémité sud de la wilaya et portée par des terrains calcaires, la nappe de Chott-Chergui a une capacité de 60 millions de m³ et une qualité d'eau relativement bonne, bien qu'elle soit très peu exploitée.

- **Nappe de Ras El Ma :**

La nappe de Ras El Ma, libre à captive et localisée dans des terrains de grès barrémiens, possède une capacité de 2,4 millions de m³ avec une qualité d'eau relativement bonne.

- **Nappe de Sfisef :**

La nappe de Sfisef se trouve dans une vallée allongée est-ouest de 15 km et est alimentée par des eaux alluviales quaternaires. Elle est située à une profondeur de 10 à 15 mètres et s'écoule vers l'est.

- **Nappe de Moulay Slissen :**

Cette nappe, libre à captive et située dans des terrains barrémiens, a une qualité d'eau généralement médiocre à mauvaise [53].

Potentiel Global en eau souterraine :

La wilaya de Sidi Bel Abbès dispose d'un potentiel en eau souterraine variant entre 30 et 35 hm³ par an. Ce potentiel est réparti sur douze unités hydrogéographiques, dont onze dans le bassin versant de la Macta et une dans celui de Chott-Chergui. La gestion de ces ressources se fait principalement par la petite hydraulique, avec 105 forages et 45 puits, exploitant un volume total de 30 hm³/an [57].

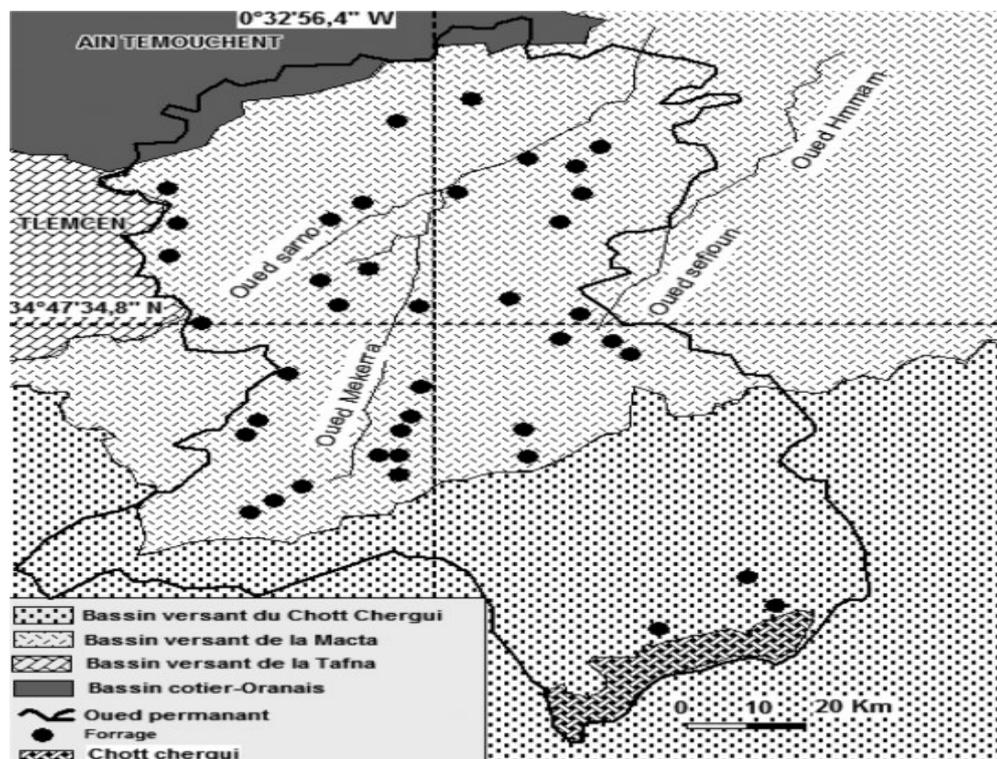


Figure III.4 : Potentiel en eaux souterraines dans la wilaya de Sidi Bel Abbès [36].

III.7 Situation climatique :

III.7.1 Climat :

La wilaya de Sidi Bel Abbes est caractérisée par un climat semi-aride avec des saisons sèches et chaudes, ainsi qu'une saison fraîche. Cette région a subi une réduction des précipitations, une dégradation environnementale et une perte de fertilité des sols. Les précipitations annuelles moyennes sont d'environ 400 mm, totalisant 1,6 milliard de mètres cubes, mais elles sont souvent mal réparties, ce qui entraîne des déficits hydriques. Cette variabilité des précipitations souligne la nécessité d'études hydrologiques approfondies, bien que la disponibilité de tous les paramètres climatiques nécessaires soit limitée dans le contexte algérien.

III.7.2 Températures:

les températures sont importantes dans le fonctionnement des systèmes de traitement biologique des eaux usées. Pendant l'été, la région connaît des températures élevées, avec des moyennes maximales atteignant souvent 35.4°C en juillet et août. Les vagues de chaleur peuvent faire grimper les températures au-dessus de 40°C. En revanche, les hivers sont doux, avec des températures moyennes minimales avoisinant 5°C en décembre et janvier. Ces variations saisonnières influencent directement l'activité bactériologique nécessaire au traitement optimal des eaux [40],[41].

Tableau III.2 : températures mensuelles durant l'année 2022 [40].

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Moy Ann
T.max (°C)	15,3	16,2	18,0	21,5	25,6	30,1	35,4	35,2	30,0	24,1	18,5	15,8	23,8
T.min(°C)	4,8	5,5	7,8	10,4	14,1	18,2	21,7	21,5	18,0	13,6	9,2	5,6	12,8
Tmoy(°C)	10,05	10,85	12,9	15,95	19,85	24,15	28,55	28,35	24,0	18,85	13,85	10,7	18,3

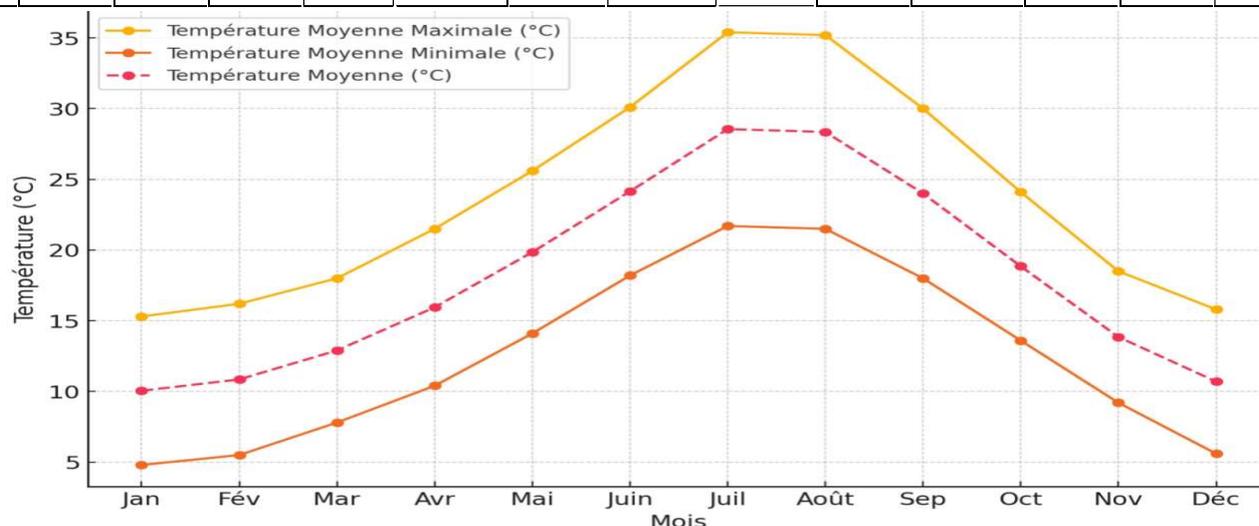


Figure III.5 : Les courbes Température moyenne maximale et minimale de l'année 2022.

III.7.3 La pluviométrie (Précipitations) :

Les précipitations, qui incluent pluie, averses, neige et grêle, jouent un rôle fondamental dans les systèmes hydrologiques en alimentant les bassins versants. La région de Sidi Bel Abbès, influencée par un climat méditerranéen, connaît des précipitations irrégulières avec une moyenne annuelle généralement d'environ 400 mm. Les précipitations sont concentrées principalement en hiver et au début du printemps, tandis que l'été est très sec [40].

Tableau III.3 : Précipitations moyennes mensuelles durant l'année 2022 [40].

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juill	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
Précip (mm)	57.21	47.05	40.96	43.04	32.42	5.47	2	4.47	20.79	37.73	55.75	51.13

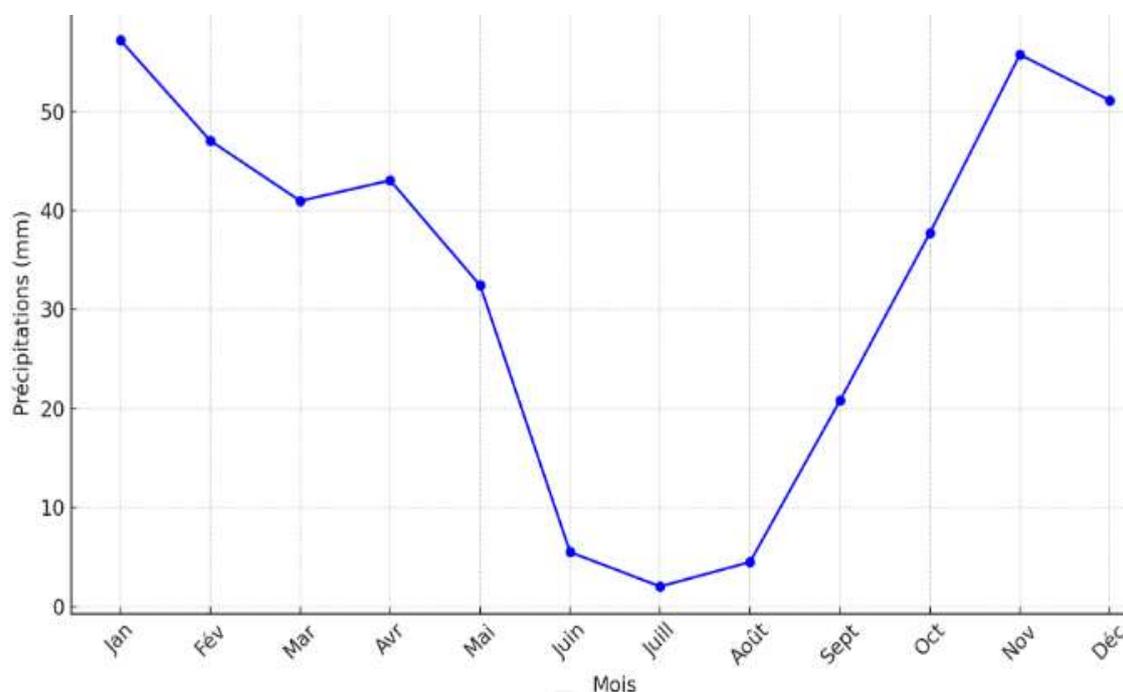


Figure III.6 : Représentation graphique des moyennes mensuelles des précipitations de l'année 2022 .

III.7.4 Les vents :

La région est caractérisée par des vents dominants qui soufflent principalement du nord-ouest, avec une intensité accrue lors des tempêtes hivernales. En été, des vents chauds et secs, comme le sirocco, peuvent provenir du sud, augmentant ainsi la chaleur ressentie [40].

III.7.5 Humidité:

L'humidité relative varie significativement au cours de l'année. En hiver, elle atteint des niveaux moyens de 70 à 80 %, tandis qu'en été, elle diminue pour se situer entre 30 et 40 % [41].

Tableau III.4 : Humidité mensuelle de SBA [41].

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
Hum Relative (%)	76	73	71	67	61	52	40	41	54	66	71	75

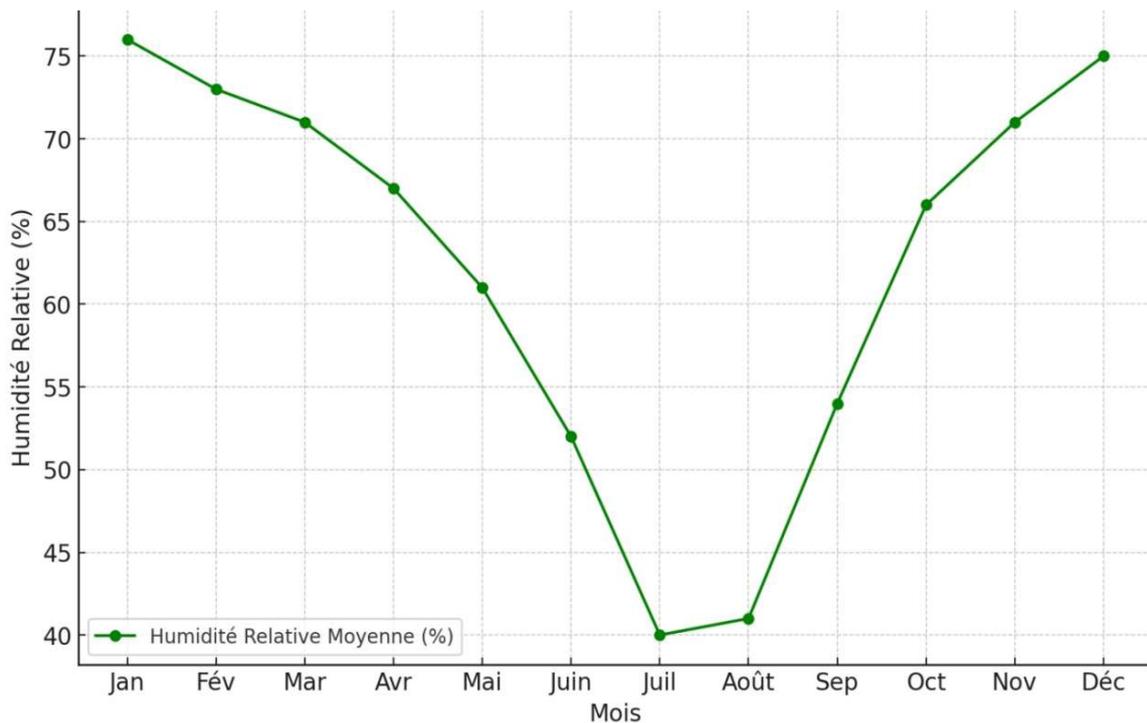


Figure III.7 : Représentation graphique de l'humidité mensuelle.

III.7.6 Ensoleillement:

Sidi Bel Abbès bénéficie d'un ensoleillement généreux tout au long de l'année, avec une moyenne de 8 à 10 heures de soleil par jour en été, et de 5 à 6 heures en hiver [42].

Tableau III.5 : Moyennes mensuelles de l'ensoleillement de SBA [42]

Mois	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Oct	Nov	Déc
Ensoleillement (h/j)	5,2	6,1	7,3	8,4	9,1	10,2	10,5	10,3	8,7	7,4	6,2	5,4

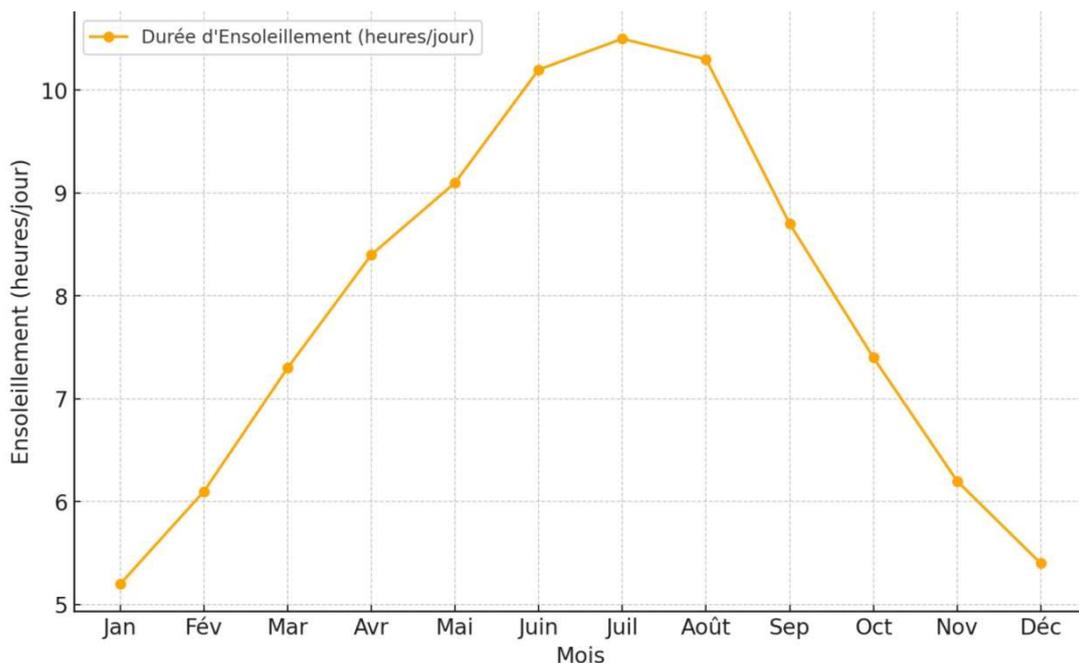


Figure III.8 : Représentation graphique des moyennes mensuelles de l’ensoleillement.

III.8 Situation démographique :

III.8.1 Population de base :

La wilaya de Sidi Bel Abbès, reconnue pour son importance démographique et ses diverses potentialités agricoles et industrielles. Les rejets traités dans le cadre du présent projet sont exclusivement d'origine domestique, en provenance des communes de Sidi Bel Abbès, Sidi Lahcen, Amarnas et Telmouni.

Au 31 décembre 2012, la population de la wilaya de Sidi Bel Abbès était estimée à 641 348 habitants. Cette population est principalement concentrée dans le nord-ouest de la wilaya, qui s'étend sur une superficie de 9 150,63 km² [52].

Les données relatives à la population des quatre communes raccordées à la station d'épuration de Sidi Bel Abbès pour l'année 2021 sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau III.6 : Récapitulatif de la population des 4 communes.

Communes	Population 2021	Population Raccordée (Hab)
Sidi Bel Abbes (ville)	258 453	258 453
Sidi Lahcen	35 177	33 770
Amarnas	28 232	22 586
Telmouni	12 582	10 695
TOTAL	334444	325504

Source : ONA SIDI BEL ABBES ,2024

III.8.2 Le Taux d'accroissement :

Le Taux d'accroissement de chaque Commune est présenté dans le tableau ci-dessous :

Tableau III.7 : Récapitulatif des Taux d'accroissement de chaque région.

Communes	Taux d'accroissement	Moy
Sidi Bel Abbes (ville)	1.5 %	2.41 %
Sidi Lahcen	3,41 %	
Amarnas	2.46 %	
Telmouni	2,26 %	

III.8.3 Estimation de la population à différents horizon :

Pour estimer l'évolution démographique d'une population sur différentes périodes, on utilise la formule suivante :

$$P_N = P_0 \times (1 + T)^N \quad \text{(III. 1)}$$

Où :

- P_N : Population future à projeter.
- P_0 : Population de base à une année de référence spécifique (dans ce cas, 2021).
- N : Nombre d'années séparant l'année de référence (2021) de l'horizon temporel considéré.
- T : Taux d'accroissement annuel de la population, représentant le pourcentage moyen d'augmentation annuelle.

Les résultats des deux estimations sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau III.8 : Estimation de la population affectée par le système de traitement des eaux usées en 2024 et 2054.

Communes		Sidi Bel Abbes	Sidi Lahcen	Amarnas	Telmouni	TOTAL
Taux d'accroissement (%)		1.5	3,41	2.46	2,26	2.41
population concerné par la STEP (Hab)	2021	258 453	33 770	22 586	10 695	325504
	2024	270259	37344	24295	11437	343335
	2054	422437	102117	50368	22361	597283

III.9 Assainissement :

La ville de Sidi Bel Abbès (SBA) dispose d'une infrastructure d'assainissement développée, comprenant deux stations de relevage : l'une située au centre du quartier de Sidi Djilali et l'autre près de la station d'épuration dans le quartier Le Rocher. La gestion de cette station d'épuration est assurée par la Direction de l'Office National de l'Assainissement.

Le réseau d'assainissement de SBA se divise en deux systèmes principaux :

- **Réseau unitaire** : Un collecteur unique transporte à la fois les eaux usées et les eaux pluviales.
- **Réseaux séparatifs** : Deux réseaux distincts sont utilisés, l'un pour les eaux usées, traitées à la station d'épuration, et l'autre pour les eaux de ruissellement, rejetées directement sans traitement.

Les principales sources d'eaux usées à SBA sont : Eaux domestiques ; Eaux industrielles. La population génère un volume considérable d'eaux usées, notamment dans le nord de la ville où se trouvent principalement des habitations individuelles. Les eaux de l'hôpital et celles de l'abattoir ne sont pas traitées et sont directement déversées dans l'égout communal. Le raccordement des unités industrielles au réseau d'assainissement ou leur rejet dans l'Oued Mekerra est soumis à l'installation préalable d'une station d'épuration et à une autorisation. Les principales unités industrielles avec des rejets liquides importants sont ENIE, PMA, Orolait, Fromalait.

Le réseau de Sidi Bel Abbès s'étend sur plus de 190 km de canalisations de divers diamètres, répartis comme suit :

Tableau III.9 : Diamètres des différentes canalisations [53].

