

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

NATIONAL HIGHER SCHOOL FOR
HYDRAULICS

"The MujahidAbdellah ARBAOUI"



المدرسة الوطنية العليا للري

"المجاهد عبد الله عرابوي"

HYDRAULICS

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

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

Option : REUTILISATION DES EAUX NON CONVENTIONNELLE

THEME :

DIMENTIONNEMENT DE LA STATION D'EPURATION DE LA
VILLE DE MANSOURA WILLAYA DE BORDJ BOU ARRIRIDJ
EN VUE DE LEUR REUTILISATION.

Présenté par :

BENMEDJDOUB Merouane

Devant les membres du jury

Nom et Prénoms	Grade	Qualité
ZEROUAL Ayoub	M.C.A	Président
KHALED HOULI Samia	M.A.A	Examinateur
KHEDIM ALLAH Abderrahmane	M.A.A	Examinateur
TAFAT Leila	M.A.A	Examinateur
LEULMI MEDJDOUB Sonia	M.C.B	Promotrice

Session septembre 2023

Dédicace

Je dédie ce travail :

- ❖ Mon grand-père Mohamed (mhand) le meilleur grand-père du monde

- ❖ A ma famille Benmedjdoub, mon père Mouloud et ma mère mon frère AlAid (Ido) et mes sœurs, je les dis merci pour tout votre énergie positive durant le travail.

- ❖ A mes tantes Saliha et Nasira et mes oncles Idris, Yahia (Kdour), Abas, Mohamed Sghir.

- ❖ A mes amis de Mansoura Aissam, Moukhtar, Mohamed, Aissa, Oussama, Moudjib, Amin et Aziz, Lyes, Islam, Salah.

- ❖ A mes amis de promotion Monsif, Nadir, Mourad, Zied, Abed, Baderdin, Mohamed, Elhachmi Zourigue, Imad, Anes, Hamid, Abeslame, Mohamed.

- ❖ A mes cousins Sliman et son fils Salim, Mohamed Taher et Abdelhak, Sofiane et Zoubir Soualah.

- ❖ Les ingénieurs de CTH (Imad Ferrah, Lakhdar, Brahim, Amin, Nouari) et de la DRE de Bordj Bou Arridj (Hakim, Zouhir, Farid, Ali)

Remerciement

Je remercie Dieu de m'avoir guidé dans l'accomplissement de ce travail et je lui suis reconnaissant pour les bienfaits de la bonne santé et de l'énergie positive tout au long de la période de travail.

Je remercie également mes parents et ma famille pour leur soutien matériel et moral.

J'en profite pour remercier mon professeure encadrante Mme Medjdoub Sonia pour tous les conseils et suggestions qu'elle m'a donnés afin d'accomplir le travail de manière professionnelle et impeccable.

Je remercie également tous les professeurs de l'école, chacun par son nom et sa personnalité.

ملخص

الدولة الجزائرية بسياساتها المشجعة على الاستثمار في قطاع حماية البيئة . اتخذت خطوات كبيرة في هذا المجال عن طريق تشييد العديد من محطات تصفية مياه الصرف الصحي وذلك لمعالجة المياه الملوثة. في مشروعنا قمنا بتصميم محطة تصفية مياه الصرف الصحي لمدينة المنصورة قصد حمايتها من مخاطر تلوث الوسط المستقبل لهذه المياه و هو واد المهير . هذا و بالإضافة الى امكانية اعادة استعمال المياه المعالجة في سقي محاصيل معينة في تلك المنطقة او اعادة استعمالها في غسل الاحجار المستخرجة من المحاجر القريبة لموقع المحطة.

الكلمات المفتاحية : البيئة , محطة تصفية مياه الصرف الصحي, اعادة استعمال.

Résumé :

L'État algérien, avec sa politique encourageant l'investissement dans le secteur de la protection de l'environnement, a pris des mesures importantes dans ce domaine en construisant de nombreuses stations d'épuration des eaux usées pour traiter les eaux polluées. Dans notre projet, nous avons conçu une station d'épuration des eaux usées de la ville de Mansoura pour la protéger des risques de pollution de milieu récepteur, qui est « oued ElMhir ». En plus de la possibilité de réutiliser les eaux traitées pour irriguer certaines cultures dans cette zone ou de les réutiliser pour laver les pierres extraites des carrières proches du site de la station.

Mots clés: environnement, station d'épuration, réutiliser.

Summary :

The Algerian state has taken significant measures to protect the environment through its policy of encouraging investment in the environmental protection sector. These measures include the construction of numerous wastewater treatment plants to treat polluted water. In our project, we designed a wastewater treatment plant for the city of Mansoura to protect the receiving environment from pollution, which is the Mehair River. In addition, the treated water can be reused to irrigate certain crops in the area or to wash stones extracted from quarries near the plant site.

Key words: environment, wastewater treatment, reuse.

Sommaire

Introduction générale	1
Chapitre I : Généralités sur les eaux usées et leur épuration	
I.1 Introduction	3
I.2 Caractéristique des effluents entrant à une station d'épuration.....	3
I.2.1 Origine des eaux usées.....	3
I.2.2 Caractéristiques des eaux usées.....	4
I.2.2.1 Paramètres physiques	4
I.2.2.2 Paramètres chimiques	6
I.2.2.3 Paramètres biologiques.....	10
I.3.1 Traitement classique.....	11
I.3.1.1 Prétraitement.....	11
I.3.1.2 Traitement primaire (décantation primaire).....	13
I.3.1.3 Le traitement secondaire (biologique).....	13
I.4.1 Les procédés intensifs ou artificiel.....	16
I.4.1 Décantation secondaire (clarificateur).....	19
I.5. Traitements tertiaires ou complémentaires.....	19
I.6. Situation actuelle de l'épuration en Algérie.....	22
I.7. Conclusion.....	24

Chapitre II : présentation de la zone d'étude

II .1. Introduction.....	26
II .2. Situation géographique et administratif.....	26
II .3. Situation climatologique.....	27
II .3.1. Conditions météorologiques	27
II .3.2. Précipitation atmosphérique.....	28
II .3.3. Température de l'air.....	29
II .3.4. Évaporation.....	30
II .3.4. Régime de vent.....	30
II .3.5. Humidité.....	31
II .3.6. Ressources hydriques.....	31
II .4. Situation démographique.....	31

II .5.Situation socio-économique.....	32
II .5.2.Secteur scolaire.....	32
II .5.3.Secteur administratif.....	32
II .5.4.Secteur publique.....	33
II .5.5.Secteur Agricole.....	33
II .5.6.Secteur industriel.....	34
II .6.Situation hydraulique.....	34
II .7.1.Choix de site de la station d'épuration.....	36
II .7.2 Les avantages du site.....	37
II .7.3.Les inconvénients du site.....	37
II .8.choix de système d'épuration.....	38
II .9.Conclusion.....	39

Chapitre III : dimensionnement de la station d'épuration

III .1.Introduction.....	41
III.2.Estimatin des besoins.....	41
III2.1.Estimation des besoins domestiques.....	41
III.2.2. Besoins d'équipements intercommunale.....	42
III2.3. calcule de besoin total.....	43
III2.3.Calcul de débit des eaux usées évacue.....	43
III2.3.Calcul de débit de pointe.....	43
III2.4.capacité de future station d'épuration.....	44
III.3. Calcul des charges polluantes.....	44
III.3.1. présentation des analyses des eaux usées évacuées au STEP.....	44
III.3.2. Calcul des charges polluantes.....	46
III.3.2 Filière d'épuration.....	47
III.4. Dimensionnement de prétraitement.....	50
III.4.1.Dégrieure.....	50
III.4.1.1 dimensionnement du dégrillage grossier.....	51
III.4.1.2 Dimensionnement du dégrillage fin.....	51
III.4.2 Dessableur-Déhuileur.....	54

III.4.2.1 Dimensionnement de Déssableur-Déhuilleur.....	54
III.4.2.2 Fiche technique de déssableur-déhuilleur.....	55
III.4.3 Calcule des charges éliminé dans l'étape de prétraitement.....	55
III.5 Traitement prémaire (décanteur prémaire)	56
III.5.1 Dimentionnement de décanteur prémaire.....	56
III.6 Traitement secondaire (bassin d'biologique).....	58
III.5.1 Dimentionnement du bassin d'aération.....	58
Tableau III.5.1 fiche technique du bassin d'aération.....	60
III.7 : Traitement tertiaire.....	68
III.8 : phase boues.....	71
III.8 .1 Dimentionnement d'épaississeur.....	71
III.8 .1 résultat de calcule de l'épaississeur.....	72
III.9 fiche technique des ouvrages de la future STEP.....	73
III.10 Conclusion.....	75

IV.1 : Calcule hydraulique

IV.1 Introduction	77
IV.2 Côtes du terrain des zones d'implantation des ouvrages.....	77
IV.3 Dimensionnement des conduites reliant les différents ouvrages de la station d'épuration.....	77
IV.2 Calcul des longueurs des conduites reliant les ouvrages.....	78
IV.5.1. Calcul des diamètres des conduites reliant les ouvrages et les côtes piézométriques.....	80
IV.6 Dimentionnement de déversoir d'orage	81
IV.6.1. Composition des organes d'un déversoir d'orage.....	81
IV.6.2 Type des déversoirs.....	82
IV.6.2Dimensionnent des déversoirs d'orages : La hauteur d'entrée.....	84

Chapitre : V Organisation de chantier et estimation de cout général

V.1 Introduction.....	86
V.2 Travaux de réparations et installation de chantier.....	86
V.3 Installations destinées aux personnels.....	87
V.4 Installations destinées au stockage des matériaux.....	87
V.5 Installations destinées à la réparation des engins.....	87
V.5 Moyens des travaux de chantier.....	88
V.5.1 Moyens humains.....	88
V.5.2 Moyens matériels.....	88
V.6 Devis quantitatif et estimatif.....	88
V.7 Calcule le Coût d'investissement.....	89
V.7.1 Le Coût de terrassement.....	89
V.7.2 Le Coût du béton armé.....	90
V.7.3 Cout de génie civile.....	91
V.7.5 Coût des équipements électromécaniques et électriques et des installations hydromécaniques.....	91
V.7.6 Coût total d'investissement de la station d'épuration.....	91
V.8 Le Coût de fonctionnement	91
V.8.1 Le coût de main d'œuvre.....	91
V.8.2 Le coût de renouvellement du matériel électromécanique.....	92
V.8.3 Le coût des frais financiers.....	92
V.8.4 Le coût de fonctionnement total.....	92
V.9 Calcul du prix du m3 d'eau traitée.....	92
V.10 Récapitulatif.....	94
V.11 Conclusion.....	95
Conclusion générale.....	96

Liste des tableaux

Chapitre I : Généralités sur les eaux usées et leur épuration

Tableau I.1 Le risque du SAR dans l'eau d'irrigation.....	10
Tableau I.2.1récapitulatif des Avantages et inconvénients.....	16
Tableau I.3.1récapitulatif des avantages et inconvénients.....	18

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

Tableau II .1 de coordonnées de la station retenue	28
Tableau II .2 : Répartition mensuelle des précipitations (période 1977au 2013)	29
Tableau II .3 Répartition mensuelle des températures (période 1992/2005)	30
Tableau II .4 : Répartition mensuelle d'évaporation	31
Tableau II .5 : population de Mansoura et ElMhir pour 2023 et pour déférent horizons...33	
Tableau II .6: Réparation des équipements administratifs	33
Tableau II .7: Réparation des équipements publique.....	34
Tableau II .8: présentation des superficies agricoles de chaque type d'agriculture	34
Tableau II .9: présentation des industries existe dans les deux communes....	35
Tableau II .10: présentation des fourrages existant dans les deux communes ..	36
Tableau II.11. Le nombre des réservoirs existants dans les deux communes et leur capacité de stockage....	36
Tableau II.12 Linéaire de réseau d'assainissement inter communale.....	37
Tableau II .13: chiffres générales des systèmes d'épurations.....	39