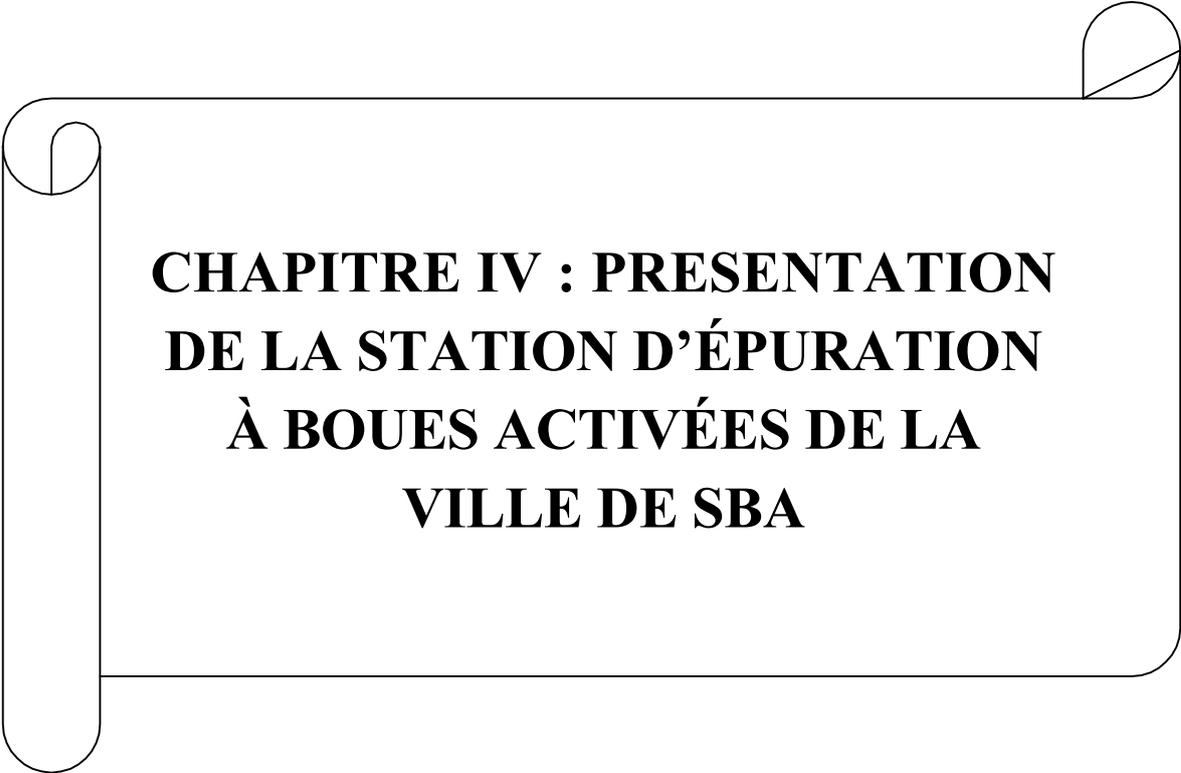
Diamètre (mm)	200	250	300	400	500	600	700	800	900	1000	>1250
Linéaire (km)	-	-	90	55	9.27	3.66	5.18	7.11	0.99	5.66	13.65

Les principaux réseaux de la ville sont :

- **Réseau central** : Draine la partie sud de l'Oued Mekerra, couvrant une superficie d'environ 581 ha.
- **Réseau est** : Draine les quartiers périphériques sud-est de la ville et la zone industrielle, avec une superficie d'environ 623 ha, située entre l'Oued El Malah et la ZHUN-EST.
- **Réseau nord** : Situé sur la rive droite de l'Oued Mekerra, il draine une superficie d'environ 441 ha.

III.10 CONCLUSION :

La présentation de la zone d'étude de Sidi Bel Abbes a éclairé les enjeux liés aux ressources en eau et aux défis environnementaux locaux, ce qui souligne l'importance de la durabilité dans notre projet. Cette compréhension approfondie guidera nos futures recommandations pour la réutilisation des eaux usées épurées à des fins agricoles, en tenant compte des spécificités locales et des besoins de la communauté.



**CHAPITRE IV : PRESENTATION
DE LA STATION D'ÉPURATION
À BOUES ACTIVÉES DE LA
VILLE DE SBA**

IV.1 INTRODUCTION :

Nous explorerons dans ce chapitre les équipements et les caractéristiques de la station d'épuration de SBA. Ces installations sont essentielles pour le traitement des eaux usées urbaines et utilisent une combinaison de procédés biologiques et physico-chimiques pour éliminer les contaminants. Les détails de ces procédés seront présentés dans la suite du chapitre.

IV.2 Présentation de la STEP de Sidi Bel Abbès :

Les eaux brutes de la ville de Sidi Bel Abbès sont collectées par des drains avant d'être acheminées vers deux stations de relevage. L'une est située au centre du quartier de Sidi Djilali, tandis que l'autre se trouve à proximité de la station d'épuration, dans le quartier appelé Le Rocher.

La gestion de la station d'épuration des eaux usées, a été transférée à l'ONA en 2008. Conçue pour desservir 220 000 habitations, elle peut traiter un débit moyen journalier de 28 000 m³/j (STEP SBA, 2024).

Les eaux épurées sont ensuite déversées dans l'Oued Mekerra. Le procédé de purification, basé sur les boues activées à moyenne charge, est spécifiquement conçu pour traiter les eaux usées des communes de Sidi Bel Abbès, Sidi Lahcen, Amarnas et Telmouni (ONA, 2024).



Figure IV.1 : Photo de la station d'épuration de SBA (STEP SBA,2024).

Le débit admis au traitement à la STEP de SBA suit la filière de traitement suivante : dégrillage grossier et fin, dessablage et déshuilage, décantation primaire, épuration biologique avec nitrification-dénitrification, décantation secondaire, désinfection de l'effluent, recirculation et extraction des boues, stabilisation, épaissement, et déshydratation naturelle des boues sur lits de séchage (STEP SBA, 2024).

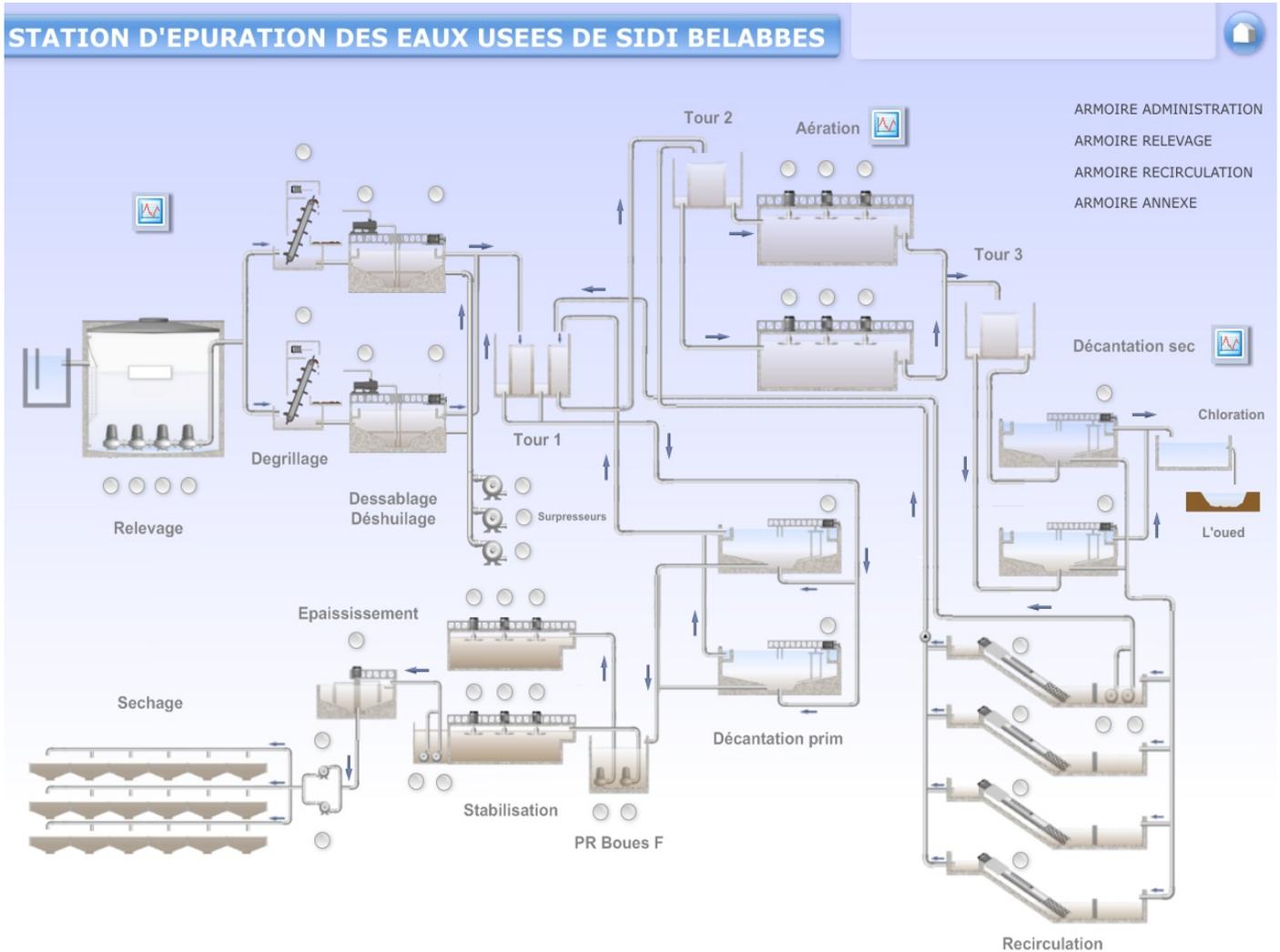


Figure IV.2 : Schéma de télégestion de la STEP (STEP SBA,2024).

IV.3 Les ouvrages de traitements :

IV.3.1 Filière de traitement des eaux usées :

IV.3.1.1 Prétraitement :

- **Le relevage:**

Le transport des eaux usées dans les collecteurs s'effectue principalement par gravité, exploitant le dénivelé naturel. Cependant, lorsqu'elles atteignent un niveau inférieur à celui des installations de traitement, un poste de relevage prend le relais. Cette tâche est assurée par quatre pompes Caprari submersibles mono canal, disposées parallèlement et fonctionnant en alternance par paires (le relevage ce trouve après le dégrilleur grossier) [58].

Tableau IV.1 : Les caractéristiques des pompes de relevage [58].

Caractéristiques	Pompe 1 & 2	Pompe 3 & 4
Type	Submersible mono canal	Submersible mono canal
Débit	558,68 m ³ /h	396,4 m ³ /h
Puissance nominale	45 kW	45 kW
Disposition	Parallèle	Parallèle
Mode de fonctionnement	En alternance	En alternance



Figure IV.3 : Photo de relevage par des pompes [58].

- **Déversoir d'orage :**

L'eau est acheminée de la station de relevage (près de STEP au centre du quartier de Sidi Djillali) à la station d'épuration par gravité à travers des conduits en béton, et se déverse dans le déversoir d'orage installé en amont. Ce bassin en béton possède une entrée et deux sorties : la première évacue l'eau non traitée dans l'oued Mekerra en cas de fort débit ou de panne (le surplus de débit admissible) via un by-pass général; la seconde dirige l'eau vers le dégrillage grossier. La hauteur de la lame de débordement est réglée pour traiter jusqu'à 1642,5 m³/h (un débit entrant) (STEP SBA, 2023).



Figure IV.4 : Déversoir d'orage de la STEP [58].

- **Le dégrillage :**

Les eaux usées sont d'abord dirigées vers un bassin, où elles passent à travers une grille grossière. Cette grille retient les déchets volumineux tels que papiers, feuilles et plastiques. Les débris sont ensuite éliminés à l'aide d'un râteau, collectés dans une remorque, puis transportés vers une décharge publique.

Tableau IV.2 : Les caractéristique de la grille grossière à nettoyage manuel (1 unité)

Caractéristique	Détail
Largeur	2,40 m
hauteur	1.5 m
Inclinaison	70°
Forme des barreaux	Rectangulaire (20x50 mm)
Espacement entre les barreaux	50 mm
Matériau	Acier galvanisé



Figure IV.5 : La grille grossière de la STEP (entrée de l'eau dans la step).

Le système de traitement comprend aussi deux dégrilleurs fins qui sont équipés de dispositifs de curage adaptés aux besoins d'un service intermittent ou continu. L'entraînement est assuré soit par un motoréducteur électrique, contrôlé automatiquement par un contacteur de niveau, soit par des relais chronométriques, ou manuellement. Le convoyeur associé est synchronisé avec le fonctionnement du dégrilleur.

Tableau IV.3 : Les caractéristique des grilles fins mécanisées (2 unités).

Caractéristique	Détail
Fonction	Élimination des petits déchets
Largeur de la grille	1,00 m
Profondeur du chenal	1,50 m
Espacement entre les barreaux	20 mm
Épaisseur des barreaux	10 mm
Puissance du moteur	0,37 kW

On trouve aussi un grille manuelle de By-pass, c'est un dégrilleur de secours dans le cas d'une crue ou une panne au niveau de la grille mécanisée. Cette grille en aluminium présente un écartement entre les barreaux de grille est de 30mm [58].



Figure IV.6 : Les deux grilles mécanisées de la STEP.

- **Dessableur–Déshuileur (2 unités « couloir ») :**

Le chenal de fuite des grilles est conçu avec des glissières permettant l'isolement des dessableurs si nécessaire. Dans ce cas (cas de surcharge), un trop-plein de sécurité, en connexion avec le by-pass général de la STEP, assure l'évacuation des excès d'eau. Pour le prétraitement des eaux usées, un dessableur-déshuileur longitudinal aéré à deux compartiments est utilisé. Ce dispositif est constitué d'un chenal en béton trapezoidal (longueur 26.00 m largeur 4.00 m), équipé d'un pont suceur et écumeur doté d'un arrêt d'urgence [58].

L'aération des eaux dans les dessableurs est réalisée via des rampes poreuses, avec des tuyauteries en acier galvanisé. Deux supprimeurs rotatifs favorisent la séparation des sables et l'accumulation des graisses et huiles en surface. Le sable accumulé au fond est extrait à l'aide d'une pompe « air lift », et est évacué vers un lit de séchage. Les huiles sont récupérées par un racleur de surface, puis transférées dans un puisard à graisse, avant d'être évacuées par camion vers une décharge aménagée [58].

Les flottants sont éliminés grâce à une lame d'écumage réglable et un déversoir d'extrémité. Le puisard à flottants gère le débordement via un déversoir à paroi mince. L'effluent collecté est ensuite dirigé gravitairement vers les étapes suivantes du traitement [58].

Tableau IV.4 : Les Équipements du Dessableur-Déshuileur [58].

Équipement	Détail
Pont suceur et écumeur	Avec groupe moto-réducteur de 0,37 kW
Rampes d'aération	Poreuses à grosses bulles
Suppresseurs rotatifs	2 x 580 m ³ /h sous 4 m
Pompe « air lift »	Avec groupe moto-suppresseur de 4 kW
Racleur de surface	Pour récupération des huiles
Puisard à graisse	Pour stockage des huiles
Lame d'écumage	Réglable pour l'évacuation des flottants
Déversoir d'extrémité	À paroi mince pour le débordement
Puisard à flottants	Équipé d'un groupe motoréducteur de vidange de 10 m ³ /h sous 10 mce



Figure IV.7 : Bassin dessablage-déshuilage de la STEP [58].

IV.3.1.2 Traitement primaire :

- **Décanteur primaire (2 unités) :**

Le processus de décantation vise à éliminer les particules plus lourdes que l'eau par gravité. La vitesse de décantation dépend de la vitesse de chute des particules, influencée par leur taille et densité [58].

L'eau prétraitée est dirigée du dessableur-déshuileur vers un répartiteur aéré (répartiteur n° 01) via une tuyauterie DN 600. Ce répartiteur, constitué de deux chambres, distribue l'eau de manière uniforme vers les deux décanteurs primaires. La tuyauterie est encastrée dans le béton du radier et se termine dans une jupe siphonoïde de tranquillisation.

Les deux décanteurs primaires, de type circulaire conique avec une pente de fond de 15°, ont une capacité de 1397 m³ chacun. Ils sont construits en béton armé avec un diamètre de 26 m.

Chaque décanteur est équipé d'un mécanisme racleur tracté, monté sur un pont tournant reposant sur un pivot central et un voile périphérique. Ce mécanisme permet le raclage des boues vers le centre du décanteur et le transfert des boues vers le puisard à boue fraîche par tuyauterie DN 80 mm. Les flottants sont éliminés par un racleur de surface et dirigés vers une trémie de récupération, puis vers une décharge publique [58].

Le dispositif de raclage de fond, qui est relevable, permet les opérations d'entretien sans vidanger le décanteur. Les eaux décantées sont évacuées à travers des lames de débordement, qui retiennent les déchets flottants avant leur transfert dans une goulotte périphérique.



Figure IV.8 : Le décanteur primaire de la STEP

IV.3.1.3 traitement secondaire (biologique) :

Le procédé est dit « traitement à boues activées » repose sur l'optimisation des conditions nécessaires pour une activité bactérienne maximale. Cela inclut un apport suffisant en oxygène, une agitation continue pour favoriser le contact entre les bactéries et la pollution, ainsi qu'une concentration élevée en bactéries pour améliorer l'efficacité du traitement.

La chaîne de traitement comprend deux bassins d'aération, deux décanteurs secondaires, et un système de recirculation des boues.

- **Bassin d'aération (2 unités) :**

Les eaux décantées des décanteurs primaires sont acheminées par gravité vers les bassins d'aération. Ces bassins, de forme rectangulaire et en béton armé, sont équipés de trois aérateurs chacun. L'eau arrive dans les bassins via un chenal de répartition, doté de quatre pelles d'étangs inversées pour ajuster le débit et éviter les débordements.

La circulation de l'eau dans les bassins se fait à une vitesse d'environ 20 cm/s pour prévenir

les dépôts de boues. Les aérateurs de surface à rotation lente assurent l'oxygénation et le brassage de l'eau, favorisant le contact entre les bactéries aérobies et les matières organiques. Un oxymètre permet le contrôle en continu de la teneur en oxygène. Les six aérateurs fonctionnent alternativement pour optimiser la consommation d'électricité [58].

Tableau IV.5 : Les caractéristiques des bassins d'aération

Paramètre	Valeur
Volume	3367.4 m ³
Dimensions (L x l)	49.5 x 16.5 m
Hauteur d'eau	4.82 m
Hauteur béton	5.82 m



Figure IV.9 : Bassin d'aération de la STEP [58].

- **Décanteur Secondaire (2 unités) :**

Les liqueurs mixtes issues des bassins d'aération sont dirigées gravitairement vers une chambre de répartition n° 3 divisant les eaux vers les deux décanteurs secondaires circulaires coniques, ayant un diamètre de 36 m chacun.

Tableau IV.6 : Les caractéristiques des décanteurs secondaires

Paramètre	Valeur
Diamètre	36 m
Surface	1018 m ²
Profondeur d'eau	3 m
Vitesse de rotation du pont	0.04 m/s

Les décanteurs sont équipés d'un pont racleur de fond pour transférer les boues sédimentées vers la fosse centrale à boues et d'un racleur de surface pour éliminer les déchets flottants dans un puisard annexe. L'eau clarifiée est évacuée par surverse dans une rigole périphérique vers la chloration [58].



Figure IV.10 : Tour de répartition N° 3 de la STEP



Figure IV.11 : Le décanteur secondaire de la STEP

- **Poste de recirculation des boues :**

Les boues récupérées au centre des décanteurs secondaires sont gravitairement transférées vers les vis d'Archimède situées à l'aval des bassins d'aération. Le fonctionnement des vis est régulé par une minuterie. Les boues légères sont renvoyées vers les bassins d'aération via un chenal équipé d'un jaugeur Venturi, tandis que les boues lourdes sont dirigées vers le stabilisateur par deux pompes [58].



Figure IV.12 : Les vis d'Archimède (STEP SBA,2024).

IV.3.1.4 Traitement tertiaire (La désinfection) :

La désinfection est une étape essentielle pour réduire les constituants microbiologiques dans les eaux usées, en particulier lorsqu'elles sont destinées à l'irrigation. Ce processus est réalisé après le traitement biologique ou Les eaux traitées sont collectées dans un grand **bassin de chloration**, une cuve en béton d'une capacité de 700 m³, où elles sont maintenues pendant un temps de contact de plus de 30 minutes au débit moyen. Ce traitement vise à éliminer les germes pathogènes présents dans l'effluent, garantissant ainsi la sécurité sanitaire des eaux avant leur réutilisation ou leur rejet dans l'environnement [58].



Figure IV.13 : Bassin de chloration de la STEP [58].



Figure IV.14 : Le déversement de l'eau traitée dans l'oued Mekerra.

IV.3.2 Filière de traitement des boues :

Les boues fraîches, acheminées via une tuyauterie de DN 150 mm, sont dirigées vers un puisard à boue de tête. Ce puisard est équipé de deux déversoirs pour répartir les boues entre les deux bassins de stabilisation.

IV.3.2.1 Stabilisation :

La stabilisation des boues est réalisée pour prévenir les problèmes de fermentation et ainsi éviter les nuisances olfactives. Cette stabilisation biologique s'effectue par voie aérobie, similaire au processus d'aération de l'eau. L'objectif est de stabiliser les boues fraîches, ainsi que les boues primaires et secondaires en excès issues du traitement biologique.

Tableau IV.7 : Les dimensions des bassins de stabilisation .

Caractéristique	Dimension
Volume	3367.4 m ³
Forme	Rectangulaire (49,5 x 16,5 m)
Hauteur d'eau	4,82 m
Hauteur du béton	5,82 m

IV.3.2.2 L'épaississement :

Après stabilisation, les boues sont pompées vers un épaisseur, un cylindre conique en béton armé de 16 m de diamètre et à faible pente avec une hauteur de 4 m et la surface du radier est 201 m². L'épaississement vise à concentrer les boues avant leur envoi vers les lits de séchage. Les boues s'épaississent sous l'effet de la pesanteur et d'un mécanisme racleur équipé de herse, facilitant ainsi l'évacuation de l'eau. L'eau séparée est évacuée par surverse dans une goutte périphérique, puis renvoyée en amont du poste. Les boues épaisses, quant à elles, sont dirigées vers une fosse centrale pour être ensuite pompées vers les lits de séchage [58].



Figure IV.15 : L'épaisseur de la STEP.

IV.3.2.3 Lits de séchage (La déshydratation) :

La déshydratation des boues sur lits de séchage est une technique ancienne qui repose sur la filtration naturelle par gravité et l'évaporation à l'air libre. Ce processus, pouvant durer une à deux semaines, permet de réduire l'humidité des boues. Les boues épaissies sont étalées sur 24 lits de séchage, de longueur de 30 m et largeur de 15 m (la surface est 450 m^2), pour être déshydratées naturellement [58].



Figure IV.16 : Lits de séchage de la STEP.



Figure IV.17 : Image satellitaire de la STEP de Sidi Bel Abbes (Source : googleEarth,2023).

IV.4 Laboratoire d'analyse :

Le laboratoire d'analyse d'une Station d'Épuration des Eaux Usées (STEP) est essentiel dans l'évaluation et le contrôle des échantillons d'eau et de boues tout au long du processus de traitement. Ses principales missions comprennent la surveillance continue de la qualité de l'eau, le suivi rigoureux des différentes étapes du traitement, la garantie du respect des normes réglementaires, ainsi que l'innovation par la recherche et le développement de nouvelles technologies. De plus, le laboratoire assure la maintenance des équipements nécessaires à ces analyses.

À la STEP de Sidi Bel Abbes, le laboratoire est équipé pour répondre aux exigences spécifiques du domaine de l'assainissement. Le personnel spécialisé en laboratoire et en télégestion collecte des données sur la nature des eaux usées et des eaux traitées grâce à l'analyse de divers paramètres. Ces informations sont stockées dans une base de données informatique, permettant un suivi précis. Les analyses courantes, telles que la Demande Biochimique en Oxygène (DBO5), la Demande Chimique en Oxygène (DCO), les Matières en Suspension (MES), ainsi que l'analyse de la siccité des boues, sont maîtrisées au sein de cette installation. Autres constituants : Local armoire, Local suppresseur, Poste de transformation, Répartiteur de débit.