Chapitre III : Dimentionnement de la station d'épuration

Tableau III.1 Besoins domestiques.....	40
Tableau III.2 Besoins d'équipements intercommunale.....	41
Tableau III.3 calcule des débits en temps sec et en temps de pluie.....	43
Tableau III.4. Présentation des analyses des eaux usées arrive au future STEP.....	44
Tableau III.5 tableau d'évaluation de DCO/DBO5 pour la biodégradabilité.....	45
Tableau III.6 Quantité des charges polluantes.....	45
Tableau III.7 Les paramètres utilisé pour le dimensionnement de la future STEP.....	46
Tableaux III.8: Diamètres et espacement des barres de grille grossière et fin.....	49
Tableaux III.9: Les données de base de dimensionnement du dégrillage grossier.....	50

Tableau III.10: Les données de base de dimensionnement du dégrillage grossier.....	50
Tableau III.11 : Valeur de δ	51
Tableau III.12 Fiche technique de dégrilleur.....	52
Tableau III.13 Données nécessaire pour le dimensionnement.....	53
Tableau III.14 Fiche technique de déssableur-déhuilleur.....	54
Tableau III.15 Les charges éliminé dans l'étape de prétraitement.....	54
Tableau III.16: Les valeurs limite de chute en fonction de K.....	55
Tableau III.17: Bilan de charges polluantes dans l'étape de traitement prémaire.....	56
Tableau III.18 Fiche technique de décanteur prémaire.....	56
Tableau III.19 fiche technique du bassin d'aération.....	59
Tableau III.20 valeurs de (a') et (b') en fonction du type de traitement par boues activées...	60
Tableau III.21 fiche technique des besoins en oxygène.....	62
Tableau III.22 Récapitulatif de calcule de bilan des boues.....	64
Tableau III.23 fiche technique du clarificateur.....	66
Tableau III.24 Bilan des charges polluantes dans l'étape de traitement secondaire.....	66
Tableau III.25 : valeurs des paramètres de calcule.....	67
Tableau III.26: Caractéristique des fluides du rétro-lavage.....	68
Tableau III.27: Résultats de calcul d'un filtre à sable.....	69
Tableau III.28 résultat de calcule de l'épaississeur.....	71
Tableau III.29 : Résultats de calcul du filtre à bande de déshydratation.....	72
Tableau III.30fiche technique de la future STEP à l'horizon 2063.....	72

Chapitre IV : Calcul hydraulique

Tableau IV 1: Côte du terrain naturel des points d'implantation des ouvrages.....	77
Tableau IV.2 Longueur de chaque tronçon.....	78
Tableau IV.3: Récapitulatif de calcul des différentes côtes des ouvrages de la station.....	81

Chapitre IV : Organisation de chantier et estimation de cout générale

Tableau V.1: Le coût de terrassement de chaque ouvrage.....	89
Tableau V.2 : Le coût du béton armé.....	90
Tableau V.3 Récapitulatif.....	93

Liste des figures

Chapitre II : Généralités sur les eaux usées et leur épuration

Figure I.1 Les différentes étapes de la métabolisation de la pollution azotée.....	8
Figure I.2 Représentation graphique de la relation du SAR et CE.....	10
Figure I.3 Ouvrage de dégrillage.....	12
Figure I.4 Ouvrage de dessablage-déshuilage combinés.....	12
Figure I.5 Lagunage naturel.....	14
Figure I.6 Les mécanismes en jeu dans les bassins de lagunage naturel.....	15
Figure I.7 Schéma de principe d'un lagunage aéré.....	16
Figure I.8 Synoptique d'une station d'épuration principe comportant un disque biologique.....	17
Figure I.9 synoptique d'une station d'épuration comportant un lit bactérien.....	17

Chapitre II : Présentation de la zone d'étude

Figure II. 1 : Situation géographique de Mansourah et Elmhir	28
Figure II. 2 : Variation des mensuelle et annuelle de précipitation de Mansoura.....	29
Figure II .3 : Variation des moyennes mensuelles des températures de Mansoura ..	30
Figure II .4 Variation d'évaporation moyenne mensuelle de Mansoura	31
Figure II.5 : Le site de la STEP sur google earth	37
Figure II.6 : Le site de la STEP sur tirent	38

Chapitre III : Dimensionnement de la station d'épuration

Figure III.1 Procédés d'épuration des eaux usées.....	50
---	----

Chapitre IV : Calcul hydraulique

Figure IV.1: principe du déversoir d'orage.....	82
---	----

Introduction générale

L'eau est l'une des ressources les plus précieuses de notre planète. Elle est essentielle à la vie, à l'agriculture, à l'industrie et à de nombreux autres aspects de notre existence quotidienne. Cependant, malgré sa grande importance, nous faisons face à une pénurie d'eau mondiale croissante qui constitue un défi majeur pour l'humanité.

Le manque d'eau est un problème qui touche de nombreuses régions du monde, et il est aggravé par plusieurs facteurs. La croissance démographique, l'urbanisation rapide, l'industrialisation et le changement climatique ont tous contribué à la diminution des ressources en eau douce disponibles. De plus, les pratiques agricoles intensives et l'utilisation excessive de l'eau dans de nombreux secteurs ont également épuisé nos réserves d'eau. Face à cette situation critique, il est impératif de trouver des solutions innovantes pour faire face à la pénurie d'eau. L'une de ces solutions est l'utilisation des systèmes d'épuration pour réutiliser les eaux non conventionnelles. Les eaux non conventionnelles comprennent les eaux usées domestiques, les eaux grises issues des activités ménagères et les eaux de ruissellement urbain.

Les systèmes d'épuration permettent de traiter ces eaux afin de les rendre utilisables à nouveau. Le processus de traitement élimine les impuretés, les contaminants et les substances nocives présentes dans les eaux usées, transformant ainsi ces eaux en une ressource précieuse pour divers usages. Cette approche de réutilisation des eaux non conventionnelles contribue à économiser les ressources en eau douce, à réduire la pression sur les sources d'eau existantes et à assurer un approvisionnement durable en eau.

De plus, les systèmes d'épuration offrent des avantages supplémentaires tels que la réduction de la pollution environnementale et la préservation des écosystèmes aquatiques. En recyclant les eaux usées, nous pouvons également réduire notre empreinte hydrique globale et améliorer la résilience de nos communautés face aux défis futurs liés à la disponibilité de l'eau. Alors, le manque d'eau mondiale est un défi majeur qui nécessite une action immédiate. Les systèmes d'épuration et la réutilisation des eaux non conventionnelles constituent une solution prometteuse pour préserver cette ressource vitale et garantir un approvisionnement en eau durable pour les générations futures. En investissant dans ces technologies et en promouvant des pratiques responsables en matière de gestion de l'eau, nous pouvons créer un avenir où l'eau est abondante et accessible pour tous.

Chapitre I : Généralité sur les eaux usées et leur épuration

I.1 Introduction :

Les eaux usées sont des eaux polluées qui résultent des activités humaines, qu'elles soient domestiques, industrielles ou agricoles. Elles contiennent une grande quantité de substances organiques, de nutriments, de matières en suspension et de polluants chimiques, qui peuvent avoir des effets néfastes sur l'environnement et la santé publique s'ils ne sont pas traités correctement. La gestion des eaux usées est donc une préoccupation majeure dans le domaine de l'environnement et de la santé publique. Ce texte vise à fournir une introduction générale aux eaux usées et à leur épuration, en présentant les principales sources de pollution, les enjeux associés à leur traitement, les différentes technologies d'épuration disponibles et les normes environnementales applicables.

I.2 Caractéristique des effluents entrant à une station d'épuration :

I.2.1 Origine des eaux usées :

➤ **Les effluents domestiques :**

Les effluents domestiques sont un mélange d'eaux provenant des activités humaines, comprenant les déjections humaines, les eaux ménagères et les eaux pluviales. Ils contiennent des matières organiques dégradables et des matières minérales, sous forme dissoute ou en suspension. Leur traitement adéquat est crucial pour prévenir la pollution de l'eau et préserver la santé publique et l'environnement. Les systèmes de traitement des eaux usées visent à éliminer ces contaminants et à produire une eau traitée propre et sûre. En Algérie, la pollution journalière produite par une personne utilisant de 150 à 200 litres d'eaux est évaluée :

- de 70 à 90 g de matières en suspension
- de 60 à 70 g de matières organiques
- de 15 à 17 g de matières azotées
- 4 g de phosphores
- Plusieurs milliards de germes pour 100 ml

➤ **Les effluents industriels**

Ces eaux sont l'origine d'activités industrielles. Leurs caractéristiques varient d'une industrie à l'autre. En plus des matières organiques, azotées ou phosphorées, elles sont chargées en différentes substances chimiques organiques et métalliques. Selon leur origine industrielle

Elles peuvent également contenir :

- Des graisses (industries agroalimentaires...).
- Des hydrocarbures (raffineries).
- Des métaux (traitements de surface, métallurgie).
- Des acides des bases et divers produits chimiques
- De l'eau chaude (circuit de refroidissements des centrales thermiques).
- Des matières radioactives (centrales nucléaires, traitement des déchets radioactifs).

➤ Les effluents d'agriculture :

L'agriculture constitue la première cause des pollutions diffuses. Les pollutions d'origine agricole englobent à la fois celles qui ont trait aux cultures (pesticides et engrais) et à l'élevage, ces eaux agricoles issues de terres cultivées chargés d'engrais nitrates et phosphatés, conduisent par ruissellement peuvent causée la pollution des nappes les plus superficielles et des eaux des cours d'eau ou des retenues.

I.2.2 Caractéristiques des eaux usées :

Les normes de rejet des eaux usées, fixent des indicateurs de qualité physico-chimique et biologiques. Ce potentiel de pollution généralement exprimé en mg/l, est quantifié et apprécié par une série d'analyse. Pour les eaux usées domestiques, industrielles et les effluents naturels, on peut retenir les analyses suivantes :

I.2.2.1 Paramètres physiques :

- Température (T) :

La température est un facteur écologique important des milieux aqueux. Son élévation peut perturber fortement la vie aquatique (pollution thermique). Il est important de connaître la température de l'eau avec une bonne précision, en effet elle joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, dans la dissociation du pH, pour la connaissance de l'origine de l'eau et des mélanges éventuels. Elle agit aussi comme un facteur physiologique agissant sur le métabolisme de croissance des micro-organismes vivant dans l'eau.

- Odeur :

L'eau d'égout fraîche a une odeur fade qui n'est pas désagréable, par contre en état de fermentation, elle dégage une odeur nauséabonde.

Les eaux résiduaires industrielles (ERI) se caractérisent par une odeur de moisi. Toute odeur est signe de pollution qui est due à la présence de matière organique en décomposition.

- Couleur :

La coloration d'une eau peut être soit d'origine naturelle, soit associée à sa pollution (composés organiques colorés). La coloration d'une eau est donc très souvent synonyme de la présence de composés dissous et corrélativement la présence de solutés induit une coloration qui ne se limite pas au seul du domaine du visible.

- Turbidité :

La turbidité est un phénomène optique dû aux particules en suspension, peut être mesurée aisément en continu. Pour mesurer la valeur de turbidité on détermine l'intensité de la lumière diffusée par les particules, soit l'atténuation de la lumière transmise (coefficient de diffusion) ou l'intensité de la lumière diffusée sous un angle latéral défini. Les unités utilisées pour exprimer la turbidité proviennent de la normalisation ASTM (American Society for Testing Material) qui considère que les trois unités suivantes sont comparables :

Unité JTU (Jackson Turbidity Unit) = Unité FTU (Formazine Turbidity

Chapitre I : Généralité sur les eaux usées et leur épuration

Unit) = Unité NTU (Nephelometric Turbidity Unit)

- Matières en suspension (MES)

Il s'agit de matières qui ne sont ni solubilisées ni colloïdales, ils sont classés entre les particules minérales du type sable et les particules minérales du type mucilagineuse. Elles comportent des matières organiques et des matières minérales.

Les concentrations en MES dans les eaux usées sont très variables, et sont de l'ordre de 300 mg/l.

Les MES s'expriment par la relation suivante :

$$\text{MES} = 30\% \text{ MMS} + 70\% \text{ MVS}$$

Avec :

MES : matières en suspension

MMS : matières minérales en suspension

MVS : matières volatiles en suspension

- Matières volatile en suspension

Elles représentent la fraction organique des matières en suspension. Elles sont mesurées par calcination à 650°C d'un échantillon dont on connaît déjà la teneur en MES. Elles constituent environ 70 à 80% de MES.

- Matières minérales

C'est la différence entre les matières en suspension et les matières volatiles. Elles représentent donc le résidu de la calcination, et correspondent à la présence de sels, silice, poussières par exemple.

Pour la détermination des matières en suspension (M.E.S) nous avons utilisé la méthode par filtration sur disque filtrant de 0.45µm. Le filtre est séché à 105°C puis pesé après refroidissement. (Norme EN 872: 1996). Le taux des matières en suspension (MES), exprimé en milligramme par litre (mg/l) est donné par l'expression :

$$\text{MES} = (M1 - M0) \cdot 1000 / V$$

Dont :

V : Le volume en ml d'échantillon utilisé ;

M0 : La masse en mg du disque filtrant avant utilisation ;

M1 : La masse en mg du disque filtrant après utilisation. (Rodier, 2005)

I.2.2.2 Paramètres chimiques

- **Conductivité électrique (CE)**

La conductivité électrique est la propriété que possède une eau de favoriser le passage d'un courant électrique et qui représente sa salinité. Elle est due à la présence dans le milieu d'ions qui sont mobiles dans un champ électrique. Elle dépend de la nature de ces ions dissous et de leurs concentrations.

La conductivité électrique d'une eau est la conductance d'une colonne d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm². L'unité de conductivité est le siemens par mètre (S/m). on la mesure à l'aide d'un conductimètre

$$1 \text{ S/m} = 104 \text{ } \mu\text{S/cm} = 103 \text{ mS/m}$$

- **Le potentiel Hydrogène (pH)**

Le potentiel hydrogène représente l'acidité ou l'alcalinité d'une solution. L'acidité, la neutralité et l'alcalinité d'une solution aqueuse peut s'exprimer par la concentration en H₃O⁺ (noté H⁺ pour simplifier).

Le pH d'une eau domestique ou urbaine se situe généralement entre 6.8 à 7.8.

- **Demande biochimique en oxygène (DBO)**

Demande Biochimique en Oxygène correspond à la quantité de dioxygène nécessaire aux micro-organismes aérobies de l'eau pour oxyder les matières organiques, dissoutes ou en suspension dans l'eau. Il s'agit donc d'une consommation potentielle de dioxygène par voie biologique. Ce paramètre constitue un bon indicateur de la teneur en matières organiques biodégradables d'une eau au cours des procédés d'autoépuration.

Pour être complète, l'oxydation biologique nécessite un temps de 20 à 28 jours, on mesure dans ce cas la DBO Ultime ou DBO₂₁ ou DBO₂₈ ; cette période étant longue, on a choisi par convention une mesure après 5 jours d'incubation appelée DBO₅.

- **Demande chimique en oxygène (DCO)**

La demande chimique en oxygène traduit la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder chimiquement les matières organiques contenues dans l'effluent.

La mesure de la DCO se fait à l'aide d'un oxydant énergétique comme le bichromate de potassium, en milieu acide, et à chaud pendant deux heures. On estime que cette oxydation détruit à 90-95% des composés. Cependant, elle s'applique à des composés qui ne jouent aucun rôle dans le déficit en oxygène d'un cours d'eau. Il s'agit par exemple, des halogénures minéraux (sauf le fluor). Il est souvent recommandé d'effectuer la mesure de la DCO avant celle de la DBO afin d'estimer la proportion des dilutions à effectuer.

Elle est exprimée en mg O₂/l. Généralement la valeur de la DCO est : DCO = 1.5 à 2 fois DBO Pour les eaux usées urbaines.

DCO = 1 à 10 fois DBO Pour tout l'ensemble des eaux résiduaires. DCO > 2.5 fois DBO Pour les eaux usées industrielles.

Chapitre I : Généralité sur les eaux usées et leur épuration

La relation empirique de la matière organique (MO) en fonction de la DBO5 et la DCO est donnée par l'équation suivante (kg/jours) :

$$MO = (2 \times DBO5 + DCO) / 3$$

Notion de biodégradabilité :

La biodégradabilité traduit l'aptitude d'un effluent à être décomposé ou oxydé par les microorganismes qui interviennent dans le processus d'épuration biologique des eaux.

La biodégradabilité est exprimée par un coefficient K, tel que :

$$K = DCO/DBO5$$

Si $K < 1.5$: cela signifie que les matières oxydables sont constituées en grande partie de matières fortement biodégradables

Si $1.5 < K < 2.5$: cela signifie que les matières oxydables sont moyennement biodégradables.

Si $2.5 < K < 3$: les matières oxydables sont peu biodégradables. Si $K > 3$: les matières oxydables sont non biodégradables.

La valeur du coefficient K détermine le choix de la filière de traitement à adopter, si l'effluent est biodégradable on applique un traitement biologique, sinon on applique un traitement physicochimique.

- Azote Global (NGL)

Quantité totale d'azote (en N mg/l) correspondant à l'azote organique (N_{org}) et ammoniacal (ion ammonium, NH_4^+) et aux formes minérales oxydées de l'azote nitrates (NO_3^-) et nitrites (NO_2^-). L'analyse de l'ammoniac est réalisée sous un PH élevé par la technique de minéralisation (chauffage et condensation) et un test de colorimétrie. Le test kjeldahl consiste à faire subir à un échantillon, un processus de digestion où l'azote organique est transformé en ammoniac. Par conséquent, l'azote Kjeldahl (NTK) représente l'azote organique et ammoniacal. Les formes oxydées (nitrates et nitrites) sont mesurées par colorimétrie.

- Nitrates (NO_3^-)

Les nitrates constituent la forme azotée la plus dominante dans les cours d'eau et dans les nappes d'eau souterraine. Ils proviennent généralement de la décomposition de la matière organique par oxydation bactérienne des nitrites et constituent ainsi l'ultime produit de la nitrification. Une augmentation de la pollution azotée entraîne d'une manière générale une croissance excessive des algues et plantes dans le milieu récepteur et une consommation supplémentaire de l'oxygène dissous, d'où une dégradation du milieu aquatique (Phénomène d'eutrophisation).

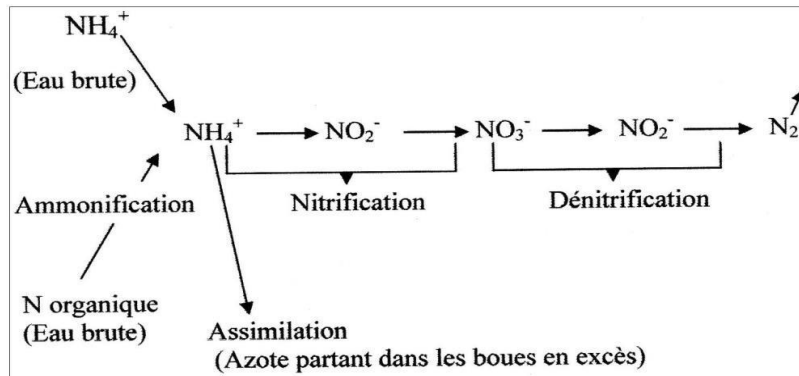


Figure I.1 Les différentes étapes de la métabolisation de la pollution azotée [1]

- **Phosphore Total (PT)**

Quantité (en P mg/l) correspondant à la somme du phosphore contenu dans les orthophosphates (PO_4^{3-}), les polyphosphates et le phosphate organique. Le phosphore qui pollue les eaux est en majeure partie sous forme de phosphates (PO_3^-). Généralement ce composé est déterminé directement par addition d'une substance chimique qui forme un complexe coloré avec le phosphate. [1]

- **Métaux lourds**

Les éléments traces métalliques sont généralement définis comme des métaux lourds. On appelle métaux lourds tout élément métallique naturel dont la masse volumique dépasse 5 g/cm^3 .

Ils englobent l'ensemble des métaux et métalloïdes présentant un caractère toxique pour l'homme : le plomb, le mercure, l'arsenic et le cadmium. D'autres comme le cuivre, le zinc, le chrome, pourtant nécessaires à l'organisme en petites quantités, peuvent devenir toxiques à doses plus importantes.

Les métaux lourds se trouvent dans les eaux usées urbaines à l'état de trace. Des concentrations élevées sont en général révélatrices d'un rejet industriel, sans aucun doute. Leur présence, est nuisible pour l'activité des micro-organismes, donc perturbe le processus d'épuration biologique.

Chapitre I : Généralité sur les eaux usées et leur épuration

- **TDS (solides totaux dissous)**

On mesure tous les sels dissous dans l'eau. L'unité de mesure est le mg/l. C'est important de connaître la concentration des TDS dans l'eau car si elle est élevée cela provoque de la corrosion et de l'incrustation. On détermine les TDS avec des testeurs à affichage digital faciles à utiliser. Charge massique et volumique et âge des boues

On caractérise un bassin d'aération par :

Charge volumique C_v : il s'agit du rapport Kg DBO5/ m³ de réacteur

Charge massique C_m : il s'agit du rapport Kg DBO5/ Kg MES et par jour

Charge massique C_m' : il s'agit du rapport Kg DBO5/ Kg biomasse et par jour

La charge massique s'exprime ainsi soit par rapport à la masse de la MES contenue dans le bassin biologique, C_m , ou soit par rapport à la masse de la MVS, C_m'

Age des boues : il s'agit du rapport entre la biomasse présente dans le réacteur et la quantité de boue purgée chaque jour. Dans la plus part des cas, l'optimum de C_m est déterminé afin d'éviter :

Pour les faibles charges, il n'y a pas assez de nourriture et la respiration endogène a lieu.

Au contraire, si le substrat est abondants, il y a formation de microorganismes filamenteux, les floccs prennent des dimensions anormalement élevées et décantent mal. C'est le phénomène de gonflement des boues ou « Bulking ». Il en résulte une boue légère constituée de capsules cellulaires et donc de mauvaise sédimentabilité. Il y a dispersion des floccs.

- **L'Alcalinité SAR**

Le rapport d'adsorption du sodium (SAR) qui exprime l'activité relative des ions de sodium dans les réactions d'échange dans les sols. Cet indice mesure la concentration relative du sodium par rapport au calcium et au magnésium.

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}}$$

C : concentration en ion en mol/m³

Na: Sodium; Ca: Calcium; Mg: Magnesium

Si les unités sont en meq/L, la somme de C(Ca) + de C(Mg) doit être divisée par deux avant de prendre la racine carrée.

Tableau I.1 Le risque du SAR dans l'eau d'irrigation [1]

	SAR	Notes
Nul	< 3.0	Pas de restriction sur l'utilisation d'eau
Léger à modéré	3.0 -	Entre 3 et 6, une attention particulière doit être portée sur les récoltes sensibles. Entre 6 et 8 du gypse doit être utilisé. Récoltes non sensibles. Des échantillons de sol doivent être prélevés et examinés tous les 1 ou 2 jours pour déterminer s'il y a une Augmentation des teneurs en Sodium.
Elevé	> 9.0	Domage sévère.

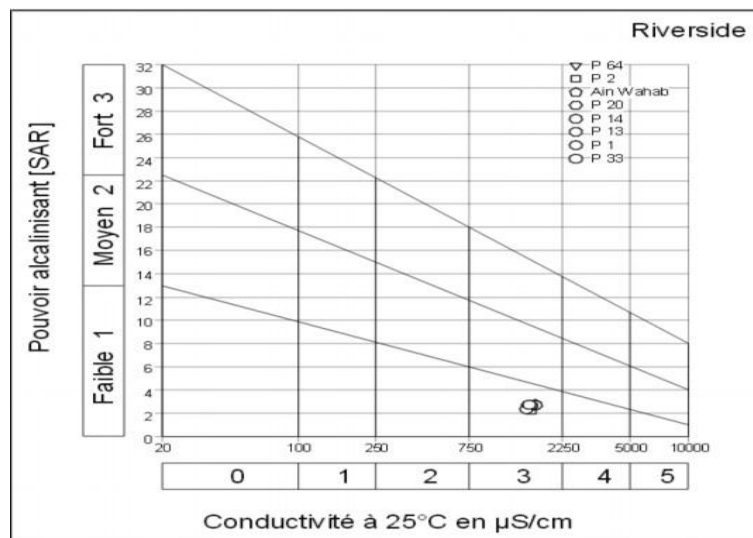


Figure I.2 Représentation graphique de la relation du SAR et CE [1]

- **L'oxygène dissous**

L'oxygène dissous est un composé essentiel de l'eau car il conditionne les réactions biologiques qui ont lieu dans les écosystèmes aquatiques. Dans le domaine de l'épuration, il est indispensable pour la dégradation des matières polluantes qui se fait principalement en aérobiose. La mesure s'effectue à l'aide d'un oxymétrie de type Oxi 179-S.