Figure IV.18 : Laboratoire d'analyse de la STEP.

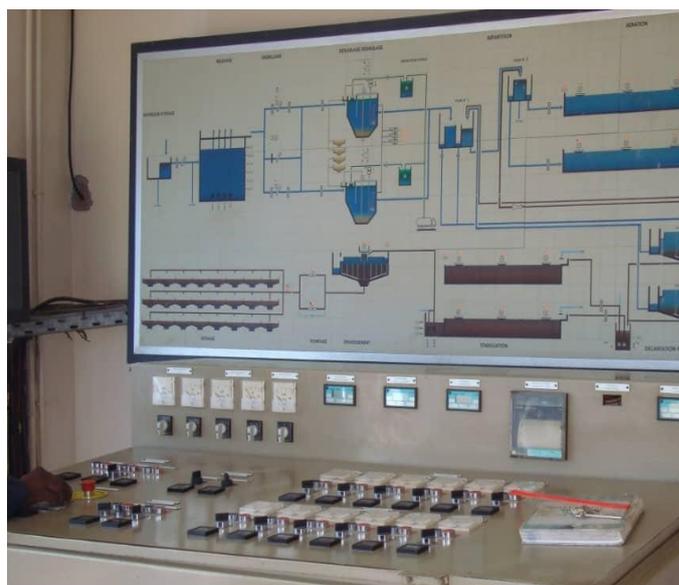


Figure IV.19 : Armoire de la télégestion.

IV.5 Évaluation des performances de la station de Sidi Bel Abbès :

Pour évaluer l'état de la station de Sidi Bel Abbès, surveiller ses performances dans le traitement des eaux usées destinées à l'irrigation, et identifier les problèmes existants, une analyse a été effectuée. Cette évaluation a porté sur les performances de la STEP, en se basant sur les valeurs moyennes mensuelles des composants physico-chimiques et microbiologiques des eaux usées entrantes et sortantes pour l'année 2023 (sauf le mois de janvier), comparant avec l'Annexe 01.

IV.5.1 Les résultats des analyses physico-chimiques et biologiques :

Tableau IV.8 : Résultats des analyses physico-chimiques des eaux usées à l'entrée et à la sortie de la STEP de Sidi Bel Abbès (2023) (source : STEP SBA,2024).

Paramètre	Unité	Moyenne E. Brute	Moyenne E. Traitée	Normes d'Irrigation Algériennes
pH	--	7.62	7.77	6.5 - 8.5
Température	°C	16.4	16.87	≤ 30
MES	mg/l	350.05	125.37	≤ 30
DBO5	mg/l	429.17	154.63	≤ 30
DCO	mg/l	860.52	135.77	≤ 90
NH4+	mg/l	102.02	101.78	≤ 30
NO3-	mg/l	0.45	0.41	/
NO2-	mg/l	0.19	0.27	/
PO4	mg/l	5.71	5.90	≤ 2
Conductivité	µS/cm	3575	2144.12	≤ 3000 ds/m
Oxygène dissous	mg/l	8.48	3.82	/

IV.5.1.1 Interprétation des résultats :

A. PH et Température :

Les valeurs du pH et de la température sont dans les limites acceptables pour l'irrigation, respectant les normes algériennes.

B. Matières en suspension (MES), DBO5, et DCO :

Les MES, la DBO5 et la DCO, bien qu'elles aient été significativement réduites après traitement, restent largement au-dessus des normes d'irrigation. La concentration en MES est particulièrement préoccupante, avec une valeur de 125.37 mg/l comparée à la limite de 30 mg/l.

C. Ammonium (NH₄⁺), Nitrates (NO₃⁻), Nitrites (NO₂⁻), et Phosphates (PO₄) :

Les concentrations en ammonium (NH₄⁺) n'ont pas été réduites de manière significative après traitement, restant très au-dessus des normes. De même, les phosphates (PO₄) dépassent la limite autorisée de 2 mg/l, atteignant 5.90 mg/l. Ces niveaux élevés représentent un risque de pollution pour les sols et les cultures.

D. Conductivité et Oxygène dissous :

La conductivité se situe dans une plage acceptable pour l'irrigation selon les normes algériennes. Cependant, la baisse de l'oxygène dissous après traitement pourrait indiquer une diminution de la qualité de l'eau.

IV.5.2 Les résultats des analyses microbiologiques (bactériologiques) :

Tableau IV.9 : Résultats des analyses bactériologiques de l'eau avant et après épuration à la STEP de Sidi Bel Abbès (2023) (source : STEP SBA,2024).

Paramètre	Unité	Moyenne E. Brute	Moyenne E. Traitée	Normes OMS
Flore totale	Germe/100 mL	9×10^7	7×10^4	--
Coliformes totaux	Germe/100 mL	332×10^5	232×10^4	$\leq 10^4$
Coliformes fécaux	Germe/100 mL	320×10^5	121×10^4	$\leq 2 \times 10^3$
Eschérichia colis	Germe/100 mL	15×10^2	9×10^2	--
Streptocoques totaux	Germe/100 mL	201×10^5	101×10^4	--
Streptocoques fécaux	Germe/100 mL	201×10^4	100×10^4	≤ 100
Clostridium sulfito-réducteur	Germe/100 mL	Indénombrable	+	ABS
Salmonelle	Germe/100 mL	+	ABS	ABS
Vibrio-colérique	Germe/100 mL	ABS	ABS	--

IV.5.2.1 Interprétation des résultats :

A. Flore totale et Coliformes totaux :

La réduction de la flore totale et des coliformes totaux après traitement reste insuffisante. Les coliformes totaux, bien qu'en diminution, excèdent toujours la norme OMS de 10^4 germes/100 mL, indiquant une efficacité de traitement insuffisante.

B. Coliformes fécaux et Streptocoques fécaux :

Les niveaux de coliformes fécaux et de streptocoques fécaux après traitement sont préoccupants. Les coliformes fécaux, en particulier, dépassent largement les normes OMS, ce qui représente un risque sanitaire majeur pour l'irrigation.

C. Clostridium sulfito-réducteur et Pathogènes spécifiques :

La présence de Clostridium sulfito-réducteur, même après traitement, indique un risque résiduel significatif de contamination. L'absence de Salmonelle et de Vibrio cholérique est un point positif, mais cela ne compense pas les autres insuffisances du traitement.

IV.5.3 Les problèmes identifiés :

- **Non-conformité aux normes d'irrigation et OMS :** Les analyses montrent que les eaux traitées ne respectent pas les normes d'irrigation pour plusieurs paramètres physico-chimiques et bactériologiques essentiels, rendant leur utilisation risquée pour l'irrigation agricole.
- **Efficacité incomplète du traitement :** La STEP actuelle ne parvient pas à réduire suffisamment certains contaminants chimiques (comme l'ammonium et les phosphates) et microbiologiques (comme les coliformes fécaux), ce qui pourrait limiter l'utilisation sécurisée des eaux traitées pour l'irrigation.
- **Risque de contamination du sol :** La migration potentielle des microorganismes pathogènes dans le sol, notamment dans les champs irrigués avec des eaux usées traitées, pourrait entraîner une contamination à long terme des cultures et des nappes phréatiques, nécessitant des mesures préventives renforcées.

IV.5.4 Recommandations :

A. Amélioration du traitement global :

- Il est essentiel d'améliorer l'efficacité du traitement physico-chimiques pour réduire les concentrations en MES, DBO5, DCO, ammonium, et phosphates, afin de respecter les normes d'irrigation et de garantir la sécurité environnementale.
- **Un traitement complémentaire**, incluant des procédés soit chimiques - utilisation du chlore (On note la présence d'un bassin de désinfection par chloration, mais il n'est pas opérationnel), ozonation - soit physiques - **rayonnements ultraviolets UV**, ultrafiltration. Ce traitement tertiaire est nécessaire pour éliminer efficacement les coliformes fécaux, les streptocoques fécaux, et d'autres microorganismes pathogènes.
- **La filtration rapide** pourraient être envisagées pour renforcer l'efficacité du traitement, notamment pour l'élimination des œufs de parasites et des germes résistants.

B. Surveillance et réévaluation :

Une surveillance régulière des paramètres physico-chimiques et bactériologiques de l'eau traitée est recommandée pour assurer la conformité aux normes et prévenir les risques pour l'environnement et l'agriculture. Il est suggéré de réévaluer les méthodes de traitement actuelles pour mieux contrôler les polluants persistants et les microorganismes pathogènes. L'ajout de procédés supplémentaires pourrait être nécessaire pour garantir une eau de qualité conforme aux normes d'irrigation.

IV.6 CONCLUSION :

Dans ce chapitre, nous avons mis en évidence l'importance de chaque étape de traitement, du prétraitement à l'élimination des boues, dans la station d'épuration à boues activées de Sidi Bel Abbès. Cette installation est essentielle pour le traitement des eaux usées, contribuant à une gestion efficace des ressources en eau et à l'amélioration de la qualité de vie locale. Cependant, les niveaux de DBO5, DCO, MES, ammonium, et phosphates dans l'eau épurée dépassent les normes requises pour l'irrigation. Pour rendre cette eau utilisable en agriculture, il est nécessaire d'introduire des traitements tertiaires spécifiques, comme indiqué dans les recommandations. Ces améliorations garantiront une eau conforme aux normes d'irrigation, tout en préservant l'environnement et en protégeant les cultures et les ressources en eau à long terme.



**CHAPITRE V : DIMENSIONNEMENT
D'EXTENSION DE LA STEP DE SBA
ET PROJECTION D'UN
TRAITEMENT TERTIAIRE**

V.1 INTRODUCTION :

Le dimensionnement des ouvrages d'extension de la STEP pour l'horizon 2054 est essentiel, où la consommation d'eau est directement liée à la croissance démographique, entraînant un rejet important d'eaux usées. Cette situation exige une planification soignée pour garantir une gestion améliorée des ressources en eau. Cette étude se concentre sur l'évaluation des débits domestiques projetés, le calcul des dimensions nécessaires des installations d'extension, et le bilan complet des ouvrages et installations de la STEP. Les résultats obtenus permettront de valider les choix de dimensionnement effectués pour répondre aux besoins futurs de manière efficace.

V.2 Détermination de la capacité hydraulique de la station :

Pour dimensionner la station d'épuration des eaux usées urbaines de Sidi Bel Abbès (SBA) en vue de l'horizon 2054, plusieurs hypothèses clés ont été retenues. Ces paramètres sont essentiels pour estimer la charge hydraulique que la station devra gérer et assurer ainsi une gestion efficace des eaux usées futures.

Tableau V.1 : Les hypothèses pour estimer la charge hydraulique .

Hypothèses	Description
Population projetée (2054)	Estimations démographiques pour l'année 2054
Consommation d'eau	Dotation fixée à (150 l/hab/j) pour les villes concernant : Sidi Bel Abbès, Sidi Lahcen, Amarnas et Telmouni (ONA Sidi Bel Abbès, 2024)
Taux de réduction des eaux usées	Égal à 80 % de la consommation totale
Réseaux d'assainissement	Achevés avec un taux de raccordement de la population de 97,33 %

V.2.1 Calcul des besoins en eau : [43]

- **Débit journalier domestique :**

Le débit journalier domestique est calculé en utilisant la formule suivante : où :

$$Q_{\text{dom}} = \frac{N \times D}{1000} \quad (\text{V. 1})$$

- N représente le nombre d'habitants.
- D est la dotation en litres par habitant par jour (l/hab/j).

Cette formule permet de déterminer la quantité totale d'eau utilisée quotidiennement par la population, exprimée en mètres cubes par jour (m³/j).

Tableau V.2 : Les calculs des débits d'eaux usées journaliers.

Région	Unité	Sidi Bel Abbès	Sidi Lahcen	Amarnas	Telmouni	Total
Population concernée par la STEP (2054)	Hab.	422 437	102 117	50 368	22 361	597 283
Dotation (à l'horizon 2054)	l/j/hab	150	150	150	150	150
Débit journalier (Horizon 2054)	m ³ /j	63 365,55	15 317,55	7 555,20	3 354,15	89 592,45

Le débit journalier domestique total est calculé en additionnant les débits des différentes régions :

$$Q_{\text{dom T}} = 63365.55 + 15317.55 + 7555.2 + 3354.15 = \mathbf{89592.45 \text{ m}^3/\text{j}}$$

- **Besoins des équipements :**

Les besoins en eau des équipements sont estimés à 10 % des besoins domestiques, et les eaux parasites représentent 5 %, soit un total de 15 % [44] :

$$Q_{\text{équipement}} = Q_{\text{dom T}} * 0.15 = \mathbf{13438.868 \text{ m}^3/\text{j}}$$

Le débit journalier total devient alors :

$$Q_j = Q_{\text{dom T}} + Q_{\text{équipement}} = \mathbf{103031.318 \text{ m}^3/\text{j}}$$

- **Débit de rejet :**

Le débit de rejet est calculé en tenant compte d'un coefficient de rejet de 80 % :

$$Q_{\text{rejet j}} = Q_j * \mathbf{80\%}$$

$$Q_{\text{rejet j}} = 103031.318 * 0.8 = \mathbf{82425.054 \text{ m}^3/\text{j}}$$

- **Débit de pointe en temps sec :**

Le débit de pointe en temps sec est déterminé par la formule :

$$Q_{\text{pts}} = Q_{\text{moy}} * C_p \tag{V. 2}$$

C_p : Coefficient de pointe

$$C_p = 1.5 + \frac{2.5}{\sqrt{Q_{\text{moy}}}} \text{ si } Q_{\text{moy}} > 2.8 \text{ l/s} \tag{V. 3}$$

$$C_p = 3 \text{ si } Q_{\text{moy}} < 2.8 \text{ l/s}$$

$$Q_{\text{moy}} = 953.994 \text{ l/s}$$

$$\text{débit durine : } Q_{\text{dur}} = \frac{Q_{\text{moy}}}{16} = 59.62$$

$$C_p = 1.581$$

$$Q_{\text{pts}} = 1508.265 \text{ l/s} = \mathbf{130314.05 \text{ m}^3/\text{j}}$$

- **Débit de pointe en temps de pluie :**

$$Q_{ptp} = (3 \div 5)Q_{pts}$$

$$\text{On prend : } Q_{ptp} = 3 * Q_{pts}$$

$$Q_{ptp} = 3 * 130314.05 = \mathbf{390942.15 \text{ m}^3/\text{j}}$$

- **Débit de l'extension :**

Tableau V.3 : Les donnes de la STEP existante (ONA,SIDI BEL ABBES).

Horizon(2023)	Débit moyen (m ³ /j)	Équivalent habitant
STEP SBA	28000	220 000

Le débit de l'extension sera calculé selon la formule suivante :

Débit de la future STEP = Débit Horizon(2054) - Débit existant

Donc : les débits de l'extension seront :

$$Q_{j \text{ Extension}} = Q_{j2054} - Q_{j \text{ base}} = 82425.054 - 28000 = \mathbf{54425.054 \text{ m}^3/\text{j}}$$

$$Q_{pts \text{ Extension}} = Q_{pts 2054} - Q_{pts \text{ base}} = 130314.05 - 45891.96 = \mathbf{84422.09 \text{ m}^3/\text{j}}$$

$$Q_{pts \text{ Extension}} = \mathbf{84422.09 \text{ m}^3/\text{j}}$$

$$Q_{ptp \text{ Extension}} = 3 * 84422.09 = \mathbf{253266.27 \text{ m}^3/\text{j}}$$

- **Détermination du nombre d'équivalent habitants (N_{EH}) :**

Le nombre d'équivalents habitants (N_{EH}) est déterminé par la formule :

$$N_{EH} = \frac{Q_{rejet j}}{D \times 0.8}$$

Pour l'extension 2054 :

$$N_{EH(2054)} = \frac{54425.054 \times 1000}{150 \times 0.8} = \mathbf{453543 \text{ EH}} \quad (\text{V. 4})$$

- **Détermination des charges polluantes:**

D'après les analyses on a :

$$\text{- DB05} = 429.17 \text{ mg/l} \quad \text{- DCO} = 860.52 \text{ mg/l}$$

$$\text{- MES} = 350.05 \text{ mg/l} \quad \text{- NTK} = 102.02 \text{ mg/l}$$

Les charges polluantes pour l'extension sont déterminées en suivante :

$$C_{DB05} = 429.17 \times 10^{-3} \times 54425.054 = \mathbf{23357.60 \text{ kg/j}}$$

$$C_{MES} = 350.05 \times 10^{-3} \times 54425.054 = \mathbf{19051.49 \text{ kg/j}}$$

$$C_{DCO} = 860.52 \times 10^{-3} \times 54425.054 = \mathbf{46833.85 \text{ kg/j}}$$

$$C_{NTK} = 102.02 \times 10^{-3} \times 54425.054 = \mathbf{5552.44 \text{ kg/j}}$$

Les résultats totaux sont résumés dans le tableau ci-dessous, qui présente les données de base pour l'état actuel et l'extension prévue :

Tableau V.4 : les données de base pour l'état actuel en 2024 et l'extension 2054.

Paramètre	Unité	État actuel (2024)	Extension (2054)
Type de réseau	--	Unitaire	Unitaire
Charges hydrauliques			
Équivalent habitant (E.H)		220 000	453 543
Débit journalier	m ³ /j	28 000	54 425,054
Débit horaire	m ³ /h	1 166,67	2 267,711
Débit de pointe (temp sec)	m ³ /j	45 891,96	84 422,09
Charges polluantes			
DBO5	Kg/j	12 016,76	23 357,60
M.E.S	Kg/j	9 801,40	19 051,49
NTK	Kg/j	2856.56	5552.44
DCO	Kg/j	24 094,56	46 833,85

La différence marquée entre les données de base actuelles et celles prévues pour l'extension confirme clairement la nécessité d'agrandir la station.

V.3 Dimensionnement des ouvrages :

Puisque on vas dimensionner les ouvrages d'extension on a pas besoin d'un prétraitement (dégrillage , dessablage – déshuilage) ou le prétraitement existant dans la station est largement suffisant.

V.3.1 Ouvrages de traitement primaire :

V.3.1.1 Décanteur primaire :

La forme circulaire est économiquement avantageuse pour le dimensionnement du décanteur primaire.

- **Vitesse limite de chute :**

La vitesse limite de chute est calculée selon la relation suivante :

$$V_{lim} = \frac{Q_{pts}}{S_h} (m/h) \quad (V. 5)$$

où :

- Q_{pts} : Débit de pointe par temps sec.
- S_h : Surface horizontale du décanteur.

Paramètres de Dimensionnement :

Temps de séjour : Entre 1 et 3 heures.

Hauteur d'eau : Minimum de 2 m.

Vitesse limite : Pour un réseau unitaire, la vitesse limite est déterminée en fonction du

rapport : $\frac{Q_{pts}}{Q_{moyh}}$

Tableau V.5 : Vitesse limite en fonction du rapport K.

K = Q_{pts}/ Q_{moyh}	2,5	3	5	8	10
V_{lim}(m/h)	2	2,5	3,75	5	6

Les débits sont :

Q_{moyh} = 2267.711 m³/h

Q_{pts} = 3517.58 m³/h

Le rapport K est calculé par :

$$K = \frac{Q_{pts}}{Q_{moyh}} = \frac{3517.58}{2267.711} = 0.65 \quad (\text{V. 6})$$

D'après le tableau V.10, la vitesse limite de chute est **V_{lim} = 2 m/h**.

- **Surface horizontale du décanteur :** $Sh = \frac{Q_{pts}}{V_{lim}} = \frac{10551.6}{2} = 5275.8 \text{ m}^2 \quad (\text{V. 7})$

- **Volume du décanteur :**

Pour un temps de séjour (T_s = 1.5 , h) :

$$V_{dec} = Q_{pts} \times T_s = 10551.6 \times 1.5 = 15827.4 \text{ m}^3 \quad (\text{V. 8})$$

Prévoir deux décanteurs, chacun ayant un volume de (7913.7 m³).

- **Hauteur du décanteur :** $H = \frac{V_{dec}}{Sh} = \frac{15827.4}{5275.8} = 3 \text{ m} \quad (\text{V. 9})$

- **Diamètre du décanteur :** $D = \sqrt{\frac{4 \times Sh}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 5275.8}{\pi}} = 81.959 \text{ m} \quad (\text{V. 10})$

- **Temps de séjour :**

$$T_s = \frac{V_{dec}}{Q_{pts}} = \frac{15827.4}{10551.6} = 0.06250 \text{ jour} = 1.5 \text{ h} \quad (\text{V. 11})$$

Tableau V.6 : Dimensions du décanteur primaire.

Paramètres	Unité	Valeur
Nombre d'ouvrages	/	2
Volume V	m ³	15827.4
Volume Unitaire	m ³	7913.7
Hauteur H	m	3
Surface horizontale Sh	m ²	5275.8
Surface unitaire	m ²	2637.9
Diamètre D	m	81.959
Temps de séjour TS	h	1.5

Tableau V.7 : Bilan de charges polluantes dans l'étape de traitement primaire.

Polluant	Charge entrante (Kg/j)	Pourcentage d'élimination (%)	Charge éliminée (Kg/j)	Charge sortante (Kg/j)
DBO5	23357.60	35	8175.16	15182.44
DCO	46833.85	35	16391.85	30442
MES	14479.13	60	8687.48	5791.65

V.3.2 Ouvrages de traitement secondaire :

V.3.2.1 Bassin d'aération :

- **Calcul du rendement d'élimination :**

Le rendement d'élimination (R) est déterminé par le taux d'élimination de la DBO5. La formule est la suivante :

$$R = \left(\frac{[DBO5_e] - [DBO5_s]}{[DBO5_e]} \right) \times 100 \quad (\text{V. 12})$$

où :

- $[DBO5_e]$ est la concentration en DBO5 à l'entrée du bassin ($15182.44 \text{ kg/j} = 278.96 \text{ mg/l}$).
- $[DBO5_s]$ est la concentration en DBO5 à la sortie du bassin, fixée à 30 mg/l selon la norme du Journal Officiel Algérien 2012.

$$Le : (DBO_5)_{\text{éliminer}(2054)} = (278.96 - 30) * 54425.054 * 10^{-3} = 13549.66 \text{ Kg/j}$$

Calcul du rendement :

$$R = \left(\frac{278.96 - 30}{278.96} \right) \times 100 = 89.25\%$$

On adopte (R = 90%).

• **Les dimensions du bassin d'aération :**

Calcul du volume du bassin d'aération :

Le volume du bassin est déduit de la charge volumique C_v . La station de Sidi Bel Abbes c'est une station d'épuration par boues activées à moyenne charge.

Tableau V.8 : Classes du procédé du traitement biologique à boue activée [43].