I.2.2.3 Paramètres biologiques

Les micro-organismes qui se trouvent dans l'eau usée sont à l'origine du traitement biologique. Ils sont cités par ordre croissant de taille : les virus, les bactéries, les protozoaires et les helminthes.

Parmi les éléments pathogènes les plus rencontrés, on cite :

- **Les virus**

Les virus sont des parasites intracellulaires qui ne peuvent se multiplier que dans une cellule hôte. On estime leur concentration dans les eaux usées urbaines de 10^3 à 10^4 particules par litre.

- **Les bactéries**

Les eaux usées urbaines contiennent environ 10^6 à 10^7 bactéries /100 ml, dont 10^3 sont pathogènes. Les plus connus sont les salmonelles responsables de la typhoïde et des troubles intestinaux, sans oublier les colibacilles qui ont une durée de vie de 2 à 3 mois et qui se multiplient dans l'environnement.

Protozoaires

Les protozoaires sont des organismes unicellulaires, plus complexes et plus gros que les bactéries. La plupart des protozoaires pathogènes sont des organismes parasites, c'est-à-dire qui se développent aux dépens de leur hôte. Certains protozoaires adoptent au cours de leur cycle de vie une forme de Kyste. Cette forme peut résister généralement aux procédés de traitement des eaux usées.

Helminthes

Les helminthes sont des vers multicellulaires. Tout comme les protozoaires, ce sont majoritairement des organismes parasites. Les œufs d'helminthes sont très résistants et peuvent notamment survivre plusieurs semaines, voire plusieurs mois sur les sols ou les plantes cultivées. La concentration en œufs d'helminthes dans les eaux usées est de l'ordre de 10 à 10^3 œufs /l.

I.3. L'épuration des eaux usées

La Station d'épuration, restant un outil fondamental pour la protection des milieux naturels, peut donc comporter plusieurs étages. L'étage primaire est constitué par les prétraitements et la décantation primaire. L'étage secondaire associe l'épuration biologique et la décantation secondaire. En fin, lorsque la nécessité d'un traitement poussé apparaît, un traitement tertiaire est ajouté. Tous ces procédés produisent des déchets et des boues, qui, grâce à la chaîne de traitement, seront eux aussi traités.

I.3.1 Traitement classique

I.3.1.1 Prétraitement

Le prétraitement vise à protéger le relèvement des eaux brutes et plus généralement à éliminer tout ce qui pourrait gêner les traitements ultérieurs, ce sont des opérations de séparation de phases non-miscibles dont l'une au moins est liquide. Suivant la qualité de l'eau à traiter. Plusieurs opérations peuvent être nécessaires, parmi lesquelles :

➤ Dégrillage

Ce procédé de séparation physique permet d'éliminer les corps flottants et les gros déchets par l'intermédiaire de grille (barreaux) placées en travers du canal d'amenée afin de protéger les installations contre les obstructions. Parmi l'espacement des barreaux en distingue :

- pré dégrillage (dégrillage grossier) : espacement 30 à 100mm (déchet de dimension > 15mm)
- dégrillage fin : espacement 3 à 10mm (déchet de dimension > 6mm)

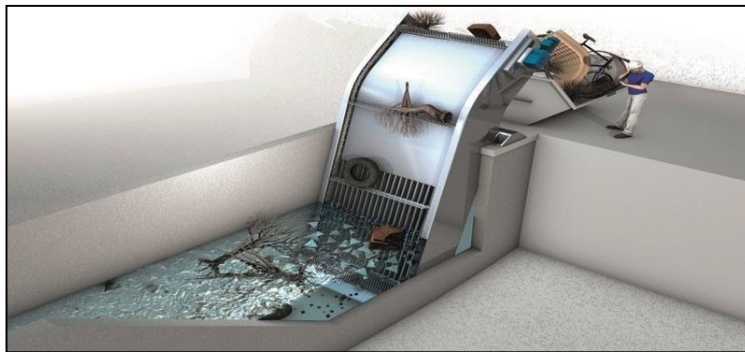


Figure I.2 Ouvrage de dégrillage [1]

➤ Dessablage

C'est un procédé qui consiste à l'élimination des sables par décantation (utilisant les forces de gravité pour séparer les particules de densité supérieure à celle du liquide en provoquant leur dépôt) présents dans l'effluent brute est indispensable pour protéger les conduit et les pompes contre l'érosion et le colmatage.

➤ Dégraissage déshuilage

C'est une opération destinée à réduire les graisses et huiles non émulsionnées par simple flottation en surface (visant à séparer les phases liquide-liquide par la poussée d'Archimède).

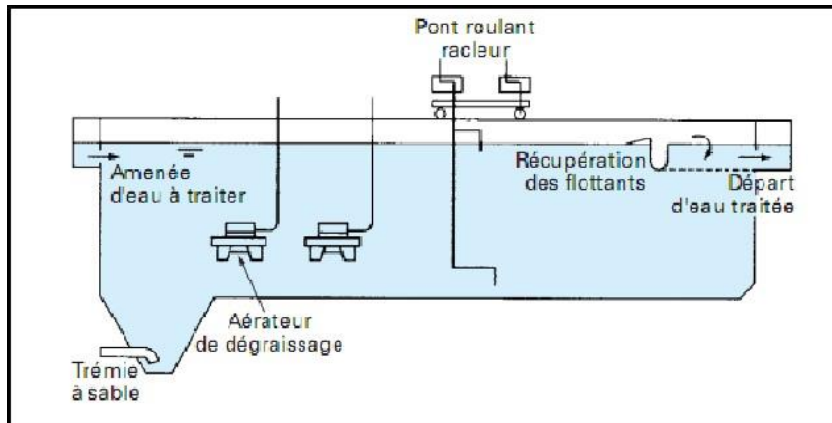


Figure I.3 Ouvrage de dessablage-déshuilage combinés [1]

I.3.1.2 Traitement primaire (décantation primaire)

Elle consiste en une séparation des éléments liquides et des éléments solides sous l'effet de la pesanteur. Les matières solides se déposent dans le fond d'un ouvrage appelé décanteur pour former les boues primaires. Ces dernières sont récupérées au moyen d'un système de raclage.

Ce traitement s'effectue par des voies physico-chimiques pour faciliter la décantation.

La décantation simple : processus physique de séparation sous l'action de la pesanteur.

Les matières en suspension ou colloïdales tendent à se séparer du liquide par sédimentation.

La décantation associée : le principe ici est de favoriser l'agrégation des molécules en suspension grâce aux techniques de coagulation (annule les charges électriques des particules en suspension par l'ajout de réactifs minéraux) et de floculation pour former des flocs plus gros et faciliter la décantation.

Durant la phase de traitement primaire, une quantité importante de la pollution totale est éliminée (abattement des matières en suspension MES pouvant atteindre 90% et de la demande biochimique en oxygène DBO de l'ordre de 35%. (CARDOT, 1999). La DCO et la concentration en azote peuvent également être réduits durant cette phase de traitement.

I.3.1.3 Le traitement secondaire (biologique)

C'est une technique de réduction biologique de la matière organique restant dans le flux liquide après élimination de 40% à 60% des solides en

Suspension et de 85% à 95% de la DBO5 par les procédés physiques du traitement primaire.

Le traitement secondaire est en fait une technique qui exploite et accélère le processus

Chapitre I : Généralité sur les eaux usées et leur épuration

naturel d'élimination des déchets. En présence d'oxygène, les bactéries aérobies transforment la matière organique en composés stables, tels que le dioxyde de carbone, l'eau, les nitrates et les phosphates.

Ils permettent de faire passer les éléments présents sous forme soluble ou colloïdales en éléments floculables et de constituer des agrégats que l'on peut de nouveau séparer de la phase liquide. La production de nouveaux matériaux organiques est le résultat indirect du traitement biologique, et cette matière doit être éliminée avant que les eaux usées ne parviennent dans le milieu collecteur. Parmi les divers organismes responsables des phénomènes biologiques, les bactéries sont les plus importantes et les plus nombreuses.

La dégradation biologique s'accomplit en deux phases presque simultanées :

- **Une phase d'adsorption**, très rapide, au cours de laquelle les substances organiques s'adsorbent sur la membrane extérieure des cellules
- **Une phase d'oxydation**, plus lente, au cours de laquelle a lieu l'oxydation des matières en produits de décomposition tels que CO_2 et H_2O .

Classification des procédés d'épuration biologique

On distingue deux principaux types de procédés biologiques :

- Les procédés extensifs ou naturels.
- Les procédés intensifs ou artificiels.

Les procédés extensifs ou naturels

Les procédés extensifs correspondent à des procédés d'épuration dans lesquels la concentration en organisme épurateur est faible.

Elles comportent normalement pas de recyclage de liqueur bactérienne sauf dans certains cas où une recirculation d'un complexe algo-bactérien est utilisée. On peut distinguer les techniques à culture libre (lagunage) et les techniques à culture fixées (épuration par le sol). Elles mettent en jeu des phénomènes d'autoépuration naturelle complexe dépendant des conditions climatiques et dont les équilibres ne sont pas toujours aisément maîtrisables. Parmi ces procédés le lagunage naturel :

➤ Lagunage naturel :

L'épuration est assurée grâce à un long temps de séjour, dans plusieurs bassins étanches disposés en série. Le nombre de bassins le plus communément rencontré est de 3 (figure 10), cependant, utiliser une configuration avec 4 voire 6 bassins permet d'avoir une désinfection plus poussée.

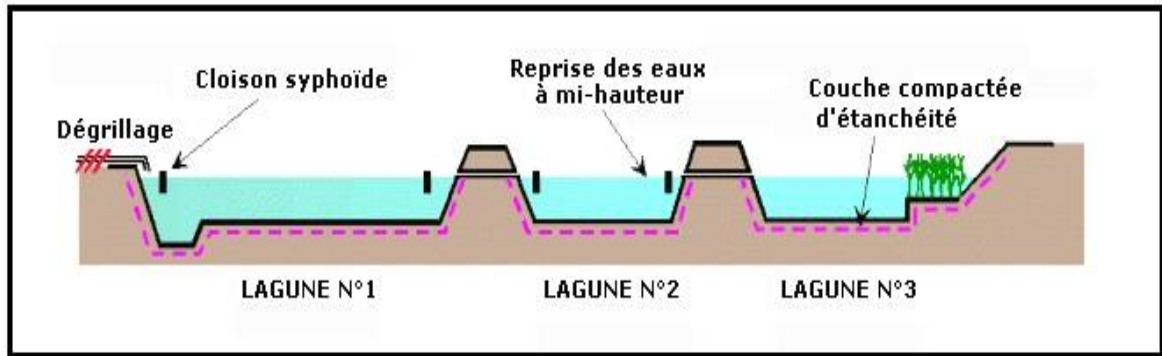


Figure I.4 Lagunage naturel [1]

Le mécanisme de base sur lequel repose le lagunage naturel est la photosynthèse. La tranche d'eau supérieure des bassins est exposée à la lumière. Ceci permet l'existence d'algues qui produisent l'oxygène nécessaire au développement et maintien des bactéries aérobies. Ces bactéries sont responsables de la dégradation de la matière organique. Le gaz carbonique formé par les bactéries, ainsi que les sels minéraux contenus dans les eaux usées, permettent aux algues de se multiplier. Il y a ainsi prolifération de deux populations interdépendantes : les bactéries et les algues planctoniques, également dénommées "microphytes". Ce cycle s'auto-entretient tant que le système reçoit de l'énergie solaire et de la matière organique. En fond de bassin, où la lumière ne pénètre pas, ce sont des bactéries anaérobies qui dégradent les sédiments issus de la décantation de la matière organique. Un dégagement de gaz carbonique et de méthane se produit à ce niveau. Les mécanismes en jeu dans les bassins de lagunage naturel sont indiqués sur la figure 11.

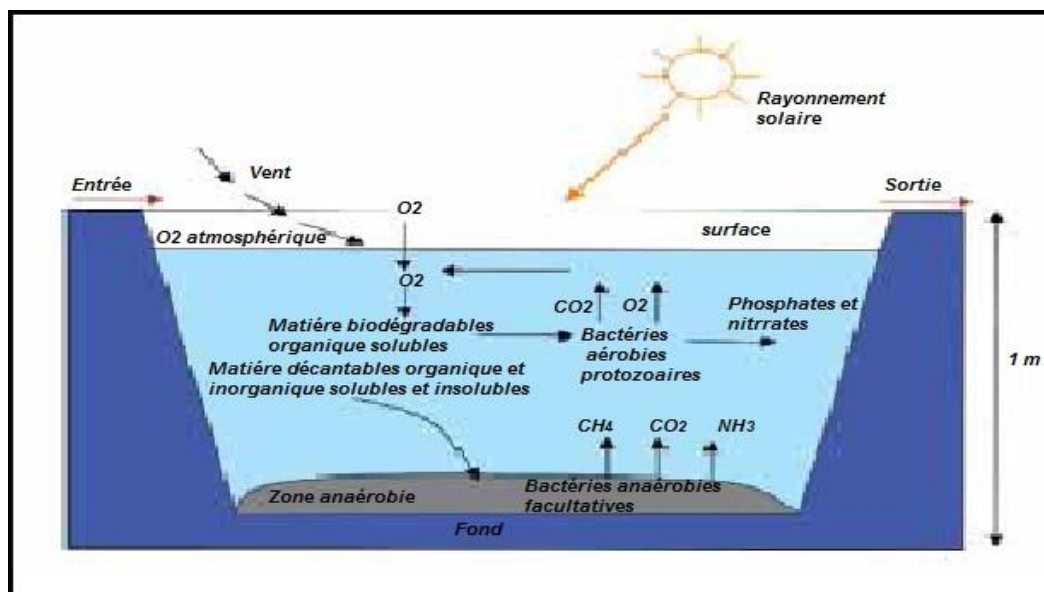


Figure I.5 Les mécanismes en jeu dans les bassins de lagunage naturel. [1]

➤ lagunage aéré :

Version intensive du lagunage, nécessitant une emprise nettement moindre que le lagunage nature, le lagunage aéré consiste à intensifier l'activité aérobie par un brassage et une aération artificielle par des aérateurs mécanique flottants ou fixes ou une insufflation d'air. Les équilibres biologiques sont voisins de ceux du procédé classique par boues activées. Mais en l'absence de recirculation de biomasse dans le système, la concentration en micro-organismes est faible et la décantation lente. La figure 12 représente le schéma de principe d'un lagunage aéré.

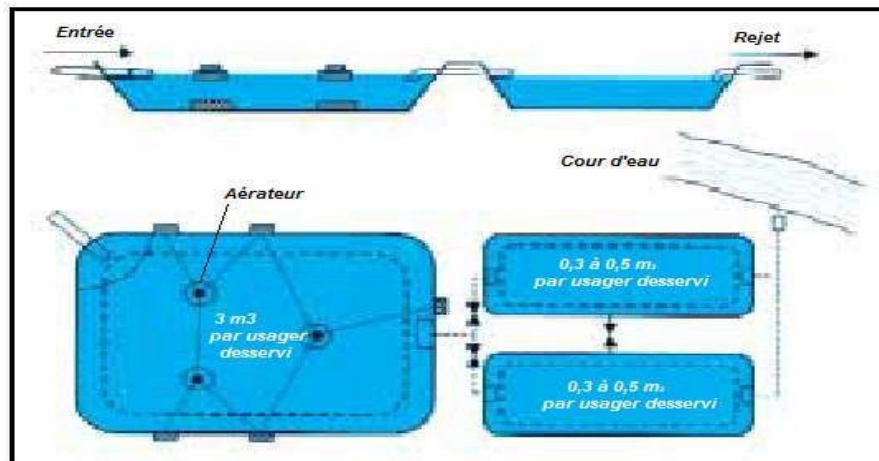


Figure I.6 Schéma de principe d'un lagunage aéré [1]

Tableau I.2 récapitulatif des Avantages et inconvénients [1]

Procédés	Avantages	Inconvénients
laguna ge naturel	<ul style="list-style-type: none"> -Un apport d'énergie n'est pas nécessaire si le dénivelé est favorable -L'exploitation reste légère, mais si le curage global n'est pas réalisé à temps, les performances de la lagune chutent très sensiblement ; -Elimine une grande partie des nutriments : phosphore et azote (enété) ; -Très bonne élimination des germes pathogènes en été, bonne en hiver ; -S'adapte bien aux fortes variations de charge hydraulique ; -Pas de construction "en dur", le génie civil reste simple ; -Les boues de curages sont bien stabilisées (sauf celles présentes en tête du premier bassin) et faciles à épandre sur sol agricole. 	<ul style="list-style-type: none"> -Forte emprise au sol ; -Coût d'investissement très dépendant de la nature du sous-sol. Dans un terrain sableux ou instable, il est préférable de ne pas se tourner vers ce type de lagune ; -Performances moindres que les procédés intensifs sur la matière organique. Cependant, le rejet de matière organique s'effectue sous forme d'algues, ce qui est moins néfaste qu'une matière organique dissoute pour l'oxygénation du milieu en aval. Ce rejet reste faible en été (évapotranspiration), période la plus défavorable pour les cours d'eau, ce qui permet un rendement excellent en flux rejeté ; -Qualité du rejet variable selon les saisons.

I.4.1 Les procédés intensifs ou artificiel

Les techniques les plus développées au niveau des stations d'épuration urbaines sont des procédés biologiques intensifs.

Le principe de ces procédés est de localiser sur des surfaces réduites et d'intensifier les phénomènes de transformation et de destruction des matières organiques que l'on peut observer dans le milieu naturel.

Trois grands types de procédés sont utilisés :

- les lits bactériens et disques biologiques
- les boues activées

➤ Les disques biologiques

Dans ce procédé, les micro-organismes sont fixés sur des disques à demi immergés et tournant lentement (quelques tours par minute) autour d'un axe horizontal. La biomasse est ainsi alternativement mouillée par les eaux résiduaires et aérée par l'air ambiant. Cette technique présente l'avantage d'être peu coûteuse en énergie mais peut entraîner l'émission d'odeurs.

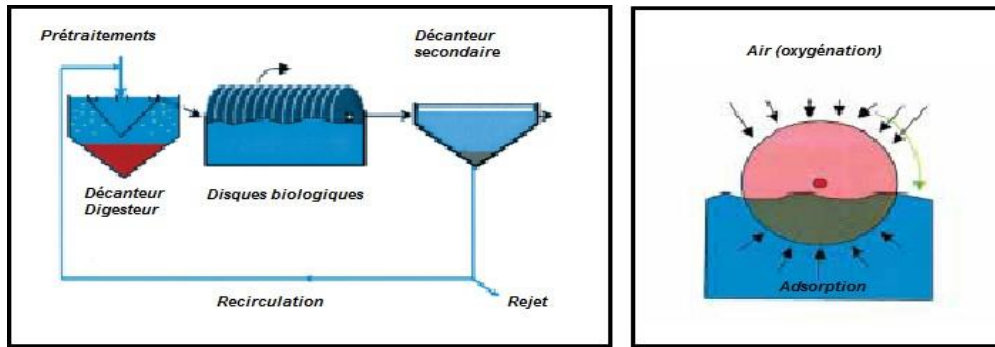


Figure I.7 Synoptique d'une station d'épuration principe comportant un disque biologique [1]

➤ **lits bactériens**

Le mode de fonctionnement d'un lit bactérien consiste à faire ruisseler l'eau à traiter, préalablement décantée primaire, sur une masse de matériaux (naturel ou plastique) servant de support aux micro-organismes épurateurs qui y forment un film épais.

Les micro-organismes fixés éliminent les matières organiques par absorption des constituants solubles et en suspension. L'oxygène nécessaire au métabolisme aérobie est fourni par tirage naturel ou par ventilation forcée. La figure 13 représente un Synoptique d'une station d'épuration comportant un lit bactérien.

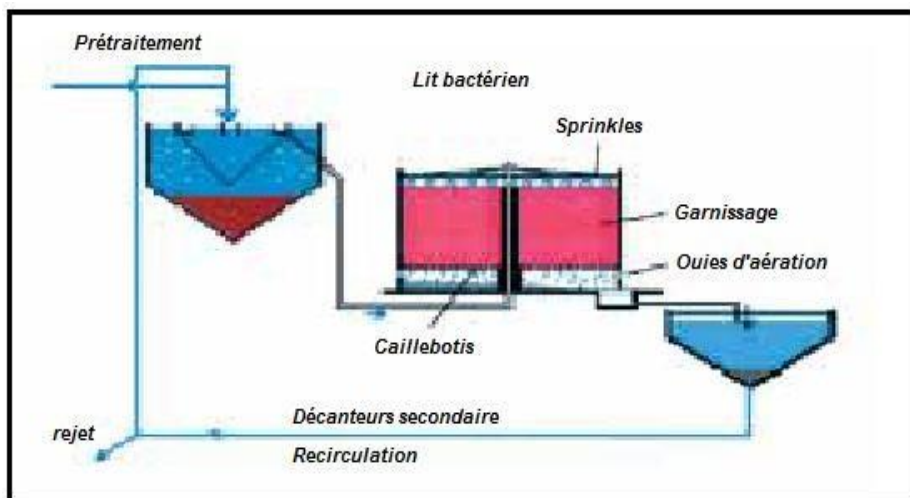


Figure I.8 synoptique d'une station d'épuration comportant un lit bactérien

➤ **Boues activées**

Les boues actives sont des systèmes qui fonctionnent biologiquement, avec une aération artificielle, comme les lagunes aérées. La différence réside dans la recirculation des organismes actifs (les boues activées) du décanteur secondaire vers le bassin d'aération. Cette circulation a deux conséquences :

- la recirculation des boues activées dans le bassin d'aération peut être augmentée par

Chapitre I : Généralité sur les eaux usées et leur épuration

rapport à une situation sans circulation. Une même quantité d'organisme actif peut donc être contenue dans un plus petit volume (économie d'espace).

-le temps de séjour des organismes actifs le système est plus élevé que le temps de séjour l'eau.

Le contrôle de temps de séjours des boues activées permet de maîtriser la capacité nitrifiante des boues et le degré d'oxydation des matières organiques solides. Cette technologie occupe une place très importante dans l'épuration des eaux usées urbaines. C'est un mode épuratoire très répandu.

Tableau I.3 1récapitulatif des avantages et inconvénients de disque biologique [1]

Procédés	Avantages	Inconvénients
disque biologique	<ul style="list-style-type: none">-Faible consommation d'énergie ;-Fonctionnement simple demandant moins d'entretien et de contrôle que la technique Des boues activées ;-Bonne décantabilité des bouesPlus faible sensibilité aux variations de charge et aux toxiques que les boues activées-Généralement adaptés pour les petites collectivités-Résistance au froid (les disques sont toujours protégés par des capots ou par un petit bâtiment).	<ul style="list-style-type: none">-Performances généralement plus faibles qu'une technique par boues activées. Cela tient en grande partie aux pratiques anciennes de conception. Un dimensionnement plus réaliste doit permettre d'atteindre des qualités d'eau traitée satisfaisantes ;-Coûts d'investissement assez élevés (peuvent être supérieurs d'environ 20 % par rapport à une boue activée) ;-Nécessité de prétraitements efficaces ;-Sensibilité au colmatage ;-Ouvrages de taille importante si des objectifs d'élimination de l'azote sont imposés.