Type	C_v (kg DBO ₅ /m ³ .j)	C_m (Kg DBO ₅ /Kg MVS.j)	Rendement DBO ₅ (%)
Faible charge	0.3 – 0.8	0.1 – 0.2	>90
Moyenne charge	0.8 – 1.8	0.2 -0.5	90
Forte charge	1.8	0.5 – 1	80-90

En prenant $C_v = 1.3 \text{ kgDBO}_5/\text{m}^3 \cdot \text{j}$, nous trouvons C_m par itérations.

$$V_{\text{Bassin}} = \frac{[DBO_5]_e}{C_v} = \frac{15182.44}{1.3} = 10422.82 \text{ m}^3 \quad (\text{V. 13})$$

La station comprend 2 unités de bassin d'aération, donc le volume par unité est :

$$V_{\text{unité}} = \frac{10422.82}{2} = 5211.41 \text{ m}^3$$

Calcul de la surface horizontale d'une unité de bassin :

La hauteur de béton est fixée à (H = 5.82 m). La surface horizontale est calculée par:

$$S_h = \frac{V_{\text{unité}}}{H} = \frac{5211.41}{5.82} = 895.43 \text{ m}^2 \quad (\text{V. 14})$$

$$B = \frac{S_h}{L} = \frac{895.43}{49.5} = 18.08 \text{ m} \approx 18 \text{ m} \quad (\text{V. 15})$$

Calcul du temps de séjour :

Le temps de séjour T_s est donné par : $T_s = \frac{V_{\text{Bassin}}}{Q_p} = \frac{10422.82}{2.931} \approx 3 \text{ h}$

Tableau V.9 : Résultat de dimensionnement du bassin d'aération.

Paramètres	Unité	Valeur
Nombre d'ouvrages	/	2
Volume V	(m ³)	10422.82
Volume Unitaire	(m ³)	5211.41
Hauteur H	(m)	5.82
Surface horizontale Sh	(m ²)	895.43
Surface unitaire	(m ²)	447.715
Largeur B	(m)	18
Longueur L	(m)	49.5
Temps de séjours TS	(h)	3

V.3.2.2 Masse et concentration des boues :

- **Calcul de la masse des boues dans le bassin :**

La masse des boues X_t est calculée par :

$$X_t = \frac{Q_0 \times S_0}{C_m} = \frac{15182.44 \times 0.35}{0.35} = 43378.4 \text{ kg} \quad (\text{V. 16})$$

- Q_0 : débit de l'effluent à traiter.
- S_0 : concentration de DBO₅.
- X_t : masse de la boue en kg en MVS.

- **Calcul de la concentration des boues dans le bassin :**

La concentration des boues $[X_a]$ est : $[X_a] = \frac{X_t}{V_{\text{Bassin}}} = \frac{43378.4}{10422.82} = 4.1 \text{ kg MVS/m}^3$

V.3.2.3 Le bassin d'anoxie :

$$V_{\text{anoxie}} = \frac{N_{a \text{ nitrifier}}}{X_a \times \nu_{\text{dén}}} \quad (\text{V. 17})$$

V_{anoxie} : Volume du bassin d'anoxie (m³)

$N_{a \text{ nitrifier}} = \text{NTK}_{\text{entrée}} - \text{NTK}_{\text{assimilé}} - \text{NTK}_{\text{rejeté}}$

$N_{a \text{ nitrifier}}$: Quantité à nitrifier

$\text{NTK}_{\text{entrée}}$: Charge azote KJELDAHL apportée par l'eau brute

: Charge azote KJELDAHL assimilée essentiellement par les bactéries, avec

$\text{NTK}_{\text{assimilé}} = 5\% \text{ DBO}_5$ éliminée dans le bassin biologique

$\text{NTK}_{\text{rejeté}}$: Charge azote KJELDAHL rejetée avec l'eau épurée

X_a : masse de la boue en kg en MVS

$v_{\text{denitrification}}$: Vitesse de la réaction de dénitrification (g $\text{NO}_3/\text{kg MVS.h}$)

- $C_d = 3,25 \times 1,02(T - 20)$ (formule constructeur X)
- $C_d = 3,33 \times 1,047(T - 20)$ (formule constructeur Y)
- $C_d = f(\text{NTK}/\text{DBO}_5)$ (Cf. ci-après)

Tableau V.10 : Vitesses de dénitrification exogène en fonction du rapport NTK/DBO_5 .

NTK/DBO5	Cd
>0.5	1.7
0.4 – 0.5	2.1
0.3 – 0.4	2.4
0.2 – 0.3	2.7
<0.2	3

D'après le chapitre III on sait que : La température moyenne minimale : $T_{\text{min}} = 10.5 \text{ }^\circ\text{C}$

X : $C_d = 2,77 \text{ g N-NO}_3/\text{kg MVS/h}$

Y : $C_d = 2,31 \text{ g N-NO}_3/\text{kg MVS/h}$

$C_d = f(\text{NTK}/\text{DBO}_5)$: $C_d = 2,4 \text{ g N-NO}_3/\text{kg MVS/h}$

Retenons (arbitrairement !) une valeur moyenne de $2,5 \text{ g N-NO}_3/\text{kg MVS/h}$.

On a : $\text{NTK}_{\text{entrée}} = 102.02 \text{ mg/l} = 5552.44 \text{ Kg/j}$

$\text{NTK}_{\text{assimilé}} = 0.05 \times 13549.66 = 677.48 \text{ Kg/j}$

$\text{NTK}_{\text{rejeté}} = 30 \text{ mg/l} = 1632.75 \text{ kg/j}$ (**Norme algérienne**)

$N_{a \text{ nitrifier}} = 7735.98 - 677.48 - 1632.75 = 3242.21 \text{ Kg/j}$

$V_{\text{anoxie}} = \frac{3242.21 \times 1000}{4.1 \times 2.5 \times 24} = \mathbf{6232.84 \text{ m}^3}$

$V_{\text{anoxie unit}} = \frac{22055.9}{4} = \mathbf{1558.21 \text{ m}^3}$

On va garder la même hauteur et longueur pour trouver B

$$\frac{V_{\text{anoxie}}}{V_{B.A}} = \frac{3116.423}{10422.82} = \mathbf{29 \%} \quad (\text{V. 18})$$

Cet ordre de grandeur est communément rencontré !

Tableau V.11 : Résultat de dimensionnement du bassin d'anoxie

Paramètres	Unité	Bassin d'anoxie
Volume V	(m ³)	6232.84
Volume Unitaire	(m ³)	1558.21
Hauteur H	(m)	5.82
Surface horizontale S _h	(m ²)	219.65
Surface unitaire	(m ²)	109.82
Largeur B	(m)	18
Longueur L	(m)	14.87

V.3.2.4 Besoins en Oxygène : [43]

- **Calcul des besoins en oxygène :**

Les besoins en oxygène sont déterminés par la relation suivante :

$$q(O_2) = a' \times L_e + b' \times X_t + 4.3 \times N_n - 2.85 \times c' \times N_{dn} \quad (\text{V. 19})$$

- **N_{nit}** : quantité d'azote à nitrifier (Kg/j)
- **N_{dénit}** : quantité d'azote à dénitrifier (Kg/j).
- **C'** : Fraction de l'oxygène des nitrates récupérée par dénitrification (entre 60-70%). En moyenne 70%. Coefficient cinétique de respiration.
- **q(O₂)** : Besoin en oxygène (kg O₂/j).
- **L_e** : Charge (DBO₅) éliminée (kg/j) par le bassin d'aération.
- **X_t** : Masse totale des boues dans le bassin d'aération (kg).
- **a'** et **b'** : Coefficients déterminés expérimentalement à 20°C.
- **a'** : Besoin pour la synthèse de la biomasse.
- **b'** : Besoin pour la respiration.

Tableau V.12 : Valeurs de a' et b' en fonction du type du charge massique [43].

Charge massique	a'	b'
0.09	0.66	0.06
0.1	0.65	0.07
0.15	0.63	0.075
0.2	0.59	0.080
0.3	0.56	0.085
0.4	0.53	0.09
0.5	0.50	0.7 à 1.2

D'après le tableau, avec $C_m = 0.35 \text{ kg DBO}_5 / \text{kg MVS} \cdot \text{j}$ (Tableau V.13), on a :

$$a' = 0.545 \text{ et } b' = 0.0875$$

$$\text{et } N_{\text{dénitrifier}} : N_{\text{à nitrifier}} - NNO_3_{\text{rejet}} \text{ avec : } NO_3_{\text{rejet}} = 0.45 \cdot 54\,425,054 \cdot 0.001 = 24.49 \text{ Kg/j}$$

$$q(O_2) = (0.545 \cdot 13549.66) + (0.0875 \cdot 43378.4) + 4.3 \cdot 3242.21 - 2.85 \cdot 0.7 \cdot 24.49 \\ = 25072.82 \text{ kg } O_2/\text{j}$$

$$\text{Quantité d'oxygène horaire: } q(O_2)_h = \frac{q(O_2)}{24} = \frac{25072.82}{24} = 1044.70 \text{ kg } \frac{O_2}{h}$$

$$\text{Quantité d'oxygène pour } 1\text{m}^3 \text{ de bassin : } q\left(\frac{O_2}{\text{m}^3}\right) = \frac{q(O_2)}{V_{\text{Bassin}}} = \frac{25072.82}{10422.82} = 2.4 \text{ kg } O_2/\text{m}^3 \cdot \text{j}$$

$$\text{Quantité d'oxygène nécessaire en cas de pointe: } q(O_2)_{\text{pointe}} = \frac{a' \cdot L_e}{T_d} + \frac{b' \cdot X_t}{24}$$

Avec T_d : Période diurne en heures $T_d = 16 \text{ h}$

$$q(O_2)_{\text{pointe}} = 619.686 \text{ kg } O_2/\text{h}$$

Le besoin réel en oxygène :

On procède à calculer le besoin réel qui est le besoin de pointe multiplié par les correcteurs α et β

$$q(O_2)_{\text{réel}} = \frac{q(O_2)_{\text{pointe}}}{\alpha \cdot \beta} \quad (\text{V. 20})$$

- α : coefficient fonction de la nature physico-chimique des eaux et du mode d'aération
- β : coefficient qui dépend de la salinité des eaux mais aussi, dans une plus large mesure, des différentes impuretés contenues dans ces eaux.

Pour notre cas on prend : $\alpha = 0.8$ et $\beta = 0.8$

$$q(O_2)_{\text{réel}} = 968.26 \text{ Kg } O_2/\text{h}$$

• **Calcul de la puissance de brassage :**

La puissance nécessaire pour le brassage E_b est :

$$E_b = S_h \times P_a$$

- E_b : Puissance nécessaire pour le brassage en (w)

- S_h : Surface horizontale du bassin (m²).
- P_a : puissance absorbée par m² du bassin (70 à 80 w/m² on prend $P_a = 75$ w/m²)

$$E_b = 895.43 \times 75 = 67,200 \text{ W} = 67.2 \text{ kW}$$

Calcul de la puissance de l'aération nécessaire : $E_n = \frac{q(O_2)_{\text{réel}}}{E_a}$ (V. 21)

où E_a est la quantité d'O₂ par unité de puissance (1.5 kg O₂/kWh) :

$$E_n = \frac{968.26}{1.5} = 645.51 \text{ kW}$$

Nombre d'aérateurs : $N_a = \frac{E_n}{E_b} = \frac{645.51}{67.2} = 9.60$

On adopte 10 aérateurs de surface ; 5 aérateur chaque bassin.

Tableau V.13 : Récapitulatif des calculs (de la masse des boues jusqu'a nombre d'aérateurs).

Paramètre	Unité	Valeur
[Xa]	(kg MVS /m ³)	4.1
Xa	(kg MVS)	43378.4
q(O ₂)	(kg O ₂ /J)	11180.17
q(O ₂)h	(kg O ₂ /h)	465.84
q(O ₂)/m ³	(kg O ₂ /m ³ j)	1.073
q(O ₂) pts	(kg O ₂ /h)	619.686
q(O ₂) réel	(kg O ₂ /h)	968.26
E _b	(kW/m ²)	67.2
E _n	(kW)	645.51
N _a	--	10

V.3.2.5 Bilan des Boues :

- **Quantité de boues en excès :**

La quantité de boues en excès, notée ΔX , est la masse à extraire quotidiennement pour maintenir le système en équilibre. Elle est calculée comme suit :

$$\Delta X = (a_m \times L_e) + X_{min} + X_{dur} - (b \times X_t) - X_{eff}$$

- **am** : Coefficient de rendement cellulaire ($0.53 < a_m < 0.56$)
- **Le** : Quantité de DBO5 éliminée (13549.66 kg/j)
- **Xmin** : Boues minérales (30% de MESs), avec MESs à la sortie du décanteur primaire = 5791.65 kg/j
- **Xdur** : Boues difficilement biodégradables (30 à 35% de MVS)
- **b** : Fraction de la masse cellulaire éliminée par jour en respiration endogène, calculée par $b = 1.44 / b'$ avec $b' = 0.0875$, donc $b = 0.06$
- **Xt** : Masse totale journalière de MVS dans le bassin = 43378.4 kg
- **Xeff** : Boues sortantes avec l'effluent de DBO5 = 30 mg/l

Tableau V.14 : Calcul de la quantité de boues.

Paramètre	Formule	Valeur
Xmin (kg/j)	$0.3 \times \text{MESs}$	1737.5
Xdur (kg/j)	$0.3 \times \text{MVS} (=0.7 \times 5791.65 = 4054.15)$	1216.24
b × Xt	$0.06 \times X_t$	2602.704
am × Le	$0.55 \times L_e$	7452.31
Xeff	$30 \times 10^{-3} \times Q_j$	1632.75
ΔX (kg/j)	-	6170.59

- **Concentration de boues en excès :**

La concentration des boues en excès, notée X_m , est calculée par : $X_m = \frac{1200}{I_m}$

I_m : L'indice de Mohlman.

$C_m = 0.35$ donc on prend $I_m = 120 \text{ mg/l}$:

$$X_m = \frac{1200}{120} = 10 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

- Débit de boue en excès :

Le débit de boue en excès, noté Q_{ex} , est :

$$Q_{ex} = \frac{\Delta X}{X_m} = \frac{6170.59}{10} = 617.06 \frac{\text{m}^3}{\text{j}} \quad (\text{V. 22})$$

- Débit spécifique :

Le débit spécifique par m^3 de bassin, noté q_{sp} , est :

$$q_{sp} = \frac{\Delta X}{V} = \frac{6170.59}{10422.82} = 0.592 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3 \cdot \text{j}} \quad (\text{V. 23})$$

- Débit des boues recyclées :

On a :

$$R = \frac{100 \times [X_a]}{\frac{1200}{\text{Im}} - [X_a]} \quad (\text{V. 24})$$

Avec $[X_a] = 4.1 \text{ kg/m}^3$ et $\text{Im} = 120 \text{ mg/l}$: $R = \frac{100 \times 4.1}{\frac{1200}{120} - 4.1} = 70\%$

Le débit des boues recyclées, noté Q_R , est :

$$Q = \frac{R \times Q_j}{100} = \frac{70 \times 54425.054}{100} = 38097.54 \text{ m}^3/\text{j}$$

- Âge des boues :

L'âge des boues, noté A_b , est donné par :

$$A_b = \frac{X_a}{\Delta X} \quad (\text{V. 25})$$

Avec $X_a = 43378.4 \text{ kg}$ et $\Delta X = 6170.59 \text{ kg/j}$:

$$A_b = \frac{43378.4}{6170.59} \approx 7 \text{ jours et 1 heure}$$

Tableau V.15 : Résultats du bilan des boues.

Paramètre	Unité	Valeur
Q_{excès}	m ³ /j	617.06
q_{sp}	kg/m ³ /j	0.592
R	%	70
Q_R	m ³ /j	38097.54
Ab	jours	7 j et 1 h

V.3.2.6 Décanteur secondaire (clarificateur) :

Nous adopterons une vitesse ascensionnelle de 0,8 m/h au débit de pointe en temps sec. La surface du décanteur est calculée comme suit :

$$S = \frac{Q_p}{v_{asc}} \quad (\text{V. 26})$$

où :

- **Q_p** est le débit de pointe en temps sec.
- **v_{asc}** est la charge hydraulique en m³/m²/h.

$$S = \frac{3517.56}{0.8} = 4396.95 \text{ m}^2 \approx 4397 \text{ m}^2$$

L'efficacité de la décantation dépend de la charge hydraulique et du temps de séjour. Pour assurer une performance adéquate, une hauteur minimale de 3 m est nécessaire. Avec une profondeur de 4 m, le volume du décanteur est : $V = S \times H = 4396.95 \times 4 = 17588 \text{ m}^3$

Le temps de séjour est calculé comme suit :

$$t_s = \frac{V}{Q_{pts}} = \frac{17588}{3517.56} = 3.47 \text{ h} \quad (\text{V. 27})$$

Nous adopterons deux clarificateurs, chacun avec un volume unitaire de 8794 m³ et une surface unitaire de 2198.5 m². Le diamètre unitaire est :

$$D_u = \sqrt{\frac{4 \times S_u}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 2198.5}{3.14}} = 52.9 \text{ m} \quad (\text{V. 28})$$

Tableau V.16 : Les dimensions du clarificateur.

Paramètres (2 ouvrage)	Unité	Valeur
Volume V	m ³	17588
Volume Unitaire Vu	m ³	8794
Hauteur H	m	4
Surface Horizontale Sh	m ²	4397
Surface Unitaire Su	m ²	2198.5
Diamètre D	m	52.9
Temps de Séjour ts	h	3.47

Tableau V.17 : Bilan de charges polluantes dans l'étape de traitement biologique.

Polluant	Charge Entrante (Kg/j)	Pourcentage d'Élimination (%)	Charge Éliminée (Kg/j)	Charge Sortante (Kg/j)
DBO5	15182.44	90	13664.19	1518.25

V.3.3 Ouvrages de traitement tertiaire :

Après que l'eau ait traversé les différentes étapes de traitement (dégrillage, traitement primaire, traitement biologique et clarification), il se peut qu'elle ne soit pas suffisante pour éliminer certains polluants résiduels tels que l'azote et le phosphore, ou des organismes microscopiques et microbiens comme les coliformes fécaux et totaux. Surtout que le traitement au chlore de notre station est actuellement suspendu et que l'eau de cette station est destinée à l'irrigation, elle doit donc être conforme aux normes d'irrigation algériennes. Pour cela, après l'analyse d'eau, nous avons décidé de proposer comme traitement tertiaire :

V.3.3.1 Filtre à sable rapide :

Les systèmes de filtration tertiaire sont capables d'éliminer la plupart des solides en suspension, assurant ainsi un bon fonctionnement pour l'étape de désinfection. De plus, les quantités de nutriments tels que le phosphore et l'azote sont également réduites de manière significative, limitant les phénomènes d'eutrophisation.

Le filtre à sable est efficace aussi pour traiter une DCO difficile (élimination de 75%) et permettant d'obtenir de l'eau épurée conforme aux normes requises pour une réutilisation en agriculture.

Remarque : Les filtres à sable lents nécessitent des surfaces plus importantes.

• **Dimensionnement du filtre à sable :**

Un filtre à sable gravitaire est retenu, avec les critères de conception suivants [47] :

- Matériaux : Béton
- Vitesse de filtration : 7 m/h à 20 m/h ($V = 15$ m/h)
- Hauteur d'eau au-dessus du lit filtrant : 1 à 1.2 m
- Hauteur de matériau filtrant homogène : 0,8 à 1,5 m ($H_{lit} = 1.5$ m)
- Taille effective du matériau filtrant : 0,95 mm ou 1,35 mm (fourchette extrême : 0,7 mm et 2 mm)
- Lavage simultané à l'air et à l'eau
- Hauteur de filtre : 3 à 4 m ($H_{filtre} = 3$ m)

Les débits mis en œuvre sont les suivants :

- Débit de retour d'eau filtrée de lavage : 7 m³/h.m²
- Débit d'air de lavage : 50 à 60 m³/h.m²
- Débit de balayage : 5 m³/h.m²
- Débit de rinçage : 15 m³/h.m²

Compte tenu des temps de manœuvre des vannes, le lavage dure 10 à 12 minutes et se termine par le remplissage du filtre jusqu'à son niveau normal de filtration.

Surface du lit de sable :

$$S_{lit} = \frac{Q}{V} = \frac{253266.27}{24 \times 15} = 703.52 \text{ m}^2$$

Volume du bassin : $V_{filtre} = S_{lit} \times H_{filtre} = 703.52 \times 3 = 2110 \text{ m}^3$

Hauteur du lit de sable :

Pour cette étude, on prend $H = 1.5$ m.

Granulométrie :

La taille effective du matériau filtrant est généralement de 0,95 mm ou 1,35 mm (fourchette extrême : 0,7 mm et 2 mm).

Pertes de charge (SUEZ) :

On peut estimer la valeur des pertes de charges par la loi de Darcy ou la formule de Kozeny-Carman, mais la formule d'Ergun est plus générale car elle s'applique à tous les régimes hydrauliques :

$$\frac{\Delta P}{H} = \frac{150\mu(1-c)^2v}{d_p^2c^3} + \frac{1.75\rho(1-c)v^2}{d_pc^3} \quad (\text{V. 29})$$

Avec :

- ΔP : Perte de charge (m)
- H : Hauteur du lit de sable
- v : Vitesse de filtration (m/s)
- d : Diamètre moyen des particules (m)
- ρ : Masse volumique du sable (kg/m^3), ici $\rho = 2600 \text{ kg/m}^3$
- μ : Viscosité dynamique de l'eau à 20 °C (Pa.s)
- c : Porosité initiale du lit

Tableau V.18 : Propriétés du lit de filtration.

Paramètre	d (mm)	ρ (kg/m^3)	μ (Pa.s)	c	H (m)
Valeur	0.95	2600	10^{-3}	0.5	1.5

$$\Delta P = 1576.93 \text{ Pa}$$

$$\Delta H = \frac{\Delta P}{\rho g} = \frac{1576.92}{9.81 \times 10^3} = 0.16 \text{ m} \quad (\text{V. 30})$$

• **Rétro-Lavage :**

Au fur et à mesure de la filtration, les particules retenues entraînent un colmatage du lit de filtration, augmentant les pertes de charge et réduisant l'efficacité du procédé. Une fois qu'une perte de charge significative est atteinte, il est essentiel de procéder à un rétro-lavage. Cette étape vise à fluidifier le lit de sable en injectant de l'eau et de l'air à contre-courant, favorisant la séparation des particules et augmentant la porosité du milieu. Les grains de sable, ayant une vitesse de sédimentation plus faible que les petites particules retenues, sont emportés vers la surface. Ces particules en suspension sont recueillies dans l'eau de lavage par une goulotte placée au-dessus du lit de sable.