Chapitre I : Généralité sur les eaux usées et leur épuration

boues activées	<ul style="list-style-type: none">-Adaptée pour toute taille de collectivité (sauf les très petites) ;-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 ;-Boues (cf.glossaire) légèrement stabilisées.	<ul style="list-style-type: none">-Coûts d'investissement assez importants ;-Consommation énergétique importante ;-Nécessité de personnel qualifié et d'une surveillance régulière ;-Sensibilité aux surcharges hydrauliques ;-Décantabilité des boues pas toujours aisées à maîtriser ;-Forte production de boues qu'il faut concentrer.
----------------	---	--

I.4.1 Décantation secondaire (clarificateur) :

La clarification, également connue sous le nom de séparation du floc bactérien et de la liqueur interstitielle, est généralement réalisée par décantation dans le processus de traitement des eaux usées. Dans un système d'épuration continu, le décanteur utilisé à cet effet est appelé décanteur secondaire et est séparé du réacteur principal

Les boues activées présentes dans le processus de traitement des eaux usées ont une structure floconneuse et ont une densité très proche de celle de l'eau. La capacité de décantation des boues, qui est évaluée par l'indice de MOHLMAN, dépend de plusieurs facteurs qui influencent les caractéristiques du floc bactérien. Certains de ces facteurs comprennent la présence de rejets industriels, la teneur en oxygène dissous dans l'eau, les variations des conditions de charge des micro-organismes tout au long du cycle de traitement, le mode d'aération utilisé, ainsi que la température.

La séparation efficace du floc bactérien et de la liqueur interstitielle est essentielle pour assurer un traitement adéquat des eaux usées. Le processus de décantation permet de séparer les boues activées clarifiées de l'eau traitée, facilitant ainsi la réutilisation ou l'évacuation appropriée de l'eau traitée.

I.5. Traitements tertiaires ou complémentaires : [1]

Le traitement tertiaire est une étape avancée dans le processus de traitement des eaux usées qui vise à éliminer les polluants résiduels qui peuvent subsister après les étapes de traitement primaire et secondaire. Bien que facultative dans certaines installations de traitement des eaux usées, cette étape est cruciale pour garantir que l'eau traitée réponde aux normes de qualité de l'eau avant d'être rejetée dans l'environnement ou réutilisée à d'autres fins.

Chapitre I : Généralité sur les eaux usées et leur épuration

Les contaminants persistants dans les eaux usées après les traitements primaires et secondaires peuvent inclure des nutriments tels que l'azote et le phosphore, des produits chimiques tels que les métaux lourds et les pesticides, ainsi que des micro-organismes tels que les bactéries et les virus. Le traitement tertiaire met en œuvre divers processus physiques, chimiques et biologiques pour éliminer ces contaminants, tels que la filtration, la désinfection, la coagulation et la floculation.

Les installations de traitement des eaux usées municipales et industrielles peuvent utiliser le traitement tertiaire. Les usines industrielles peuvent être soumises à des réglementations plus strictes en matière de traitement des eaux usées en raison des contaminants spécifiques présents dans leurs eaux usées. Le traitement tertiaire est également essentiel dans les projets de réutilisation des eaux usées, où les eaux traitées sont purifiées pour être réutilisées à des fins non potables telles que l'irrigation, le remplissage de plans d'eau ou la recharge des nappes phréatiques.

Il existe plusieurs techniques utilisées dans le traitement tertiaire des eaux usées pour éliminer les contaminants résiduels. Certaines des techniques les plus courantes sont :

La désinfection : Cette technique vise à éliminer les microorganismes tels que les bactéries, les virus et les protozoaires qui peuvent être présents dans l'eau. Les méthodes de désinfection courantes comprennent la chloration, l'ozone, les rayons ultraviolets (UV) et la désinfection à l'aide de produits chimiques tels que le dioxyde de chlore.

La coagulation et la floculation : La coagulation et la floculation sont des techniques utilisées dans le traitement des eaux usées. Elles impliquent l'ajout de produits chimiques tels que le sulfate d'aluminium ou le chlorure ferrique pour agglomérer les particules en suspension dans l'eau. Ce processus forme de grosses particules appelées floes, qui sont ensuite éliminées de l'eau par décantation ou filtration. La coagulation vise à neutraliser les charges électriques des particules, tandis que la floculation favorise leur agglomération pour former des floes plus gros et plus facilement séparables de l'eau traitée.

L'adsorption est une autre technique utilisée dans le traitement des eaux usées. Elle consiste à utiliser des matériaux adsorbants, tels que le charbon actif, pour éliminer les produits chimiques présents dans l'eau, comme les métaux lourds et les pesticides. Lorsque l'eau passe à travers le matériau adsorbant, les contaminants se fixent à sa surface, permettant ainsi leur élimination de l'eau traitée. Le charbon actif est particulièrement efficace en raison de sa grande surface spécifique et de ses propriétés adsorbantes.

Ces techniques de coagulation, de floculation et d'adsorption sont couramment utilisées dans le traitement des eaux usées pour éliminer les matières en suspension et les contaminants chimiques, améliorant ainsi la qualité de l'eau avant son rejet ou sa réutilisation.

Chapitre I : Généralité sur les eaux usées et leur épuration

La précipitation chimique : La précipitation chimique est une technique qui consiste à ajouter des produits chimiques, tels que le carbonate de calcium, dans le processus de traitement des eaux usées. Son objectif est d'éliminer les nutriments, tels que l'azote et le phosphore, en les transformant en sédiments solides qui peuvent ensuite être éliminés par décantation ou filtration.

Lorsque le carbonate de calcium est ajouté à l'eau usée, il réagit avec les nutriments dissous pour former des composés insolubles, principalement des précipités de phosphate de calcium et de carbonate de calcium. Ces précipités se forment sous forme de sédiments solides, ce qui permet de les séparer de l'eau traitée. Cette séparation peut être effectuée par décantation, où les sédiments se déposent au fond d'un réservoir, ou par filtration pour éliminer les particules indésirables.

La précipitation chimique est largement utilisée dans le traitement des eaux usées pour réduire la teneur en nutriments, qui peuvent être responsables de la prolifération excessive d'algues et de la dégradation de la qualité de l'eau. En éliminant ces nutriments par précipitation, on contribue à améliorer la qualité de l'eau traitée avant son rejet ou sa réutilisation.

La filtration avancée : Le traitement tertiaire par filtration avancée constitue une étape supplémentaire dans le traitement des eaux usées. Son objectif est d'éliminer les polluants et les contaminants résiduels après les traitements primaires et secondaires, afin de produire une eau de qualité supérieure pouvant être réutilisée à des fins non potables, voire potables dans certains cas. Cette technique de traitement utilise des technologies avancées pour éliminer divers polluants tels que les micro-organismes, les produits chimiques, les métaux lourds, les nutriments et les sels dissous.

Les technologies de filtration avancée utilisées dans le traitement tertiaire peuvent inclure l'utilisation de membranes, de filtres à charbon actif, d'ozonation, de rayons ultraviolets, ou d'autres procédés spécifiques selon les besoins. Ces méthodes sont conçues pour cibler et éliminer les contaminants résiduels, améliorant ainsi la qualité de l'eau traitée et la rendant apte à être réutilisée de manière sûre et efficace.

Les différents types de filtres utilisés dans le traitement tertiaire par filtration avancée comprennent:

Les filtres à membranes: Ces filtres utilisent des membranes semi-perméables pour éliminer les particules et les contaminants présents dans l'eau usée. Les membranes peuvent être fabriquées à partir de matériaux tels que la céramique, le polymère ou la fibre creuse. Elles sont utilisées dans différentes configurations, telles que la microfiltration, l'ultrafiltration et l'osmose inverse.

Lorsque l'eau usée est forcée à travers ces membranes, les pores de taille spécifique dans les membranes retiennent les particules, les bactéries, les virus et autres contaminants, permettant à l'eau propre de passer à travers. La taille des pores dépend du type de membrane utilisée et de l'objectif de traitement. Les membranes en céramique, en

Chapitre I : Généralité sur les eaux usées et leur épuration

polymère ou en fibre creuse offrent une filtration efficace en fonction des besoins spécifiques du système de traitement de l'eau.

Les filtres à charbon actif: Ces filtres utilisent du charbon actif pour adsorber les contaminants et les produits chimiques présents dans l'eau usée. Le charbon actif est un matériau poreux qui a la capacité de retenir les substances indésirables grâce à un processus appelé adsorption. Il peut être utilisé sous différentes formes, telles que des granulés, de la poudre ou des blocs, en fonction des besoins spécifiques du traitement de l'eau. Le charbon actif capture les contaminants sur sa surface, les retenant de manière efficace et contribuant ainsi à améliorer la qualité de l'eau traitée

Les filtres à disques : Ces filtres utilisent des disques rotatifs pour éliminer les particules en suspension présentes dans l'eau usée. Les disques sont revêtus de matériaux filtrants tels que du tissu ou du sable, qui agissent en tant que barrière pour piéger les particules et les retenir. Au fur et à mesure que les disques tournent, les particules sont séparées de l'eau et accumulées sur la surface des disques. Ce processus permet de clarifier l'eau en éliminant les particules en suspension.

Les filtres à rayons ultraviolets: Les systèmes de filtration utilisant des rayons ultraviolets (UV) sont employés pour détruire les micro-organismes présents dans l'eau usée. Les rayons UV ont la capacité de causer des dommages à l'ADN des micro-organismes, les empêchant ainsi de se reproduire.

Ces techniques peuvent être utilisées seules ou en combinaison afin d'assurer un traitement tertiaire efficace des eaux usées. Le choix de la méthode dépendra des contaminants spécifiques présents dans les eaux usées ainsi que des normes de qualité de l'eau applicables.

L'ozonation : L'ozonation est une méthode de traitement tertiaire des eaux usées qui fait appel à l'ozone pour éliminer les contaminants résiduels. L'ozone est un gaz instable composé de trois atomes d'oxygène, produit à l'aide d'un générateur d'ozone. Lorsqu'il est injecté dans l'eau, l'ozone réagit avec les contaminants présents, détruisant les bactéries, les virus, les matières organiques et les produits chimiques. L'ozonation est souvent utilisée en complément ou en alternative à la désinfection chimique traditionnelle au chlore, car elle s'avère plus efficace pour éliminer les contaminants organiques et ne génère pas de sous-produits de désinfection nocifs. Cette méthode peut être employée en tant que traitement indépendant ou en combinaison avec d'autres techniques de traitement tertiaire.

Chapitre I : Généralité sur les eaux usées et leur épuration

I.6.Situation actuelle de l'épuration en Algérie [1]

Actuellement, environ 750 millions de mètres cubes d'eaux usées sont rejetés à l'échelle nationale, et ce chiffre devrait dépasser 1,5 milliard de mètres cubes d'ici à 2020. Afin de faire face à la nécessité de traiter ces eaux usées, le secteur des ressources en eau a lancé un programme ambitieux pour la construction d'installations d'épuration.

Voici les détails sur l'exploitation actuelle :

Nombre de stations d'épuration : 102 au total (52 stations d'épuration à boues activées et 50 lagunes)

Capacité installée actuelle : 570 millions de mètres cubes par an (en 1999 : 28 stations d'épuration avec une capacité de traitement de 98 millions de mètres cubes par jour)

Le programme en cours de réalisation se trouve dans la situation suivante :

Nombre de stations d'épuration : 176 au total (87 stations d'épuration à boues activées et 89 lagunes)

Capacité installée : 355 millions de mètres cubes par an.

Ces mesures visent à répondre à l'augmentation du volume des eaux usées rejetées et à améliorer la gestion de l'épuration des eaux au niveau national.

I.7.Conclusion :

Une grande partie de ce chapitre était consacrée aux problèmes d'épuration. La présentation des différents procédés disponibles (physique, chimique, biologique...) a contribué à une description globale, d'une filière de traitement en mentionnant l'enchaînement des étapes de l'épuration. Le traitement biologique a suscité un intérêt particulier. Parmi les principaux dispositifs présentés, les procédés de boues activées feront l'objectif de notre étude de modélisation et de simulation.

Chapitre II :
Présentation de la zone d'étude

II .1.Introduction

L'évolution du bien être humain dans tous les pays du monde a donné naissance aux problèmes de l'environnement. Le progrès engendre une menace qui ne cesse de croître. La lutte contre la pollution de l'air, de l'eau et la protection du sol peuvent devenir des problèmes d'importance vitale pour l'avenir.

Mais c'est seulement dans la société très industrialisée que

L'intervention de l'homme dans la nature représente pour lui-même un danger sérieux et universel. L'urbanisation et l'industrialisation accablent le milieu humain et exigent trop des conditions de vie naturelles.

La capacité d'auto épuration du sol, de l'eau et de l'air ne suffit plus dans de beaucoup de cas. Ceci signifie un grand danger pour l'humanité. Car la dignité de l'homme doit être protégée. Celle-ci est menacée du moment que la santé et le bien-être de l'homme sont en danger imminent ou proche.

II .2.Situation géographique et administratif :

La ville de MANSOURA chef-lieu de commune et daïra, est située à 40 km à l'ouest du chef-lieu de la wilaya de Bordj Bou Arreridj. Le site de la ville est très accidenté, traversé par deux oueds ; oued MESSISSI et oued MANSOURA.

Elle est située au pied du djebel EL NADOUR et djebel MANSOURA, cette situation a orientée la croissance de la ville sur un seul sens. La ville d'EL MEHIR chef-lieu de la commune, est située à 10 km à l'ouest du chef-lieu de la daïra, la ville MANSOURA.

Le site de la ville est traversé par plusieurs oueds ; oued CHEBBA et oued ELMHIR.

C'est la dépression des montagnes des portes de fer qui donne naissance à ce douar (Douar ELMEHIR). Suivant la carte d'état-major de 1956, la ville d'EL M'HIR existe à travers la gare de M'ZITA. A l'origine EL MEHIR existait comme douar dit Douar ELMEHIR.

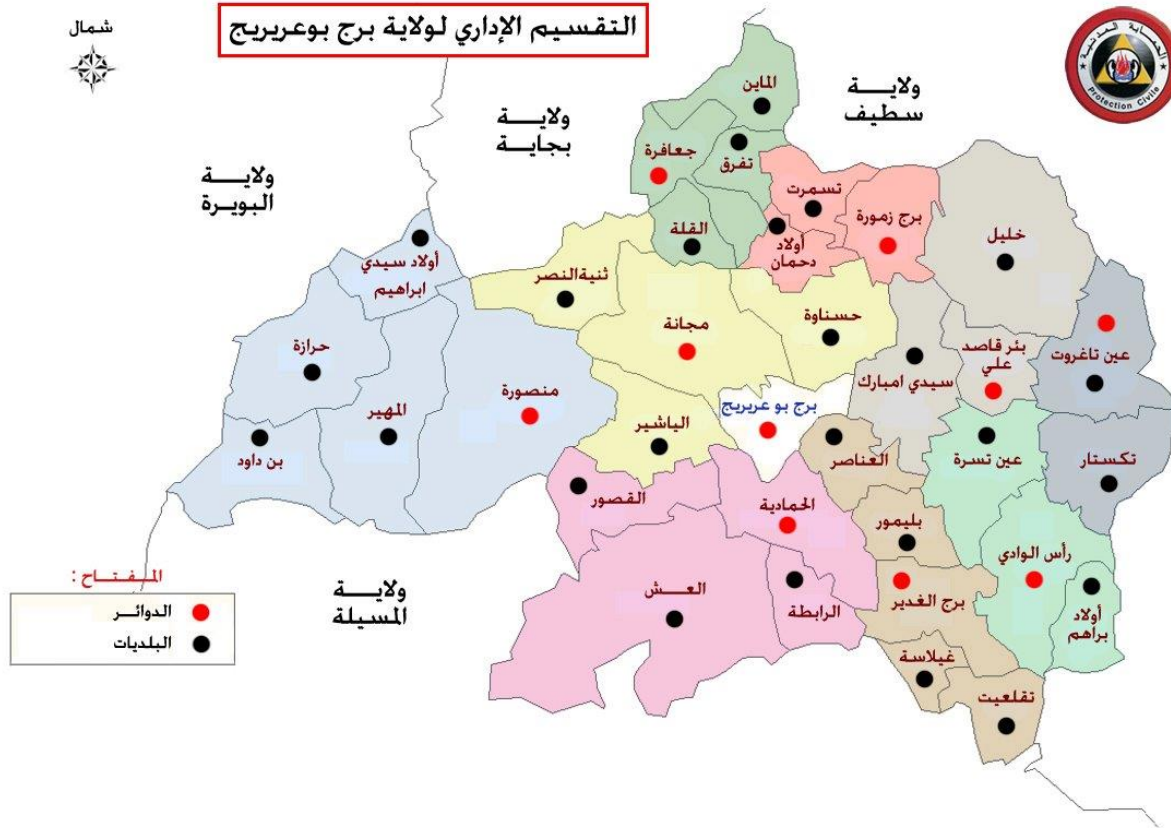


Figure II. 1 : Situation géographique [13]

II .3.Situation climatologique :

II .3.1.Conditions meteologique :

Le climat de la région de Mansoura–ElMhir méditerranéen, semi-aride. Son caractère essentiel réside dans le contraste entre une saison estivale chaude et sèche et une saison hivernale froide et humide

L'analyse des paramètres climatiques se fera sur la base des données disponible au niveau de la station de (PORTE DE FER).

Les coordonnées de la station d'épuration retenue sont les suivantes :

Tableau II. 1 de cordonnées de la station retenue [2]

Altitude (Z)	X	Y
485m	650.599 km	324.031 km

II .3.2.Précipitation atmosphérique :

Elle est marquée par une pluviométrie faible et irrégulière. La majorité de ces pluies se perd sous forme d'écoulement le long de des oueds.

Les données pluviométriques interannuelles sont données dans le tableau suivant :

Tableau II.2 : Répartition mensuelle des précipitations (période 1977au 2013) [3]

Mois (mm)	Sep	Oct	nov	Dec	jan	fev	mar	avr	mai	juin	juill	aou	Tot
	24,72	32,69	31,79	31,49	31,48	29,93	32,16	34,39	33,83	11,07	4,18	6,27	304,463

Le régime pluviométrique est caractérisé par :

- Une répartition mensuelle des pluies irrégulière, par ailleurs le mois pluvieux est le mois d'avril avec une valeur de 34.39mm.
- La pluie moyenne interannuelle est de 304.46mm.

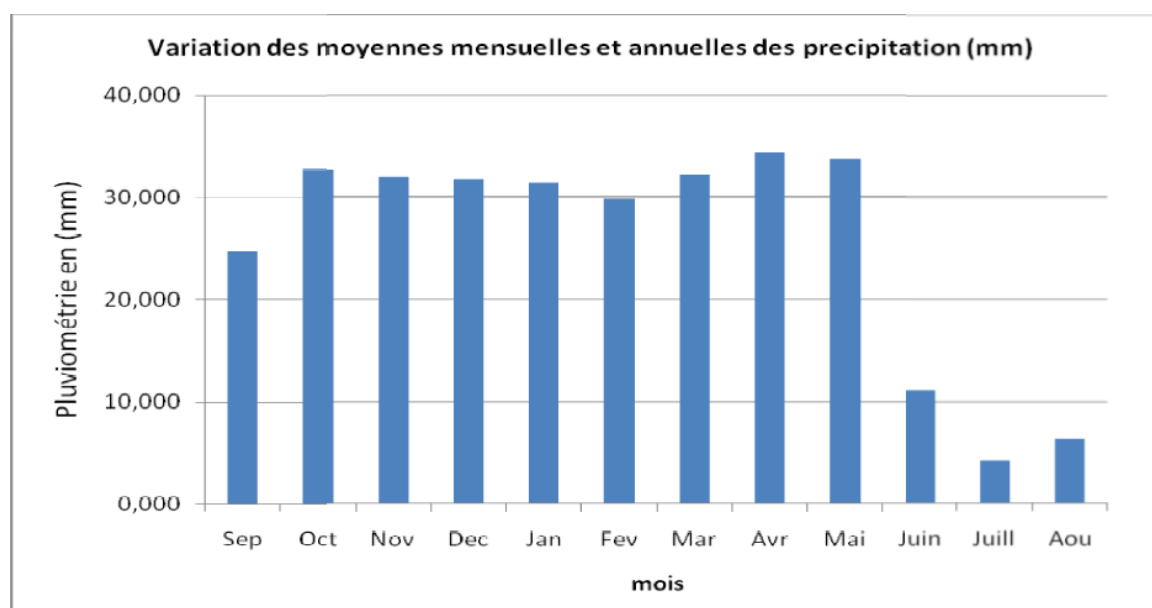


Figure II. 2 : Variation des mensuelle et annuelle de précipitation de Mansoura [4]

II .3.3.Température de l'aire :

Tableau II .3 Répartition mensuelle des températures (période 1992/2005) [3]

Mois	Jan	fev	mar	Avr	Mai	juin	juill	aou	Sep	Oct	Nov	Dec	Tmoy(°c)
T(°c)	5,84	7,04	10,19	12,58	17,91	17,91	27,11	26,14	21,57	16,75	10,71	6,9	15,5

L'analyse du tableau ci-dessous montre que les hautes températures sont enregistrées entre les mois de juin et septembre avec un maximum atteint au mois de juillet 27.11°C. Le minimum des températures est enregistré au mois de janvier d'une valeur de 5.84°C.

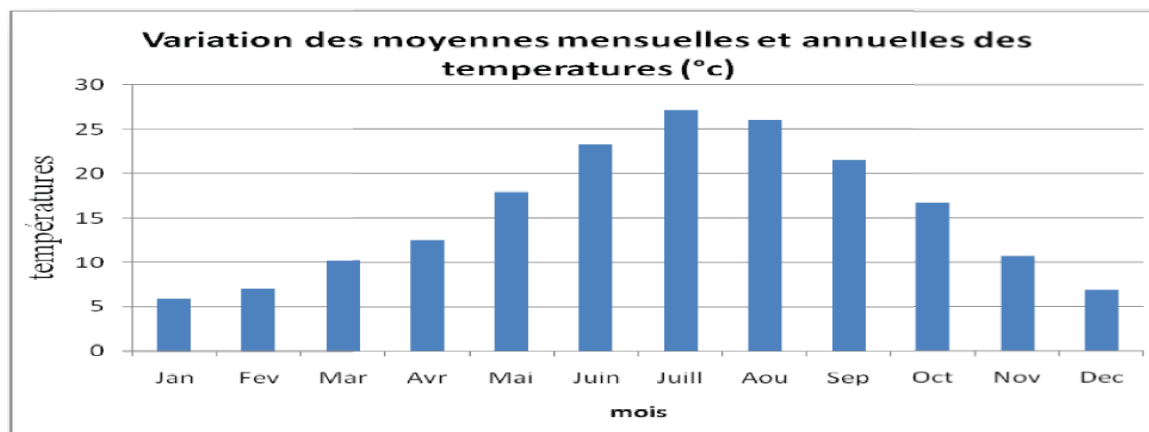


Figure II .3 : Variation des moyennes mensuelles des températures de Mansoura

II .3.4.Evaporation :

Il s'agit des résultats des recherches pour la période de 1992 à 20013 dans la station d'AIN ZADA, le tableau suivant indique les valeurs des évaporations moyennes mensuelles.

Tableau II.4 : Répartition mensuelle d'évaporation [5]

Mois	Jan	Fev	mar	Avr	mai	juin	juill	aou	Sep	Oct	Nov	Dec	Ev moy (mm)
Ev (mm)	34,1	48,7	98,8	126,6	190	270,3	329,3	303,7	187,6	113,3	58	32,3	149

D'après le tableau la valeur moyenne de l'évaporation est de 149mm. La valeur maximale est de 329.30mm durant le mois de juillet et une valeur minimale de 34.10mm durant le mois de janvier.