Tableau V.19 : Caractéristiques des fluides du rétro-lavage.

Fluide	Masse Volumique à 20 °C (ρ_f) (kg/m^3)	Viscosité Dynamique à 20 °C (Pa.s)
Eau	1000	10^{-3}
Air	1204	1.85×10^{-5}

Perte de charge du Média Filtrant (SUEZ) :

La perte de charge du média filtrant est calculée selon la formule suivante :

$$\Delta P = H * g * (1 - c_{li}) * (\rho_p - \rho_f) \quad (V. 31)$$

Où :

- **H** : Hauteur du lit de sable (m)
- **ΔP** : Perte de charge engendrée par le média filtrant (m)
- **c_{lit}** : Porosité initiale du lit filtrant

a. Perte de charge de l'eau du média filtrant :

$$\Delta P_{\text{eau}} = 1.5 * 9.81 * (1 - 0.5) * (2600 - 1000) = 11772 = \mathbf{1.2 \text{ m}}$$

b. Perte de charge de l'air du média filtrant :

$$\Delta P_{\text{air}} = 1.5 * 9.81 * (1 - 0.5) * (2600 - 1.204) = \mathbf{1.94 \text{ m}}$$

Deux bassins de filtration sont prévus pour des raisons d'exploitation, notamment pour le lavage et l'entretien des filtres.

Tableau V.20 : Dimensions du filtre à sable rapide.

Paramètres	Unité	Horizon 2054
Unité	–	2
Volume unitaire	m ³	2110
Surface unitaire	m ²	703
Longueur (L)	m	30
Largeur (B)	m	23.4
Hauteur (H)	m	3
Vitesse de filtration	m/h	15
Perte de charge	m	0.16

V.3.3.2 Bassin de Rayonnement par ultra violet (UV) :

Les générateurs ultraviolets peuvent être placés soit dans un canal, soit dans un ou plusieurs modules métalliques cylindriques.

Un dispositif mesurant l'intensité du rayonnement émis déclenche une alarme en cas de dysfonctionnement.

Remarque : l'appareil doit fournir une dose de rayonnement UV minimale de 16 mWs/cm² au point le plus éloigné de la chambre de contact quel que soit le débit entrant et la qualité de l'eau à désinfecter.

Le rayonnement ultraviolet (UV) est utilisé pour la désinfection des eaux usées en raison de son efficacité rapide. Le temps d'exposition nécessaire est très court, ne dépassant pas une minute. Pour une durée d'exposition de 30 secondes, le volume du bassin correspondant est calculé en utilisant les formules suivantes :

- **Calcul de la dose d'UV :**

La dose d'UV, exprimée en mJ/cm², est déterminée par :

$$\text{DoseUV} = \text{Débit d'eau à traiter (en L/min ou m}^3\text{/h)} \times \text{Temps d'exposition (en minutes)} \times \frac{10}{\text{Transmittance(\%)}}$$

Pour un débit de 37 795,17 L/min et une transmittance de 80 % :

$$\text{Dose UV} = 37795.17 \text{ l/min} * 1 \text{ min} \times 10 / 80\% = \mathbf{4724.3963 \text{ mJ/cm}^2}.$$

L'intensité d'UV, en mW/cm², se calcule par :

$$\text{Intensité UV} = \text{Dose de désinfection (mJ/cm}^2\text{)} / \text{Temps de contact (en secondes)}$$

En utilisant la dose calculée précédemment :

$$\text{Intensité UV} = 4724.3963 / 60 = \mathbf{78.74 \text{ mW/cm}^2}$$

- **Calcul de la surface d'exposition aux UV :**

La surface d'exposition aux UV, en cm², est déterminée par :

$$\text{Surface d'exposition UV(cm}^2\text{)} = \text{Débit d'eau usée(enL/h)} / (\text{Intensité UV requise (en mW/cm}^2\text{)} * \text{Transmission UV de l'eau usée}).$$

Pour un débit de 2 267 710,2 L/h, une intensité de 78,74 mW/cm², et une transmission UV de 0,8 :

$$\text{Surface d'exposition} = 2267710.2 \text{ l/h} / (78.74 \text{ mW/cm}^2 * 0,8) = \mathbf{35999.9 \text{ cm}^2} \approx 36000 \text{ cm}^2$$

- **Calcul du volume du réacteur UV :**

$$\text{Volume} = 36000 \text{ cm}^2 \times 150 \text{ cm} = \mathbf{5400000 \text{ cm}^3}$$

$$\text{Volume} = 5400000 \text{ cm}^3 \div 1,000,000 = \mathbf{5.4 \text{ m}^3}$$

- **Calcul du temps de rétention :**

$$\text{Temps de rétention} = \text{Volume du réacteur} \div \text{Débit d'eau usée}$$

$$\text{Temps de rétention} = 5.40 \text{ m}^3 \div 2267.71 \text{ m}^3\text{/h}$$

Temps de rétention = 0.00238 heures ou 0.1429 minutes ou 10 seconde

- **Calcul de la dose effective et de la dose cumulée :**

La dose effective est obtenue en multipliant la transmission UV par la dose de désinfection :

$$\text{Dose effective} = \text{Transmission UV} \times \text{Dose de désinfection}$$

$$\text{Dose effective} = 0.80 \times 4724.40 \text{ mJ/cm}^2 = \mathbf{3779.52 \text{ mJ/cm}^2}.$$

$$\text{Dose cumulée} = \text{Dose effective} \times \text{Temps de rétention}$$

$$\text{Dose cumulée} = 3779.52 \text{ mJ/cm}^2 \times 0.143 \text{ minutes}$$

$$\text{Dose cumulée} = \mathbf{540.47 \text{ mJ/cm}^2}.$$

- **Capacité de désinfection et nombre de lampes :**

La capacité de désinfection par lampe est déterminée par :

$$\text{Capacité de désinfection par lampe} = 48,000,000 \text{ mJ/s} \times 0.80 = \mathbf{38,400,000 \text{ mJ/s}}$$

Le débit d'eau traité par lampe est calculé comme suit :

$$\text{Débit d'eau traité par lampe} = 38,400,000 \text{ mJ/s} / 540.47 \text{ mJ/cm}^2 = \mathbf{740.49 \text{ cm}^2/\text{s}}$$

$$\mathbf{740.49 \text{ cm}^2/\text{s}} \times 0.036 = 25.5 \text{ m}^3/\text{h}$$

Enfin, le nombre total de lampes nécessaires pour traiter le débit total est :

$$\text{Nombre de lampes} = 2267.71 \text{ m}^3/\text{h} / 25.5 \text{ m}^3/\text{h} = 88.7 \text{ lampes} = \mathbf{89 \text{ lampes}}$$

Tableau V.21 : Bilan de charges polluantes dans l'étape de traitement tertiaire.

Polluant	Charge entrante (Kg/j)	Pourcentage d'élimination (%)	Charge éliminée (Kg/j)	Charge sortante (Kg/j)
DBO5	1518.25	40	607.3	910.95
DCO	4946.82	60	2968.09	1978.72
MES	5791.65	90	5212.48	579.16

Tableau V.22 : Caractéristiques des eaux usées épurées.

Paramètre	Unité	Concentration	Valeur	Norme
MES	mg/L	12	<	30
DCO	mg/L	37	<	90
DBO5	mg/L	16.74	<	30

Les résultats finaux montrent que les concentrations des effluents sont inférieures aux normes établies. Par conséquent, ces eaux épurées peuvent être utilisées en agriculture.

V.3.4 Ouvrages de traitement des boues :

V.3.4.1 Épaississeur [46],[20] :

L'épaississeur sera dimensionné en fonction des charges polluantes éliminées dans le décanteur primaire et secondaire.

- Hauteur : 4 à 5 m
- Vitesse limite de décantation : 0,25 m/h

- **Calcul de l'extraction (pour l'horizon 2054) :**

Pb : 6170.59 Kg MES/j

Traitement : 5 jours par semaine

- **Quantité à extraire :**

$$Pb \times \frac{7}{5} = 6170.59 \times \frac{7}{5} = 8638.82 \text{ Kg MES/j} \quad (\text{V. 32})$$

Avec 6 h de traitement/jour :

$$\frac{8638.82}{6} = 1439.8 \text{ Kg MES/h}$$

On a : $[MES]_R = [MES]_E = f(IM)$

$[MES]_R$: concentration de boues recyclées

Tableau V.23 : Indice de MOHLMAN en fonction du MES [46].

I Mohlman	150	180	200	250	300
$[MES]_E$ (Kg/m ³)	9	7.5	6.5	5.5	4.5

$Im = 120$ Donc : $[MES]_E = 9 \text{ Kg/m}^3$

• **Débit d'extraction des boues :**

Débit horaire :

$$Q_{\text{extraire.h}} = \frac{1440}{9} = 160 \text{ m}^3/\text{h}$$

Débit journalier :

$$Q_{\text{extraire.j}} = \frac{8638}{9} = 950.7 \text{ m}^3/\text{j}$$

• **Calcul de l'Épaisseur :**

Surface de l'épaisseur :

$$S = \frac{8638.82}{25} = 345.52 \text{ m}^2 \tag{V. 33}$$

Diamètre de l'épaisseur :

$$D = \frac{\sqrt{(4 \times 345.52)}}{\pi} \approx 20.97 \approx 21 \text{ m} \tag{V. 34}$$

Volume cylindrique : $h = 4\text{m}$

$$V_{\text{ep}} = 345.52 \times 4 = 1382 \text{ m}^3$$

Temps de séjour :

$$T_s = \frac{V_{\text{ep}}}{Q_{\text{extraire}}} = \frac{1382.08}{950.7} = 1.45 \text{ j} \approx 1.5 \text{ j} \tag{V. 35}$$

Remarque : Le temps de séjour ne doit pas excéder 24h si l'épaisseur n'est pas hersé et 48h s'il est hersé. Il est souhaitable que l'épaisseur soit hersé.

Tableau V.24 : Les dimensions de l'épaisseur.

Paramètres	Unité	Extension
Débit journalier de boues extraites	m^3/j	950.7
Quantité à extraire par jour	Kg MES/j	8638.82
Volume V	m^3	1382
Hauteur de cylindre H	m	4
Surface horizontale Sh	m^2	345.5
Diamètre D	m	21
Temps de séjour Ts	j	1.5

V.3.4.2 Stabilisation :

Les bassins de stabilisation auront les mêmes dimensions que les bassins d'aération pour l'horizon 2054.

V.3.4.3 Lits de séchage :

Le dimensionnement de cet ouvrage se base sur la quantité de boues refoulées vers l'épaississeur, qui est estimée à 6170,59 kg MES/j en 2054.

- **Volume d'un Lit :**

Les hauteurs de charge recommandées dans la littérature varient entre 20 cm et 30 cm, avec une préférence pour 20 cm. Nous avons décidé de maintenir les mêmes dimensions que celles de la station initiale : (L = 30 , m) et (B = 15 , m).

Ainsi, le volume d'un lit est calculé comme suit :

$$V_{lit} = L \times B \times e$$

Avec (e = 20 cm = 0,2 m), nous obtenons :

$$V_{lit} = 30 \times 15 \times 0,2 = 90 \text{ m}^3$$

- **Concentration des boues activées épaissies :**

La concentration des boues activées épaissies varie entre 20 et 50 g/L. En prenant une concentration de (S₀ = 50 g/L), nous avons :

$$V_e = \frac{\Delta X}{S_0} = \frac{6170,59}{50} = 123 \text{ m}^3 \quad (\text{V. 36})$$

- **Volume des boues épandues par lit et par an :**

En admettant que chaque lit est utilisé 12 fois par an (selon SUEZ), le volume annuel est :

$$V_a = 12 \times V_{lit} = 12 \times 90 = 1080 \text{ m}^3$$

- **Volume de boue à sécher par an :**

le volume annuel de boue à sécher est : $V_{an} = 123 \times 365 = 44895 \frac{\text{m}^3}{\text{an}}$

- **Nombre de lits nécessaires :**

Le nombre de lits nécessaires est calculé comme suit : (état actuel : 24 lits existants)

$$N = \frac{V_{an}}{V_a} = \frac{44895}{1080} = 41,6 \approx 42 \text{ lits} \quad (\text{V. 37})$$

- **Surface totale des lits de séchage :**

La surface totale des lits de séchage est :

$$S_{EXention} = 42 \times 30 \times 15 = 18900 \text{ m}^2$$

Tableau V.25 : Les dimensions des lits de séchage.

Paramètres	Unité	Valeur
Volume Ve	m ³	123
Volume des boues épandues par lit et par an Va	m ³	1080
Volume de boue à sécher par an Van	m ³	44895
Nombre de lits nécessaires	–	42
Surface totale des lits	m ²	18900
Largeur B	m	15
Longueur L	m	30

V.3.4.4 Filtres à bandes presseuses

La technique de filtration sur bandes a connu un intérêt croissant ces dernières années, surtout dans les moyennes et grandes stations d'épuration urbaines. Elle doit essentiellement son développement aux progrès accomplis dans la floculation des boues par la mise en œuvre éclairée des polymères organiques de synthèse les mieux adaptés.

En général, les capacités de filtration et la longueur de bande varient respectivement de 80 à 100 Kg de MS/m/h et de 2 à 3 m. La concentration des boues épaissie est de 20 à 30 g/L [14],

On admet une capacité de filtration de la machine de déshydratation : 100 Kg MS/h pour une largeur de bande de 2 m, La concentration des boues épaissie est de 20 g/L.

Pour une machine automatisée, le temps de fonctionnement est compris entre 8 à 12 heures par jour [14]. La pression est de l'ordre de 15 bars et les gâteaux obtenus sont sec et d'une épaisseur de 2 à 4 cm

- **La quantité des boues extraites (ΔX)[39]**

D'après : Duchêne, 1999

$$\Delta X = \frac{0.84 (\text{flux MES}_{Entrant} + \text{flux DBO}_5_{Entrant})}{2} \quad (\text{V. 38})$$

$$\Delta X = \frac{0.84 (19051.49 + 23357.6)}{2} = 17811.81 \text{ Kg MES/j}$$

On sait que la quantité des boues extraites (ΔX) est de 17811.81Kg MES/j, et un temps de fonctionnement de 12 heures, on déduit le débit de déshydratation

- **Débit de déshydratation :**

$$Q_{\text{désly}} = Q_{\text{épaissi}} = \frac{17811.81}{30} = 539.72 \text{ m}^3/\text{j}$$

Tableau IV.26 : Les Caractéristiques de filtre à bonde presseuse

Paramètres	Unité	filtre à bonde
Unité	--	02
Capacité de filtration	(kg MES/h/m)	100
Charge solides minimum	(kg MES/h/m)	736.2
Bande transporteuse	--	1
largeur de bande	(m)	2.5
Quantité de boues traitées	(Kg/j)	17811.81
Débit de déshydratation	m ³ /j	539.72
Débit de déshydratation par filtre	m ³ /j	269.86
Temps de fonctionnement	(h/j)	12
Equipement	--	Pompe +Tuyauterie

V.3.4.5 Aire de stockage

La siccité des boues déshydratées par le filtre à bonde est de 18 à 25 % et 20% par les lits de séchage

- **Le volume pour une production journalière**

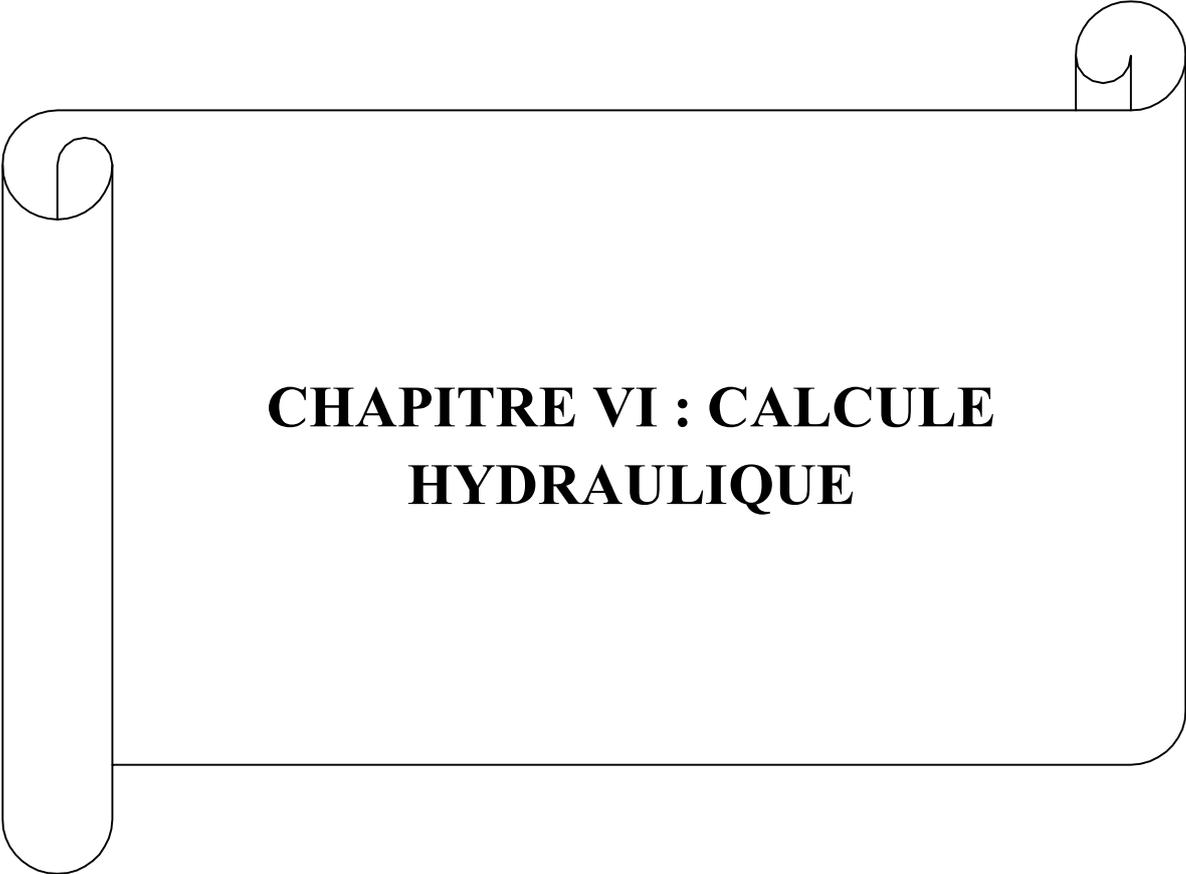
$$V_{\text{as}} = \frac{\text{Production des boues}}{S_{\text{moy}}} \quad (\text{V. 39})$$

Soit : $S_{\text{moy}} = 35 \text{ g/l}$

$$V_{\text{as}} = \frac{17811.81}{35} = 508.9 \text{ m}^3$$

V.4 CONCLUSION :

Nous avons dimensionné les ouvrages de la future station d'épuration pour produire des eaux de haute qualité, conformes aux normes agricoles. Ces eaux seront réutilisées dans les périmètres locaux de Sidi Bel Abbès. Les travaux d'extension amélioreront la capacité de traitement et le rendement, permettant de traiter les eaux d'une population plus importante. Une réhabilitation des infrastructures et des équipements est recommandée pour prolonger leur durée de vie et optimiser leur performance.



**CHAPITRE VI : CALCULE
HYDRAULIQUE**

VI.1 INTRODUCTION :

L'objectif de ce chapitre est de dimensionner le déversoir d'orage afin de le rendre capable de supporter le débit prévu d'ici l'horizon 2054, ainsi que de fournir les données nécessaires pour le profil hydraulique en identifiant les altitudes piézométriques et les altitudes naturelles associées.

VI.2 Données de base :

Le dimensionnement du déversoir d'orage vise à assurer le passage du flux nécessaire pour les équipements divers de la station et l'évacuation de l'excédent d'eau vers l'oued MEKERRA, en tenant compte des prévisions pour 2054.

Débit de pointe en temps sec : $Q_{pts} = 130314,05 \text{ m}^3/\text{j} = 1,508 \text{ m}^3/\text{s}$

Débit de pointe allant vers la station en temps de pluie :

$Q_{ST} = Q_{ptp} = 390942,15 \text{ m}^3/\text{j} = 4,524 \text{ m}^3/\text{s}$

VI.2.1 Débit déversé vers l'oued MEKERRA :

Le déversoir d'orage sera dimensionné pour gérer à la fois le débit pluvial et le débit de pointe des eaux résiduaires (eaux usées domestiques). En période de pluie, le débit transporté par le collecteur principal vers l'entrée du déversoir d'orage est estimé à : (ona : Q_{pl} : Débit pluvial (m^3/h) $Q_{pl} = 3,8 \text{ m}^3/\text{s}$) [50] .

$Q_{ent} = Q_{pl} + Q_{pts} = 3,8 \text{ m}^3/\text{s} + 1,508 \text{ m}^3/\text{s} = 5,308 \text{ m}^3/\text{s}$

Le débit allant vers l'exutoire sera donc :

$Q_{dév} = Q_{ent} - Q_{ST} = 5,308 \text{ m}^3/\text{s} - 4,524 \text{ m}^3/\text{s} = 0,784 \text{ m}^3/\text{s}$

VI.2.2 Dimensionnement du collecteur principal :

À l'amont du déversoir :

- Débit : $Q_{ent} = 5,308 \text{ m}^3/\text{s}$
- Pente : $I = 0,3\%$
- Et d'après l'abaque (**Annexe 4**) ; Diamètre $D_{amont} = 1900 \text{ mm}$

À l'aval du déversoir :

- Débit : $Q_{ST} = 4,524 \text{ m}^3/\text{s}$
- Pente : $I = 0,3\%$
- Et d'après l'abaque (**Annexe 4**) ; Diamètre $D_{aval} = 1800 \text{ mm}$

VI.2.3 Niveaux d'eau dans le collecteur principal :

Débit à pleine section : $Q_{PS} = 1/\eta \times R_h^{2/3} \times I^{1/2} \times S$

$$R_h = \frac{D}{4} = \frac{1.9}{4} = 0.475 \text{ m}$$

$K = \frac{1}{\eta} = 77$ alors : $Q_{PS} = 7.28 \text{ m}^3/\text{s}$

VI.2.4 Hauteur de remplissage correspondant au débit entrant :

Le rapport du débit dans ce cas est :

$$r_q = \frac{Q_{ent}}{Q_{PS}} = \frac{5.308}{7.28} = 0.73 \implies \text{(Annexe 5)} \implies r_h = \frac{h_1}{D} = 0.62$$

Donc : $h_1 = 1.9 * 0.62 = 1.178 \text{ m} \approx 1180 \text{ mm}$

VI.2.5 Hauteur de remplissage correspondant au débit transitant vers la STEP :

Le rapport du débit dans ce cas est :

$$r_q = \frac{Q_{ST}}{Q_{PS}} = \frac{4.524}{7.28} = 0.62 \implies \text{(Annexe 5)} \implies r_h = \frac{h_2}{D} = 0.55$$

Donc : $h_2 = 1.8 * 0.55 = 0.99 \text{ m} \approx 990 \text{ mm}$

VI.2.6 La Hauteur du seuil du déversoir :

$$H_s = \frac{h_1 - h_2}{2} \tag{VI. 1}$$

$$H_s = \frac{1180 - 990}{2} = 95 \text{ mm}$$

VI.2.7 Calcul de la longueur du déversoir :

On applique la formule de BAZIN :

$$Q_{dev} = \frac{2}{3} \mu \times b \times \sqrt{2 \times g} \times H_s^{\frac{3}{2}} \tag{VI. 2}$$

Avec :

- μ : coefficient de débit de la lame déversante qui tient compte de l'écoulement ($\mu=0.6$)

- b: longueur du déversoir (longueur de la lame déversante) exprimée en mètres
- g: pesanteur : $g=9.81 \text{ m/s}^2$
- H_s : hauteur de charge en moyenne au-dessus du seuil du déversoir

Donc :

$$b = \frac{Q_{dev}}{\frac{2}{3}\mu \times \sqrt{2 \times g \times H_s^3}} = 10.65 \approx 10.7 \text{ m} \quad (\text{VI. 3})$$

VI.3 Profil hydraulique :

Le profil hydraulique consiste à déterminer les différents niveaux d'eau le long de la chaîne de traitement, permettant ainsi de localiser la ligne de charge. Ces niveaux sont essentiels pour assurer le bon fonctionnement des installations.

Les cotes moyennes du terrain naturel des zones d'implantation des ouvrages sont résumées dans le tableau ci-dessous :

Tableau VI.1 : Cotes moyennes du terrain naturel d'implantation des différents ouvrages de la STEP.

Désignation des ouvrages	Cote du terrain naturel (m)
Dégrilleur	450,80
Station de relevage	450,50
Dégrilleur fin	457,00
Dessableur-déshuileur	455,70
Décanteur primaire	455.34
Bassin d'aération	454.21
Décanteur secondaire	453.87
Bassin de désinfection	451.80

VI.3.1 Dimensionnement des conduites reliant les différents ouvrages :

Pour relier les différents ouvrages, le choix s'est porté sur le polyéthylène haute densité (PEHD) en raison de ses excellentes caractéristiques : dureté, étanchéité, résistance à la corrosion et faible rugosité. La perte de charge dans les conduites est calculée à l'aide de la formule de Darcy-Weisbach :

$$\Delta HT = \frac{K \times L \times Q^\beta}{D^m} = CPA - CPB (m) \quad (\text{VI. 4})$$

Où :

- K : Coefficient de perte de charge
- Q : Débit en m³/s
- L: Longueur de la conduite (m)
- D: Diamètre de la conduite (mm)
- β Coefficient dépendant du régime d'écoulement
- m: Coefficient dépendant du type de matériau de la conduite
- CPA : Côte du plan d'eau au point A (m)
- CPB : Côte du plan d'eau au point B (m)

- **Diamètre des conduites :**

$$D = \frac{m \sqrt{K * L * Q^\beta}}{\sqrt{C_{PA} - C_{PB}}} \quad \text{(VI. 5)}$$

- **Longueur des conduits :**

Pour les calculs de longueur, on utilise les longueurs équivalentes pour prendre en compte les pertes de charge singulières. Ces longueurs équivalentes sont calculées comme suit :

$$L_{eq} = 1.15 \times L_{réelle}$$

Les longueurs des conduites sont présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau VI.2 : Longueurs réelles et équivalente des conduits entre les ouvrages de la STEP.

Ouvrages	Longueur réelle (m)	Longueur équivalente (m)
Dégrilleur grossière – poste de relevage	4,80	5.52
poste de relevage – Dégrilleur fin	10,00	11.5
Dégrilleur fin - Dessableur-déshuileur	23,00	26.45
Dessableur-déshuileur - Décanteur primaire	20,00	23,00
Décanteur primaire - Bassin d'aération	22,00	25,30
Bassin d'aération - Décanteur secondaire	36	41.4
Décanteur secondaire - Bassin de désinfection	53,00	60.95

VI.3.2 Calcul des côtes piézométriques des différents ouvrages :

Le calcul des côtes piézométriques repose sur l'équation de Bernoulli, donnée par :

$$\frac{P_1}{W} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{W} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + H_{1-2} \quad (\text{VI. 6})$$

Où :

- $\frac{P_1}{W}$ et $\frac{P_2}{W}$ sont les énergies de pression dans les sections (1) et (2).
- $\frac{V_1^2}{2g}$ et $\frac{V_2^2}{2g}$ représentent les énergies cinétiques en (1) et (2).
- Z_1 et Z_2 sont les cotes des points (1) et (2).
- H_{1-2} correspond aux pertes de charge dans le tronçon (1-2).

Étant donné que la variation de vitesse est très faible, les énergies cinétiques peuvent être négligées, ce qui simplifie l'équation à :

$$\frac{P_1}{W} + Z_1 = \frac{P_2}{W} + Z_2 + H_{1-2}$$

En posant $\frac{P_1}{W} = H_1$ et $\frac{P_2}{W} = H_2$, l'équation devient :

$$H_1 + Z_1 = H_2 + Z_2 + H_{1-2}$$

Les côtes piézométriques sont alors définies par :

- $Cp_1 = H_1 + Z_1$: côte piézométrique au point (1).
- $Cp_2 = H_2 + Z_2$: côte piézométrique au point (2).

Et on peut écrire l'équation sous forme simplifiée :

$$Cp'_1 = Cp_2 + H_{1-2}$$

- **Calcul des diamètres des conduites et les côtes piézométriques :**

1. Conduite Dégrilleur fin - Dessableur-Déshuileur (A-B) :

Cote du radier du dégrilleur (A) : 457 m

Hauteur d'eau : 1.6 m

Côte piézométrique CpA : 458.6 m

Cote du radier du dessableur-déshuileur (B) : 454.8 m

Hauteur d'eau : 2.5 m

Côte piézométrique CpB : 457.3 m

Longueur de la conduite L=26.45 m

Diamètre :

$$D = \sqrt[m]{\frac{K \cdot L \cdot Q^\beta}{C_{PA} - C_{PB}}} \quad (\text{VI. 7})$$

D = 377 mm = 400 mm (les dimension normalisée des conduite disponible dans l'Annexe 6)

Côte piézométrique est alors :

$$C'_{PB} = C_{PA} - \frac{K \times L \times Q^\beta}{D^m}$$

$$C'_{PB} = 457.62 \text{ m}$$

2. Conduite Dessableur – Décanteur primaire (A-B) :

Côte piézométrique initiale $C_{PA}' = 457.62 \text{ m}$

Cote du radier du décanteur primaire (B) : 452 m

Hauteur d'eau : 3 m

Côte piézométrique C_{PB} : 455 m

Longueur de la conduite $L = 23 \text{ m}$

Diamètre : $D = 312 \text{ mm} = 315 \text{ mm}$

Côte piézométrique finale est : $C'_{PB} = 455.98 \text{ m}$

3. Conduite Décanteur primaire – Bassin d'aération (A-B) :

Côte piézométrique initiale $C_{PA}' = 455.98 \text{ m}$

Cote du radier du bassin d'aération (B) : 451 m

Hauteur d'eau : 4.8 m

Côte piézométrique C_{PB} : 455.8 m

Longueur de la conduite $L = 25.3 \text{ m}$

Diamètre : $D = 602 \text{ mm} = 630 \text{ mm}$

Côte piézométrique finale est : $C'_{PB} = 454.8 \text{ m}$

4. Conduite d'Aération - Bassin de clarificateur (A-B) :

Côte piézométrique initiale $C_{PA}' = 454.8 \text{ m}$

Cote du radier du bassin de clarification (B) : 450.37 m

Hauteur d'eau : 4 m

Côte piézométrique C_{PB} : 454.37 m

Longueur de la conduite $L = 41.4 \text{ m}$

Diamètre : $D = 521 \text{ mm} = 560 \text{ mm}$

Côte piézométrique finale est : $C'_{PB} = 454.49 \text{ m}$

5. Conduite Clarificateur - Bassin de Désinfection (A-B) :

Côte piézométrique initiale CPA' = 454.49

Cote du radier du bassin de désinfection (B) : 449.5 m

Hauteur d'eau : 1.5 m

Côte piézométrique CpB : 451 m

Longueur de la conduite L = 60.95 m

Diamètre : D = 365 mm = 400 mm

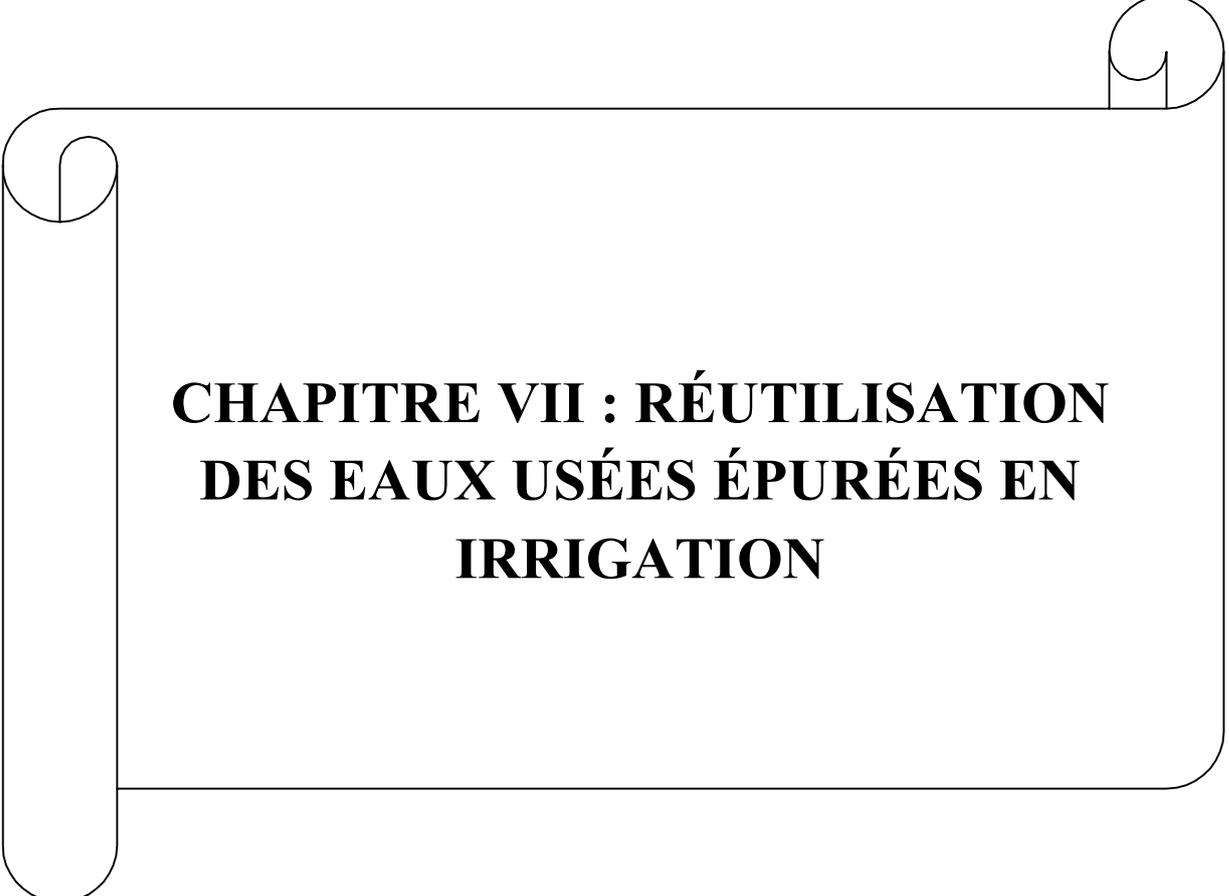
Côte piézométrique finale est : $C'_{PB} = 452.25$ m

Tableau VI.3 : Récapitulatif des côtes des ouvrages de la STEP

Désignation	Côte du terrain (m)	Côte du radier (m)	Hauteur d'eau (m)	Côte piézométrique (m)
Dégrilleur moyen	457	457	1.60	458.60
Dessableur-déshuileur	455.70	454.80	2.50	457.62
Décanteur primaire	455.34	452	3	455.98
Bassin d'aération	454.21	451	4.80	454.80
Décanteur secondaire	453.87	450.37	4	454.49
Bassin de désinfection	451.80	449.50	1.5	452.25

VI.4 CONCLUSION :

Le calcul hydraulique effectué dans ce chapitre a permis de dimensionner le déversoir d'orage à l'entrée de la STEP, de déterminer les longueurs et les diamètres des conduites associées à ces ouvrages, ainsi que d'évaluer les cotes des terrains naturels et les cotes piézométriques pour chaque ouvrage d'extension. Ces analyses ont ainsi servi de base pour établir un profil hydraulique approprié.



**CHAPITRE VII : RÉUTILISATION
DES EAUX USÉES ÉPURÉES EN
IRRIGATION**

VII.1 INTRODUCTION :

Après avoir analysé les résultats physico-chimiques des eaux de la STEP, il est essentiel d'évaluer leur faisabilité pour l'irrigation et de vérifier si la station peut répondre aux besoins agricoles. L'estimation des besoins en eau repose sur un bilan hydrique et une analyse de la pluviométrie, permettant de calculer les besoins en eau des cultures en tenant compte des pertes par évaporation et ruissellement. Ces informations sont essentielles pour une gestion efficace de l'eau. Bien que l'utilisation d'eau recyclée pour l'irrigation puisse avoir des impacts négatifs sur la santé publique et l'environnement, une planification soignée et une gestion rigoureuse permettent de minimiser ces risques.

VII.2 Situation de l'activité agricole et des problèmes liés à l'eau dans la wilaya de SBA :

La wilaya de Sidi Bel-Abbès, située au centre de l'Oranie, s'étend sur environ 918 738 hectares et compte 952 768 habitants en 2021 (ANAT, 2021). La région, caractérisée par un climat semi-aride avec des précipitations annuelles moyennes de 200 à 400 mm, fait face à une pénurie d'eau, avec une production actuelle de 44 000 m³/jour, en dessous des besoins de 50 000 m³/jour [48].

La wilaya présente une double vocation agricole : une agriculture de plaine au nord, sur 359 179 hectares de terres agricoles utiles (soit 39 % de la superficie totale), et une activité sylvo-pastorale dans les massifs et hautes plaines. Cependant, seulement 5 000 hectares de terres, soit 1,5 % de la superficie agricole utile (SAU), sont effectivement irrigués [48].

En 2020, la production globale d'eau d'irrigation s'élevait à 47 918 m³/jour, provenant principalement de forages et puits (95,65 %), avec un déficit d'environ 32 542 m³/jour par rapport à la demande estimée à 89 650 m³/jour pour l'irrigation. Les agriculteurs, face à cette insuffisance, exploitent de manière excessive les nappes souterraines, exacerbant les tensions sur les ressources en eau (DSA, 2020) [48].

Tableau VII.1 : Volume d'eau utilisé par type d'ouvrage [48].

Type d'ouvrage	Surface irriguée (ha)	Volume (Hm ³ /an)	Nombre
Forages	932	4,66	218
Puits	5 058	25,29	2 277
Sources	92	0,46	35
Pompage au fil de l'eau	330	1,65	3
Épandage de crues	500	2,5	2
Total	6 912	--	--

VII.3 Faisabilité de l'irrigation par les eaux usées épurées :

VII.3.1 Les avantages et les contraintes de l'irrigation :

L'irrigation avec des eaux usées épurées présente plusieurs avantages significatifs. Tout d'abord, elle réduit la demande en eau conventionnelle, permettant ainsi d'économiser des ressources précieuses. De plus, elle évite les coûts élevés liés à la collecte et au stockage des eaux de ruissellement, tout en améliorant la qualité de l'eau en aval des sites de déversement, tels que les rivières, les lacs, et les zones côtières. L'utilisation de ces eaux favorise également la promotion du tourisme et établit un lien plus fort entre les zones urbaines et rurales. En outre, elle augmente la production agricole et diminue la dépendance aux engrais commerciaux, tout en réduisant les coûts de traitement pour les utilisateurs situés en aval [49]. Cependant, cette pratique n'est pas sans contraintes. L'irrigation avec des eaux usées peut poser des risques pour la santé humaine et animale, surtout en cas de mauvaise gestion. Le manque de réglementations et d'incitations pour une utilisation optimisée des eaux recyclées constitue également un obstacle majeur. De plus, les caractéristiques des eaux usées peuvent être complexes, rendant les analyses techniques et économiques plus difficiles. D'autres défis incluent la difficulté de vendre certaines cultures sur le marché, les problèmes d'acceptabilité sociale, et les impacts potentiellement négatifs sur les sols et les cultures. En outre, la subvention des ressources en eau agricole peut biaiser l'analyse des coûts des eaux recyclées, tandis que les coûts de traitement des eaux usées peuvent parfois être élevés. Enfin, malgré les coûts fixes de traitement, les revenus de l'agriculture restent souvent incertains [49].

VII.3.2 Qualité des eaux usées épurée en vue de leur utilisation en irrigation :

La qualité des eaux usées épurées utilisées pour l'irrigation est essentielle pour garantir la productivité des cultures, préserver la richesse des sols et protéger l'environnement. Les caractéristiques physiques et chimiques du sol, telles que la structure, la stabilité et la perméabilité, sont fortement influencées par les ions présents dans l'eau d'irrigation. Les facteurs clés à considérer :

- **PH de l'eau** : Indique l'acidité ou l'alcalinité de l'eau, influençant la disponibilité des nutriments pour les plantes.
- **Salinité** : Problème potentiel en période de pénurie d'eau, mesuré en termes de TDS (Total Dissolved Solids) ou de conductivité électrique, la salinité excessive peut affecter la croissance des plantes.
- **SAR** : Un Sodium Adsorption Ratio (SAR) élevé peut réduire la perméabilité du sol en favorisant la dispersion des particules de sol.
- **Carbonates et Bicarbonates** : Lorsqu'ils se combinent avec le calcium ou le magnésium, ces ions peuvent précipiter et causer des problèmes, en particulier en période de sécheresse, augmentant ainsi le pH de l'eau.

- **Métaux Lourds** : Bien qu'ils ne soient pas toujours un obstacle à la réutilisation, il est important de les surveiller pour éviter tout impact négatif sur le système sol-plante.

Une analyse chimique initiale en laboratoire est nécessaire pour évaluer ces facteurs et assurer une utilisation sûre et efficace des eaux usées épurées en irrigation. Une surveillance régulière est également recommandée pour conserver la qualité de l'eau à un niveau acceptable.

VII.3.3 Analyse chimique de l'eau :

Tableau VII.2 : Les résultats des analyses moyens mensuelles (2023) des éléments traces métalliques et chimiques à l'entrée et à la sortie de la STEP de SBA (source : STEP SBA,2024).

Paramètre	Unité	Moyenne E Brute	Moyenne E Traitée	Normes limites
pH	--	7.62	7.77	6.5 - 8.5
Température (T°)	°C	16.4	16.87	30
Calcium	mg/l	21.56	66.12	400
Magnésium	mg/l	94.7	54.28	60.75
Sodium	mg/l	/	66.25	920
TH (°F)	mg/l	46.87	34.72	/
TAC	mg/l	418.12	449.5	/
Oxygène dissous	mg/l	8.48	3.82	/
Fer total	mg/l	0.41	0.24	20
Cuivre	mg/l	0.75	0.48	5
Cyanure	mg/l	0.20	0.12	0.5
Zinc	mg/l	0.28	0.017	10
Conductivité	µS/cm	3575	2144.12	/

Pour assurer une surveillance efficace de la qualité des eaux traitées issues de la station d'épuration, on va baser sur les analyses des divers indicateurs de contamination de l'eau épurée, présentées dans **le chapitre IV**. Suivies par les paramètres suivants :

1. La conductivité électrique (CEw) :

exprimée en µS/m et mesurée à 20°C. Il s'agit généralement du paramètre le plus couramment mesuré, en particulier dans les régions arides et semi-arides, car il permet d'estimer la concentration totale de sels solubles dans l'eau. La salinité est essentielle pour déterminer le système de culture et la gestion des terres irriguées avec de l'eau usée.

Dans notre cas, notre conductivité permet de classer les eaux en fonction du Tableau VII.3 pour un usage agricole ou quatre (04) classes d'eau sont définies.

Tableau VII.3 : Classification des eaux en fonction de leur conductivité.

Classe de Salinité	Conductivité CE ($\mu\text{S/cm}$)	Observations
Classe 1 (C1)	$0 < \text{CE} < 250$	Eaux utilisables pour l'irrigation de la plupart des cultures et des terrains, avec peu de risque de salinité dans le sol.
Classe 2 (C2)	$250 < \text{CE} < 750$	Nécessite un léger lessivage.
Classe 3 (C3)	$750 < \text{CE} < 2250$	Eaux utilisables avec drainage restreint ; pratiques spéciales de contrôle de la salinité nécessaires ; cultures à tolérance élevée aux sels.
Classe 4 (C4)	$\text{CE} > 2250$	Eaux généralement inutilisables pour l'irrigation, sauf pour sols très perméables avec un bon drainage et excès d'irrigation. Cultures à très haute tolérance aux sels requises.

D'après le tableau VII.2 , On a : **CE = 2144.12 $\mu\text{S/cm}$.**

Selon les données du Tableau VII.3 il est observé que la CEw est inférieure à 2250 $\mu\text{S/cm}$, ce qui classe les eaux épurées de la station d'épuration de SBA dans la classe 3 (C3).

2. Eléments traces métalliques :

Comme le montre le tableau VII.2, les résultats des échantillons analysés sont très satisfaisants. Cette observation peut être expliquée par deux facteurs principaux. Premièrement, la région est principalement agricole et comporte peu d'industries, ce qui limite la présence de rejets industriels, qui sont souvent responsables de la contamination par les métaux lourds. Deuxièmement, le mode de traitement a un rôle important : le procédé des boues activées assure une élimination efficace des métaux tels que le cuivre (Cu) et le zinc (Zn), entre autres.

3. Le coefficient d'absorption du sodium (S.A.R) :

L'évaluation de la qualité des eaux destinées à l'irrigation repose sur l'indice de Sodium Absorption Ratio (S.A.R.). Cet indice mesure l'équilibre entre la concentration en ions sodium et la concentration totale des ions calcium et magnésium présents dans l'eau. Il est essentiel pour évaluer le potentiel d'alcalinisation de l'eau, estimé à l'aide de la formule suivante :

$$\text{S. A. R.} = \frac{\text{Na}}{\sqrt{\frac{\text{Ca} + \text{Mg}}{2}}}$$

où :

- Na : la concentration en sodium en meq/l,
- Ca : la concentration en calcium en meq/l,
- Mg : la concentration en magnésium en meq/l.

D'après le tableau VII.2 :

$$\text{Meq/l} = \frac{\text{Concentration en } \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times \text{Valence de l'ion}}{\text{la masse molaire de l'ion en g/mol}}$$

Tableau VII.4 : Eléments chimiques pour le calcul de SAR.

Paramètre	Masse molaire atomique (g.mol ⁻¹)	Valeur (mg/l)	Valeur (meq/l)
Ca ²⁺	40.1	66.12	3.30
Mg ²⁺	24.3	54.28	4.45
Na ⁺	23	66.25	2.88

Note : Ces analyses respectent les normes d'irrigation (**Annexe 02**).

Alors : **SAR = 1.46**

En fonction de la valeur du SAR, les eaux peuvent être classées selon le tableau VII.5 ci-dessous :

Tableau VII.5 : Catégorisation des eaux en fonction de leur indice de Sodium Adsorption Ratio (SAR).

Classe d'Alcalinité	Plage de SAR	Observations
S1	SAR < 10	L'irrigation avec de l'eau contenant de faibles concentrations de sodium peut être réalisée sur la plupart des types de sols sans risque d'alcalinisation.
S2	10 < SAR < 18	Les eaux contenant une quantité moyenne de sodium peuvent présenter quelques difficultés dans les sols à texture fine, sauf si le sol contient du gypse. Elles sont appropriées pour les sols à texture grossière ou organiques qui absorbent bien l'eau.
S3	18 < SAR < 26	Les eaux avec une concentration élevée de sodium peuvent causer des problèmes dans la plupart des sols et doivent être utilisées avec des précautions particulières, telles qu'un bon drainage, un lessivage important et l'ajout de matières organiques.
S4	SAR > 26	Les eaux contenant une très forte concentration de sodium sont généralement impropres à l'irrigation, sauf si la salinité est très faible et si du gypse ou une autre source de sodium soluble est ajoutée pour améliorer l'équilibre ionique.

D'après le résultat de calcul, on remarque que notre eau est de classe S1, ce qui indique qu'on peut utiliser cette eau pour l'irrigation sans risque d'alcalinisation.

VII.3.4 Classification chimique de l'eau d'irrigation :

Après avoir calculé le SAR (SAR = 1.33) et la conductivité électrique (CE = 2144.12 $\mu\text{S}/\text{cm}$) des eaux sortant de la station, nous avons projeté ces résultats sur l'**Annexe 03** et par conséquent : Les eaux de la station de Sidi Bel Abbès appartiennent à la catégorie **(C3-S1)**, ce qui indique qu'elles sont d'une qualité moyenne à médiocre. Par conséquent, elles doivent être utilisées avec précaution dans les sols lourds et mal drainés, ainsi que pour l'irrigation des plantes sensibles, telles que les arbres fruitiers.

VII.3.5 Identification du périmètre à irrigué :

L'irrigation d'un périmètre est coûteuse, rendant essentiel un choix judicieux du terrain. L'objectif initial est de délimiter le périmètre à irriguer en évaluant les principaux facteurs pédologiques via un système de notation simple.

- **Profondeur du sol** : Les sols ayant une profondeur inférieure à 30-40 cm sont jugés inadaptés pour l'irrigation. Dans cette étude, seuls les sols calcimagnésiques, avec une faible profondeur, sont exclus.
- **Perméabilité** : Les sols du périmètre d'étude présentent des perméabilités variant de 2,98 cm/h à 7,72 cm/h. L'utilisation d'amendements organiques est recommandée pour optimiser la rétention d'eau et la perméabilité.
- **Calcaire** : Le taux de calcaire actif en surface étant inférieur à 5%, le risque de chlorose est faible. Toutefois, la teneur globale élevée en calcaire impose l'utilisation de cultures adaptées et une vérification du taux de calcaire actif avant la plantation.
- **Topographie** : La pente influence directement le choix des cultures et le mode d'irrigation. Les surfaces sub-planes sont préférables, tandis que celles avec une pente supérieure à 5% nécessitent des mesures pour prévenir l'érosion [48].

La délimitation du périmètre prend également en compte l'étendue des surfaces irrigables, leur homogénéité, et leur proximité avec la station d'épuration pour minimiser les coûts d'acheminement de l'eau.

Enfin, une analyse du contexte naturel révèle que les vents dominants soufflent du Nord-Ouest de janvier à juin, avec une saison sèche de mai à octobre. L'évapotranspiration maximale est atteinte en juillet. L'année hydrologique commence en décembre, avec une pluviométrie moyenne annuelle de 398.02 mm/an, rendant l'irrigation obligatoire durant les mois secs de juin à septembre [48].

Périmètre prioritaire : Le périmètre idéal comprend des sols profonds, situés sur des pentes inférieures à 3%, avec une bonne perméabilité, une stabilité structurale élevée, et une texture moyenne en surface, ou on peut recommander le périmètre occupé par les vergers. Autant dire 80% de la surface agricole utile de la rive droite de l'oued Mekerra .

VII.3.6 Les choix de culture irriguée :

Dans la ville de Sidi Bel Abbès, les cultures sont diversifiées et couvrent de vastes superficies, incluant à la fois des cultures herbacées et divers arbres fruitiers. Cependant, seule la culture d'oliviers bénéficie de l'irrigation à partir des eaux traitées par la STEP. L'irrigation des

autres cultures, à l'aide des eaux épurées, est interdite. Cette restriction est en accord avec les résultats obtenus lors de l'analyse chimique de l'eau présentée dans ce chapitre, qui classe l'eau dans la catégorie (C3-S1).

VII.3.7 Calcul des besoins d'irrigation :

Le besoin en eau d'irrigation correspond à la quantité d'eau requise pour satisfaire les besoins hydriques d'une culture agricole, en complément des précipitations naturelles. Cette eau supplémentaire est essentielle pour assurer une croissance saine et une production optimale des cultures. Les besoins en eau varient en fonction du type de culture, du climat, du sol et d'autres facteurs. Ils sont généralement exprimés en millimètres (mm) d'eau par unité de temps, que ce soit par jour ou par saison de croissance. L'irrigation intervient pour combler le déficit en eau lorsque les précipitations sont insuffisantes, ce qui permet de maintenir ou d'augmenter les rendements agricoles.

Pour le calcul des besoins on se base sur l'évaluation du bilan hydrique suivante :

$$B_i = ETM - (P_{\text{eff}} + K \cdot RS_{i-1})$$

ETM : L'évapotranspiration maximale ou besoins des cultures en (mm) où :

$$(ETM = ET_0 \times K_c)$$

où :

- **K_c** : le coefficient culturel de la culture considérée ;
- **P_{eff}** : la pluie efficace ;
- **RS_{i-1}** : La réserve utile ;

Tableau VII.6 : Calcul des besoins en eau pour l'olivier.

Mois	P _{moy} (mm)	P _{eff} (mm)	ET ₀ (mm/mois)	Z (m)	RFU (mm)	RS _{i-1} (mm)	K _C	ETM (mm)	B net (mm)
SEPT	20.79	14.55	136.52	1.50	182.00	0.00	0.85	116.04	101.49
OCT	37.73	26.41	93.78	1.50	182.00	0.00	0.85	79.71	53.30
NOV	55.75	39.02	59.8	1.50	182.00	0.00	0.75	44.85	5.83
DEC	51.13	35.79	50.73	1.50	182.00	60.67	0.65	32.97	0.00
JAN	57.21	40.05	49.63	1.50	182.00	91.00	0.65	32.26	0.00
FEV	47.05	32.93	56.82	1.50	182.00	91.00	0.65	36.93	0.00
MARS	40.96	28.67	82.38	1.50	182.00	91.00	0.65	53.55	0.00
AVR	43.04	30.13	110.44	1.50	182.00	60.67	0.65	71.79	0.00
MAI	32.42	22.69	141.99	1.50	182.00	0.00	0.65	92.29	69.60
JUN	5.47	3.83	168.69	1.50	182.00	0.00	0.80	134.95	131.13
JUI	2.00	1.40	198.05	1.50	182.00	0.00	0.85	168.34	166.94
AOUT	4.47	3.13	195.52	1.50	182.00	0.00	0.85	166.19	163.07

En utilisant le logiciel CROPWAT 8.0, nous avons entré les données mensuelles (température, précipitations, vent, radiation) pour calculer les valeurs de l'évapotranspiration de référence (ET₀), ensuite la détermination des besoins nets pour la culture de l'olivier, les calculs associé sont en dessus.

VII.3.8 Calcul du débit spécifique :

La formule utilisée pour calculer le débit spécifique est la suivante :

$$Q_s = \frac{B_{net} \times 10 \times 1000}{N_j \times N_i \times 3600 \times E_i}$$

où :

- **B_{net}** : Besoin net du mois de pointe en mm/mois
- **N_i** : Nombre d'heures d'irrigation = 24h
- **N_j** : Nombre de jours du mois de pointe = 30 jours
- **E_i** : Efficience d'irrigation = 75%

Pour l'assolement le plus exigeant, les besoins de pointe correspondent au mois de juillet :

B_{net} = 166.94 mm

Le débit spécifique : **Q_s** = **0.858 l/s/ha**

VII.3.9 Evaluation du débit caractéristique :

$$Q_{cr} = Q_s * S$$

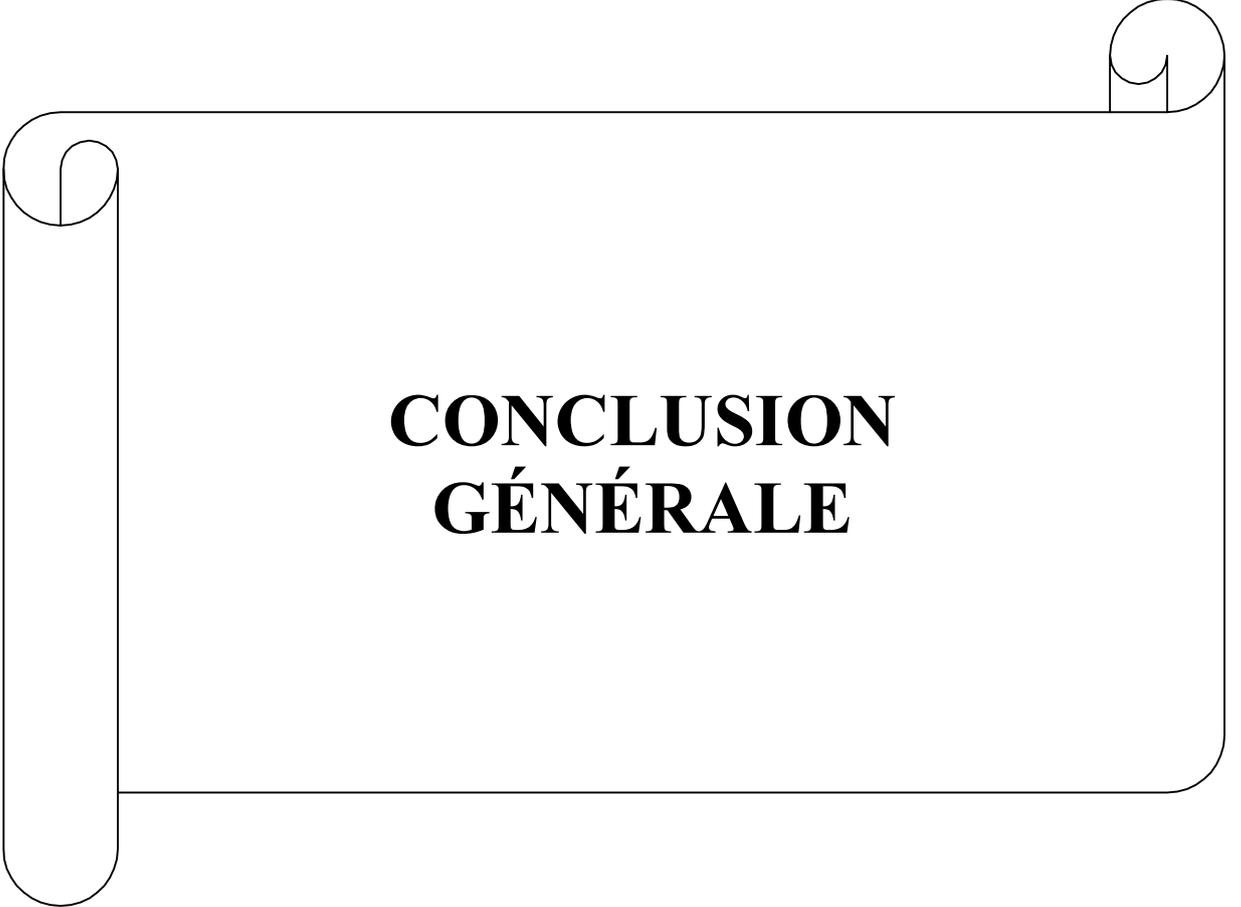
- **Q_s** : Débit spécifique du mois de pointe en (l/s/ha)
- **S** : Superficie nette à irriguer = 2530 ha (DSA Sidi Bel Abbès, 2023)

$$Q_{cr} = 2530 \times 0.858 = 2170.741/s = 187551.93 \text{ m}^3/j$$

Donc la STEP de Sidi Bel Abbès doit fournir un volume journalier de **187551.93 m³/j** pour répondre aux besoins en eau de la culture agricoles d'oliviers.

VII.4 CONCLUSION :

L'eau recyclée de la STEP de Sidi Bel Abbès permet de récupérer des ressources en eau importantes, habituellement rejetées dans l'oued. Cela présente des avantages économiques en créant une zone d'irrigation dans une région aux besoins en eau élevés, tout en réduisant la pollution de l'oued Mekerra en aval. La réutilisation des eaux usées urbaines traitées pour l'irrigation est une approche d'élimination sûre et réaliste. Ce chapitre a démontré que ces eaux ne présentent aucun risque pour la culture ciblée et que la station pourra fournir suffisamment d'eau pour répondre à leur besoin futur.



**CONCLUSION
GÉNÉRALE**

Conclusion générale

Cette étude portant sur le redimensionnement de la Station d'Épuration des Eaux Usées (STEP) de Sidi Bel Abbès et la réutilisation des eaux épurées à des fins agricoles met en lumière l'importance d'une gestion efficace et améliorée des ressources en eau, particulièrement dans un contexte de disponibilité limitée. Le projet prévoit d'augmenter la capacité de traitement de la station à **82 425,054 m³/j** d'ici 2054, afin de répondre aux besoins croissants de la région tout en respectant les normes de qualité de l'eau.

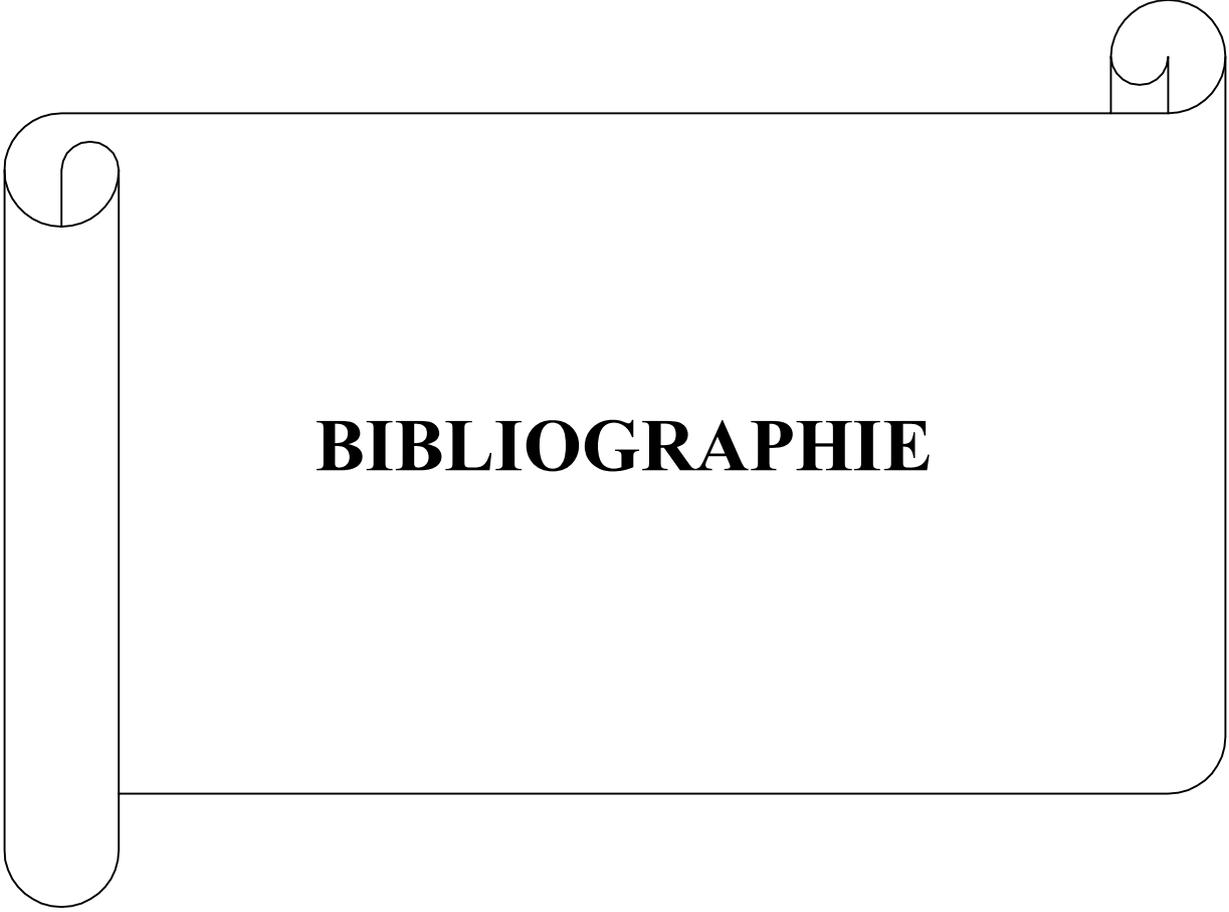
L'analyse des performances actuelles de la station a mis en lumière la nécessité d'améliorations pour optimiser le processus de traitement. En particulier, il est recommandé d'intégrer le filtre à sable rapide et un bassin de rayonnement ultraviolet (UV) afin d'assurer une désinfection plus efficace des eaux usées traitées, garantissant ainsi leur conformité aux standards environnementaux et sanitaires.

La réutilisation des eaux épurées pour l'irrigation des oliviers a été identifiée comme la solution la plus adaptée pour maximiser l'usage des ressources hydriques disponibles. Cependant, avec un volume actuel de traitement de **28 000 m³/j**, la capacité de la station est insuffisante pour couvrir tous les besoins de la surface agricole concernée. Même avec le débit futur prévu de **82 425,054 m³/j**, il ne sera possible d'irriguer qu'environ **1 100 hectares**, ce qui correspond à ma recommandation dans le 7^{ème} chapitre, à savoir l'irrigation de 80 % de la surface agricole utile située sur la rive droite de l'oued Mekerra, principalement occupée par des vergers d'oliviers.

Pour maximiser l'utilisation des ressources en eau, il est également proposé de construire un bassin de collecte des eaux pluviales. Cette mesure permettrait de stocker l'eau de pluie pendant les périodes de précipitations et de la rendre disponible pour l'irrigation durant les périodes de sécheresse, contribuant ainsi à une gestion plus durable de l'eau dans l'agriculture.

De plus, la mise en œuvre de ces améliorations nécessite une coopération continue et coordonnée entre les différents acteurs, y compris les autorités locales, les agriculteurs, et les spécialistes en gestion de l'eau, pour assurer une utilisation optimale des ressources disponibles.

En conclusion, cette étude montre la nécessité d'une approche globale qui intègre des technologies avancées, des pratiques agricoles adaptées et une gestion efficace des ressources en eau pour relever les défis présents et futurs liés à l'eau dans la région de Sidi Bel Abbès.



BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

- [1] Ramade, F. (2000). *Dictionnaire encyclopédique des pollutions*. EdjScience International.
- [2] United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. (2017). Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau 2017 : Les eaux usées - Une ressource inexploitée. United Nations. <https://doi.org/10.18356/c06674fc-fr>
- [3] Doré, M. (1989). *Chimie des oxydants et traitement des eaux*. s.n.
- [4] Guerree, H., & Gomella, C. (1982). *Les eaux usées dans les agglomérations urbaines ou rurales : La collecte* (2e éd.). Eyrolles.
- [5] Grosclaude, I. (2024). *Origine des eaux usées*. [En ligne]. Disponible sur http://elearning.univ-biskra.dz/moodle2019/pluginfile.php/29649/mod_resource/content/1/Chapitre%20I%20Les%20caract%C3%A9ristiques%20et%20origines%20des%20eaux%20us%C3%A9es.pdf
- [6] Ladjel, F., & Bouchefer, S. A. (2006). *Exploitation d'une station d'épuration à boues activées*. Centre de formation dans les métiers de l'assainissement.
- [7] Metahri, M. S. (2012). Élimination simultanée de la pollution azotée et phosphatée des eaux usées traitées par des procédés mixtes. Cas de la STEP Est de la ville de Tizi-Ouzou (Thèse de doctorat, Université de Tizi-Ouzou, Algérie).
- [8] Beamont, S., Camard, J. P., Lefranc, A., & Franconi, A. (2004). *Réutilisation des eaux usées : Risques sanitaires et faisabilité en Île-de-France*. École nationale supérieure d'agronomie de Toulouse.
- [9] Rejsek, F. (2002). *Analyse des eaux : Aspects réglementaires et techniques*. Ed Canopé CRDP de Bordeaux.
- [10] Bourrier, R., Satin, M., & Selmi, B. (2010). *Guide technique de l'assainissement*. Le Moniteur.
- [11] Vibouroux, D. (1981). *Épuration des eaux usées résiduaires*. s.n.
- [12] Cayocca, F. (2012). *État physique et chimique caractéristique physique turbidité*. Ministère d'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie.
- [13] Toure, A. (2017). Diagnostic des dysfonctionnements de la station d'épuration à boues activées de SUCRIVOIRE Borotou-Koro (Côte d'Ivoire) et proposition de solutions (Mémoire de Master). FPL Master Ingénierie Eau et Assainissement.
- [14] Sadowski, A. (n.d.). Le rôle des institutions et les politiques en matière d'eau.
- [15] Mira, Y. (2008). Contribution à la conception de la station d'épuration d'ISOLA 2000 (Mémoire d'ingénieur). École nationale polytechnique, Alger.

- [16] Pasquini, L. (2013). Micropolluants issus de l'activité domestique dans les eaux urbaines et leur devenir en station d'épuration.
- [17] Gaujous, D. (1980). *La pollution des milieux aquatiques : Aide-mémoire*. Lavoisier.
- [18] Rodier, J. (2005). *L'analyse de l'eau : eau naturelle, eau résiduaire et eau de mer*. Dunod.
- [19] Dugniolle, H. (1980). *L'assainissement des eaux résiduaires domestiques*. CSTC-revue n°344.
- [20] Hamidi, A. (2023). Utilisation des matériaux locaux en épuration des eaux usées (Thèse). [En ligne]. Disponible sur <http://dspace1.univ-tlemcen.dz/handle/112/20140>.
- [21] *Épuration des eaux résiduaires urbaines, eaux usées-municipales*. (n.d.). [En ligne]. Disponible sur www.degremont.fr.
- [22] Mekhalif, F. (2009). Réutilisation des eaux résiduaires industrielles épurées comme eau d'appoint dans un circuit de refroidissement.
- [23] Libes, Y. (2009). *Les eaux usées urbaines et leur épuration*. [En ligne]. Disponible sur https://www.pseau.org/outils/ouvrages/libes_les_eaux_usees_urbaines_et_leur_epuration_2009.pdf.
- [24] Anonyme. (n.d.). *Les eaux usées et leur épuration*. Version PDF.
- [25] Belahmadi, M., & Seddik, O. (2011). Étude de la biodégradation du 2,4-dichlorophénol par le macrobiote des effluents d'entrée et de sortie de la station d'épuration des eaux usées d'Ibn Ziad.
- [26] Deshayes, M. (2008). Guide pour l'établissement des Plans d'Assurance de la Qualité dans le cadre de la réalisation des stations d'épuration de type boues activées en lots séparés.
- [27] Water Environment Federation. (2007). *Operation of Municipal Wastewater Treatment Plants: Manual of Practice No. 11* (6e éd.).
- [28] Mailler, R. (n.d.). Devenir des micropolluants prioritaires et émergents dans les filières conventionnelles de traitement des eaux résiduaires urbaines des grosses collectivités.
- [29] Dhaoudi, H. (2008). *Traitement des Eaux Usées Urbaines : Les procédés biologiques d'épuration*. Université Virtuelle de Tunis.
- [30] Anonyme. (1991). *Procédés extensifs d'épuration des eaux usées, adaptés aux petites et moyennes collectivités*. Waterguide.fr.
- [31] Anonyme. (n.d.). Évaluation des capacités bioremédiatrices d'une mangrove impactée par des eaux usées domestiques : Application au site pilote de Malamani, Mayotte. [En ligne]. Disponible sur <https://core.ac.uk/reader/12095171>.

- [32] Berland, J. M., Boutin, C., Molle, P., & Cooper, P. (2001). *Procédés extensifs d'épuration des eaux usées adaptés aux petites et moyennes collectivités*. [En ligne]. Disponible sur <https://hal.inrae.fr/hal-02580646>.
- [33] Memento Technique De L'eau 1 Et 2. (2006). [En ligne]. Disponible sur <http://archive.org/details/memento-technique-de-leau-1-et-2>.
- [34] Samer, M. (2015). *Biological and Chemical Wastewater Treatment Processes*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/61250>.
- [35] Zheng, H., Zheng, Y., & Zhu, J. (2022). Recent Developments in Hydrodynamic Cavitation Reactors. *Engineering*, 19, 180-198. <https://doi.org/10.1016/j.eng.2022.04.027>.
- [36] Bennabi, F., Hamel, L., Bachir Bouiadjra, S. E., & Ghomari, S. (2012). Ressources hydriques sous tension et enjeux de développement durable dans la wilaya de Sidi Bel Abbès. *Méditerranée*. <https://doi.org/10.4000/mediterranee.6330>.
- [37] Sénat de l'Algérie. (2004). *Étude Géologique et Pédologique du Territoire National*.
- [38] Ait Chaalal, M. (2005). Géologie des Régions Telliennes de l'Algérie. *Revue de Géologie*, 22(3), 47-62.
- [39] Groupe de Recherche en Géologie de l'Algérie. (2009). *Carte Géologique de l'Algérie, Série 1:250000, Feuillet de Sidi Bel Abbès*.
- [40] Office National de la Météorologie (ONM). (2022). *Rapport Climatique Annuel de l'Algérie*.
- [41] Ministère des Ressources en Eau et de l'Environnement. (2021). *Étude Climatique de l'Algérie*.
- [42] Centre National de la Recherche en Agro-climatologie (CNRA). (2020). *Étude des Conditions Climatiques pour l'Agriculture en Algérie*.
- [43] Salghi, R. (n.d.). Dimensionnement d'une station d'épuration par boues activées. École Nationale des Sciences Appliquées d'Agadir.
- [44] Cherifa, A. (2014). Modélisation d'un réseau d'AEP et contribution à sa gestion à l'aide d'un SIG : Cas du Groupement Urbain de Tlemcen (Travail inédit). <https://doi.org/10.13140/2.1.4131.9207>
- [45] Gaid, A. (1987). *Épuration biologique des eaux usées urbaines : Tome 1*. Alger : Office des Publications Universitaires (OPU).
- [46] Merz, T. (2024). OFFICE INTERNATIONAL DE L'EAU. Consulté le 23 juin 2024. Disponible sur https://www.academia.edu/5289047/OFFICE_INTERNATIONAL_DE_LEAU
- [47] Memento Technique De L'eau 1 Et 2 (2024). Consulté le 31 juin 2024. Disponible sur <http://archive.org/details/memento-technique-de-leau-1-et-2>

- [48] Chadli, A., Benhassaini, H., Fertout-Mouri, N., & Aguiar, H. (2023). La réutilisation des eaux usées, une alternative durable pour la gestion des ressources en eau de la ville de Sidi Bel Abbès (Algérie). *Geo-Eco-Trop*, 46(2), 301-313.
- [49] Agence Algérienne de Bassin Hydrographique Sahara. (2023). Colloque International sur les Ressources en Eaux Souterraines du Sahara (CIRESS) : L'utilisation des eaux usées épurées en irrigation.
- [50] Meddi, M., & Sadeuk Ben Abbes, A. (2013). Analyse statistique et prévision des débits de crues dans le bassin versant de l'Oued Mekerra (Ouest de l'Algérie). *Nature & Technologie*, (10), 21-31.
- [51] Glanic, R., & Benneton, J. P. (1989). Caractérisation des effluents d'assainissement individuel et essais de matériels d'assainissement autonome.
- [52] Direction de la Programmation et de l'Aménagement Territorial (D.P.A.T.). (2023). Recueil des données sur la wilaya de Sidi Bel Abbès.
- [53] Direction de l'Hydraulique de Wilaya de Sidi Bel Abbès (D.H.W. SBA). (2023). Données générales sur le secteur de l'eau, les sources d'alimentation en eau dans la ville de Sidi Bel Abbès (Documents inédits).
- [54] Chadli, A. (2008). Étude de la qualité des eaux usées traitées de la station d'épuration de la ville de Sidi Bel Abbès et leur utilisation en agriculture (Mémoire de Magister, Université de Sidi Bel Abbès, Faculté des Sciences).
- [55] Meliani, H. (2010). Contribution à l'analyse des aspects qualitatifs et quantitatifs des eaux usées et leur utilisation. In Organisation Mondiale de la Santé (OMS), *Guidelines for the safe use of wastewater, excreta, and greywater*.
- [56] Aced, I. (2014). Étude comparative de la qualité des eaux potables de la ville de Sidi Bel Abbès (Mémoire de Master, Université Djillali Liabes, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie).
- [57] Algérienne des Eaux (A.D.E.) Sidi Bel Abbès. (2023). Recueil des données sur la wilaya de Sidi Bel Abbès.
- [58] Amar, S. B. (2015). *Étude du fonctionnement de la station d'épuration et la réutilisation de ses eaux : Cas de la STEP de Sidi Bel Abbes* (Mémoire de magister, Université Djillali Liabès, Sidi Bel Abbes, Algérie).

ANNEXES

Annexe 01

Les normes algériennes d'irrigation.

Paramètres		Unité	ConcentrationMax	
Physiques	pH	-	6.5 ≤ pH ≤ 8.5	
	MES	mg/l	50	
	CE	ds/m	3	
	Infiltration le SAR=0-3 CE	3-6		0.2
		6-12	ds/m	0.3
		12-20		0.5
	20- 40		1.3	
Chimiques	DBO5	mg/l	50	
	DCO	mg/l	90	
	Cl	meq/l	10	
	NO3-N	mg/l	30	
	HCO3	meq/l	8.5	
	Aluminium	mg/l	20.0	
	Arsenic	mg/l	2.0	
	Béryllium	mg/l	0.5	
	Bore	mg/l	2.0	
	Cadmium	mg/l	0.05	
	Chrome	mg/l	1.0	
Elements Toxiques	Cobalt	mg/l	5.0	
	Cuivre	mg/l	5.0	
	Cyanures	mg/l	0.5	
	Fluor	mg/l	15.0	
	Fer	mg/l	20.0	
	Plomb	mg/l	0.002	
	Piomé	mg/l	10.0	
	Lithium	mg/l	2.5	
	Manganèse	mg/l	10.0	
	Mercure	mg/l	0.01	
	Molybdène	mg/l	0.05	
	Nickel	mg/l	2.0	
	Selenium	mg/l	0.02	
	Vanadium	mg/l	1.0	
Zinc	mg/l	10.0		

Source : Journal Officiel de la République Algérienne Démocratique et Populaire. (2012). Normes algériennes d'irrigation. Journal Officiel, n° 41, 15 juillet 2012.

Annexe 02

Directives de la FAO pour les eaux destinées à l'irrigation.

Paramètre de l'eau	Symbole	Unité	Valeurs limites souhaitées	Unité	Valeurs maximales acceptables
Cations et Anions					
Calcium	Ca ⁺⁺	mg/l	20	mg/l	400
Magnésium	Mg ⁺⁺	mg/l	5	mg/l	60,75
Sodium	Na ⁺	mg/l	40	mg/l	920
Carbonates	CO ₃ ⁻⁻	mg/l	0,1	mg/l	3
Bicarbonates	HCO ₃ ⁻	mg/l	10	mg/l	610
Chlorures	Cl ⁻	mg/l	30	mg/l	1065
Éléments nutritifs					
Nitrates	NO ₃ ⁻	mg/l	45	mg/l	45
Ammonium	NH ₃ ⁺	mg/l	6,50	mg/l	6,50
Phosphate	PO ₄ ⁻⁻	mg/l	6,20	mg/l	6,20
Potassium	K ⁺	mg/l	2	mg/l	2
Coefficient d'absorption de Sodium	SAR	meq/l	15	meq/l	15

Source : Food and Agriculture Organization of the United Nations. (1998). Directives pour les eaux destinées à l'irrigation. Rome: FAO.

Annexe 03

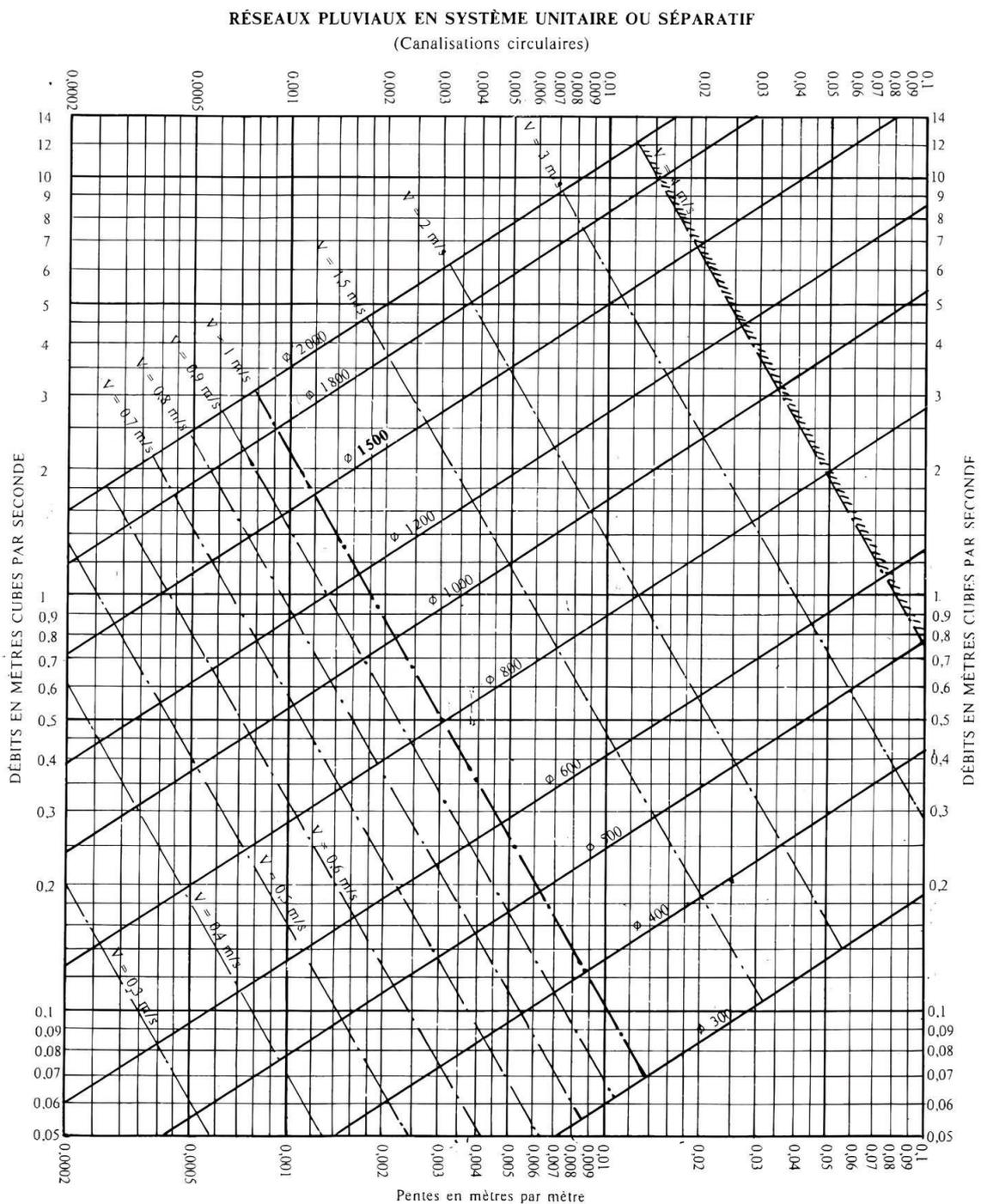
Classification complète des eaux d'irrigation.

Classe	Qualité	Observations
C1-S1	Bonne	Utilisation avec précaution pour certaines plantes.
C1-S2, C2-S1	Moyenne à bonne	Utilisation sous précaution ; nécessite un drainage avec des doses de lessivage et/ou un apport de gypse.
C2-S2, C1-S3, C3-S1	Moyenne à médiocre	Utilisation avec précaution dans les sols lourds et mal drainés, notamment pour les plantes sensibles comme les arbres fruitiers.
C1-S4, C2-S3, C3-S2	Médiocre à mauvaise	Exclusion des plantes sensibles et des sols lourds ; utilisable avec grande précaution dans les sols légers et bien drainés avec des doses de lessivage et/ou apport de gypse.
C2-S4, C4-S2, C3-S3	Mauvaise	À n'utiliser qu'avec grande précaution dans les sols légers et bien drainés, et uniquement pour les plantes résistantes. Risques élevés, lessivage et apport de gypse obligatoires.
C3-S4, C4-S3	Très mauvaise	À utiliser uniquement dans des circonstances exceptionnelles.
C4-S4	Déconseillée	Non recommandée pour l'irrigation.

Source : **Food and Agriculture Organization of the United Nations. (1995). Classification complète des eaux d'irrigation. Rome: FAO.**

Annexe 04

Abaque pour réseau pluviaux en système unitaire ou séparatif
canalisation circulaire.



Nota. - La valeur du coefficient de Bazin a été prise égale à 0,46. Lorsque la pose des canalisations aura été particulièrement soignée, et surtout si le réseau est bien entretenu, les débits pourront être majorés de 20 % ($\gamma = 0,30$). A débit égal, les pentes pourront être réduites d'un tiers.

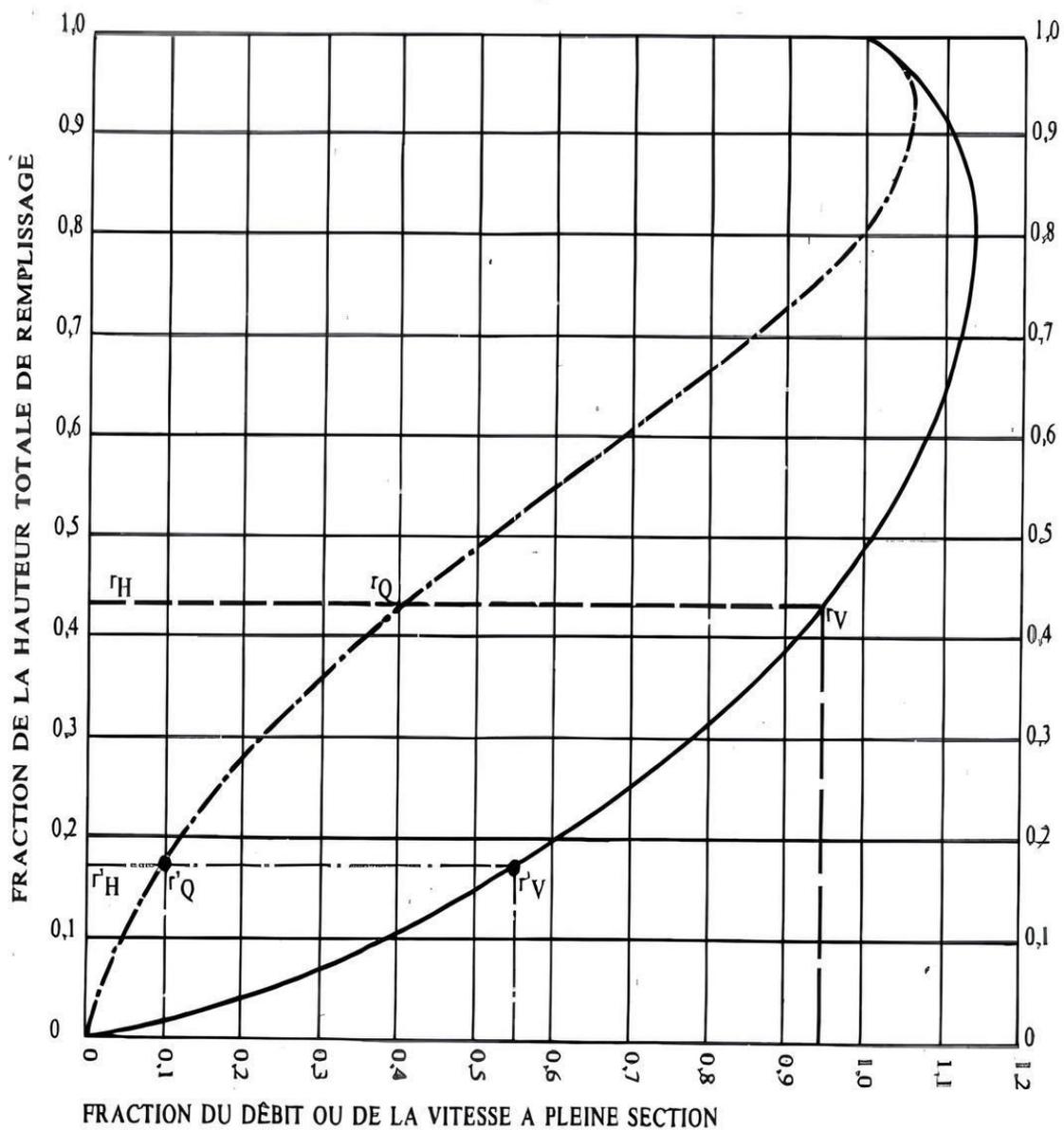
Source : Kerloc'h, B., & Maelstaf, D. (1977). Abaque pour réseau pluviaux en système unitaire ou séparatif canalisation circulaire.

Annexe 05

Variation des débits et vitesses en fonction du remplissage ouvrage circulaire.

VARIATIONS DES DÉBITS ET DES VITESSES EN FONCTION DU REMPLISSAGE

a) Ouvrages circulaires



Source : Kerloc'h, B., & Maelstaf, D. (1977). Variation des débits et vitesses en fonction du remplissage ouvrage circulaire.

Annexe 06

Caractéristiques dimensionnelles (en mm) des canalisations en PEHD.

Diamètre extérieur nominal (mm)	PE100						
	PN4 SDR41	PN6 SDR26	PN10 SDR17	PN12.5 SDR13.6	PN16 SDR11	PN20 SDR9	PN25 SDR7.4
20	-	-	-	-	2	2.3	3
25	-	-	-	2	2.3	3	3.5
32	-	-	2	2.4	3	3.6	4.4
40	-	-	2.4	3	3.7	4.5	5.5
50	-	2	3	3.7	4.6	5.6	6.9
63	-	2.5	3.8	4.7	5.8	7.1	8.6
75	-	2.9	4.5	5.6	6.8	8.4	10.3
90	-	3.5	5.4	6.7	8.2	10.1	12.3
110	-	4.2	6.6	8.1	10	12.3	15.1
125	-	4.8	7.4	9.2	11.4	14	17.1
140	-	5.4	8.3	10.3	12.7	15.7	19.2
160	-	6.2	9.5	11.8	14.6	17.9	21.9
180	-	6.9	10.7	13.3	16.4	20.1	24.6
200	-	7.7	11.9	14.7	18.2	22.4	27.4
225	-	8.6	13.4	16.6	20.5	25.2	30.8
250	-	9.6	14.8	18.4	22.7	27.9	34.2
280	-	10.7	16.6	20.6	25.4	31.3	38.3
315	7.7	12.1	18.7	23.2	28.6	35.2	43.1
355	8.7	13.6	21.1	26.1	32.2	39.7	48.5
400	9.8	15.3	23.7	29.4	36.3	44.7	54.7
450	11	17.2	26.7	33.1	40.9	50.3	61.5
500	12.3	19.1	29.7	36.8	45.4	55.8	-
560	13.7	21.4	33.2	41.2	50.8	62.5	-
630	15.4	24.1	37.4	46.3	57.2	70.3	-
710	17.4	27.2	42.1	52.2	64.5	79.3	-
800	19.6	30.6	47.4	58.8	72.6	89.3	-
900	22	34.4	53.3	66.1	81.7	-	-
1000	24.5	38.2	59.3	73.4	90.8	-	-
1200	29.4	45.9	71.1	88.2	-	-	-
1400	34.3	53.5	83	102.9	-	-	-
1600	39.2	61.2	94.8	117.5	-	-	-

Source: **Plastima.(2024).Tube PEHD Pression.[Enligne].Disponible sur:**
<https://plastimacanalisations.com/nos-produits/irrigation-2/pehd/>.