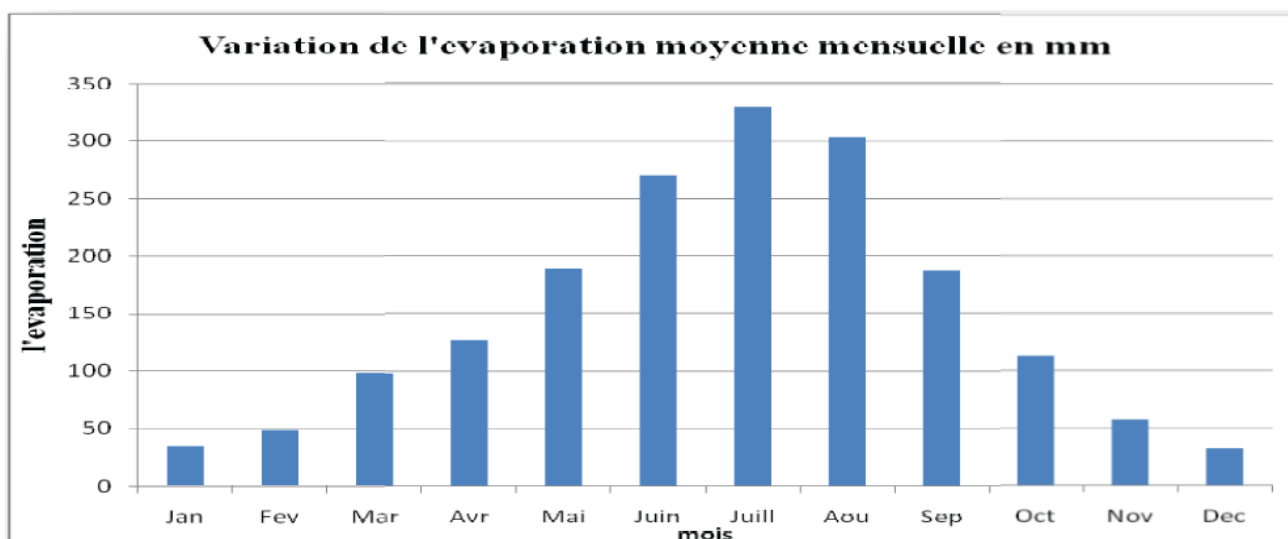


Figure II .4 Variation d'évaporation moyenne mensuelle de Mansoura

II .3.4.Régime de vent :

Les vents sont très variables, influencés par les conditions topographiques locales. Sur l'ensemble de l'année, les vents de Nord-Ouest sont dominants, mais les vents de Nord-Est sont également très présents, notamment au printemps et en été. Par ailleurs, le sirocco, vent du Sud, plus fréquent en été, souffle en moyenne 36 jours par an, avec des fréquences maximales en juillet. Dans notre zone d'étude, les orages sont plus importants au printemps et en été. Pendant la période relativement sèche et chaude, ils sont dus aux perturbations provoquées par les fortes températures diurnes et qui suivent le front des Alizés du Sud-Ouest au Nord-Est.

II .3.5.Humidité :

Le mois le plus sec de l'année est juillet, avec une humidité relative moyenne de l'air de 48%. Les mois les plus humides sont décembre et janvier, dont l'humidité relative varie dans les limites de 78 à 79%.

II .3.6.Ressources hydriques :

La zone d'étude est très pauvre en ressources hydriques. Cette pauvreté est due essentiellement à la nature géologique de ses terrains, qui sont constitués en grande partie par des marnes, non productives en termes de nappes aquifères. Elle est due aussi aux nombreux affleurements triasiques très gypsifères et salifères qui contaminent les nappes environnantes. Elle est due enfin à sa topographie très accidentée.

II .4.Situation démographique :

D'après les données collectées de l'APC de Mansoura et d'El Mhir, ils ont fourni le chiffre de 24 742 habitants avec un taux d'accroissement égal à 0,0101 pour Mansoura, et de 21 676 habitants avec un taux d'accroissement égal à 0,0144 pour El Mhir. Pour le calcul de la population pour l'horizon visé, on utilise la formule du taux d'accroissement :

$$P_n = P_0 (1 + \tau)^n$$

P_n : Population à l'horizon

P₀ : Population en 2023

n : L'horizon (2063-2023 = 40) 40 ans

τ : Taux d'accroissement pour chaque commune

Tableau II.5 : population de Mansoura et ElMhir pour 2023 et pour différents horizons [6]

	Population en (2023)	Taux d'accroissement	Population à long terme 2063
Mansoura	24742 hab	0,0101	36984 hab
ElMhir	21676 hab	0,0144	38402 hab
Total	46418 hab	/	75386 hab

II .5.Situation socio-économique :

Dans cette partie, nous nous concentrons sur les services et équipements qui consomment de grandes quantités d'eau et qui peuvent potentiellement être à l'origine d'une pollution. Il existe, au niveau de la ville de Mansoura et d'El Mhir :

- 1 hôpital.
- 7 salles de soins.
- 2 polycliniques.

II .5.2.Secteur scolaire

Il existe 25 écoles dans Mansoura et El Mhir, réparties entre 12 écoles primaires, 8 CEM (Collèges d'Enseignement Moyen) et 5 lycées, pour un total de 12 570 élèves selon les statistiques de 2008. [6]

II .5.3.Secteur administratif :

Tableau II .6 : Réparation des équipements administratifs [6]

Equipements	Désignation	Nombre Unité
Administrative	siège de l'APC	2
	siège de la daïra	1
	CFPA	1
	PTT	1
	subdivision de travaux publics	1
	subdivision de l'hydraulique	1
	subdivision de l'urbanisme	2
	subdivision des forets	2
	subdivision de la conservation	1

II .5.4.Secteur publique:

Tableau II .7 : Réparation des équipements publique [6]

Equipements	Désignation	Nombre Unité
	Mosquées	14
	Siège de police	3
	Ecole de police	1

Chapitre II :

Présentation de la zone d'étude

Publique	gendarmerie	2
	Tribunal	1
	salle de sport	2
	maison de jeunes	2

II .5.5.Secteur Agricole :

La daïra de Mansoura est à caractère agricole, le faite que la majorité des terres sont des terrains très accidentés, donc la tendance des agriculteurs est cultures de céréales, légumes sec, maraichages, arboricultures fruitières et oléicultures.

Le tableau ci-dessous représente la superficie de chaque agriculture dans cette daïra.

Tableau II .8 : présentation des superficies agricoles de chaque type d'agriculture
[7]

Agriculture	Superficie en ha
Céréales	4250
Légumes sec	33
Maraichage	13
Arboricultures fruitières	1559
Oléicultures	1098
Jachère	2624
Totale des surfaces agricoles	9575

II .5.6.Secteur industriel:

Tableau II .9 : présentation des industries existe dans les deux communes [7]

Localisation	Industrie	Type d'industrie
ElHamra commune ElMhir	CEVITAL	Alimentaire
	BETONEX	Eliment préfabriqué en béton
	SARL AGREM	Fabrique de brique rouge
Boukaba commune Mansoura	SARL Faience Algérienne	Fabrique la faience

Note importante : pour les industries d'ElHamra ne sont pas raccorder au réseau d'assainissement et l'industrie de Mansoura a 10 bassins de décantation pour réutiliser la matière de faïence donc les rejets de ces industries n'arrive pas à la STEP dimensionné.

II .6.Situation hydraulique :

A. Alimentation en eau potable (AEP):

Les forages constituent les principaux ouvrages de mobilisation des eaux souterraines de la commune de MANSOURAH. Ils sont destinés essentiellement à l'alimentation en eau potable de différentes localités de ladite commune. La production de l'eau est réalisée à partir de 04 forages, constituant les seules ressources qui alimentent MANSOURAH. L'adduction est assurée par des stations de pompages.

La commune d'EL MEHIR est alimentée en eau potable à partir du barrage de TILEZDIT (wilaya de BOUIRA) avec un débit de **1000m³/j**. Il existe deux (02) forages de 2l/s un à EL MELZ et l'autre à EL RAMLIA.

On résumé : le tableau suivants résume en détaille ces informations

Tableau II. 10 : présentation des fourrages existant dans les deux communes [7]

Commune	Lieu de fourrage	Débit produit en m³/j	Année de mise en service
Mansoura	El Masdour	345,6	1989
	El Masdour	979,2	2012
	El Masdour	432	2002
	El Ksieur	216	2004
ElMhir	El Mlez	86,4	/
	El Ramliya	86,4	/
Totale	/	2145,6	/

Le stockage des eaux avec les réservoirs dans les deux communes, ce tableau va exprimer les réservoirs existants et leur état :

Tableau II.11 Le nombre des réservoirs existants dans les deux communes et leur capacité de stockage. [7]

	Nombre de réservoirs	Type	Etat	Capacité de stockage
Mansoura	13	Semi-enterrés	Bon état	5975 m ³
ElMhir	2	Semi-enterrés	Bon état	1400 m ³
Totale	15	Semi-enterrés	Bon état	7375 m³

A. Assainissement :

- Le groupement intercommunal totalise un linéaire de collecteurs existants de **172 km.**
- La majorité des réseaux d'assainissement existants sont en bon et moyen état de fonctionnement.

Le tableau suivant explique le linéaire de chaque type de conduite dans le réseau existant.

Tableau II. 12 Linéaire de réseau d'assainissement inter communale. [7]

	Mansoura	ElMhir	Totale
Béton comprimé	46575 ml	36173,6 ml	82748,6 ml
Béton Armé	5228 ml	3811 ml	9039 ml
PVC	67200 ml	12775 ml	79975 ml
Totale	119003 ml	52759,6 ml	171762,6 ml

II .7.1.Choix de site de la station d'épuration :

Après Le meilleur site pour cette station est située sur un terrain limité entre oued EL Mhir et des carrières au lieu-dit KAF AZROU à la sortie de la ville d'ELMhir sur la route nationale N°05 reliant EIMhir à BOUIRA.

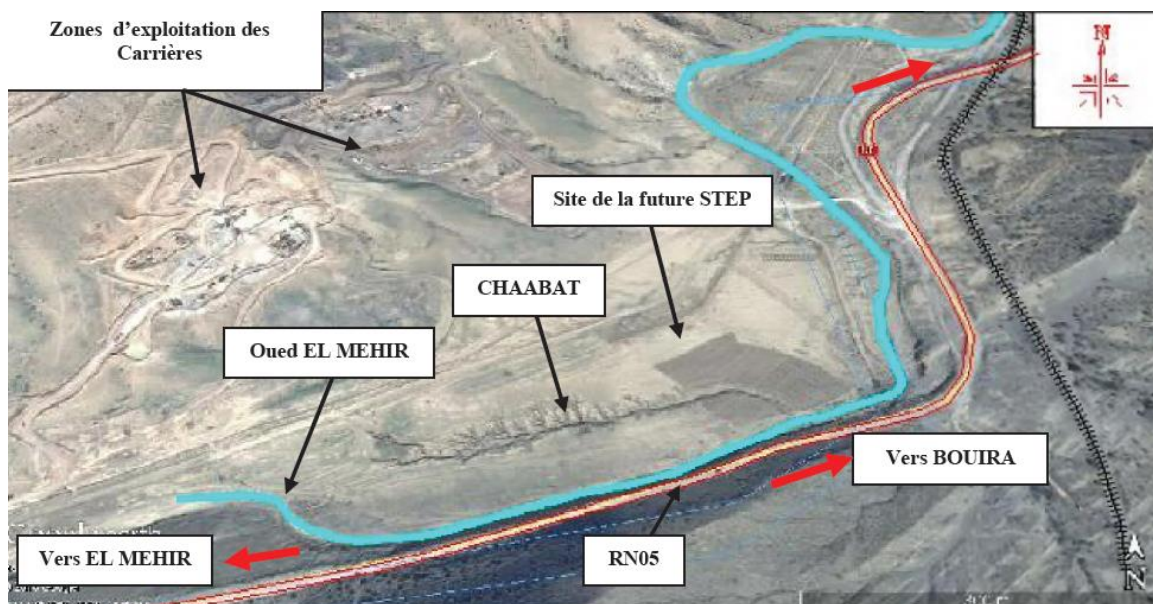


Figure II .5 : Le site de la STEP sur google earth

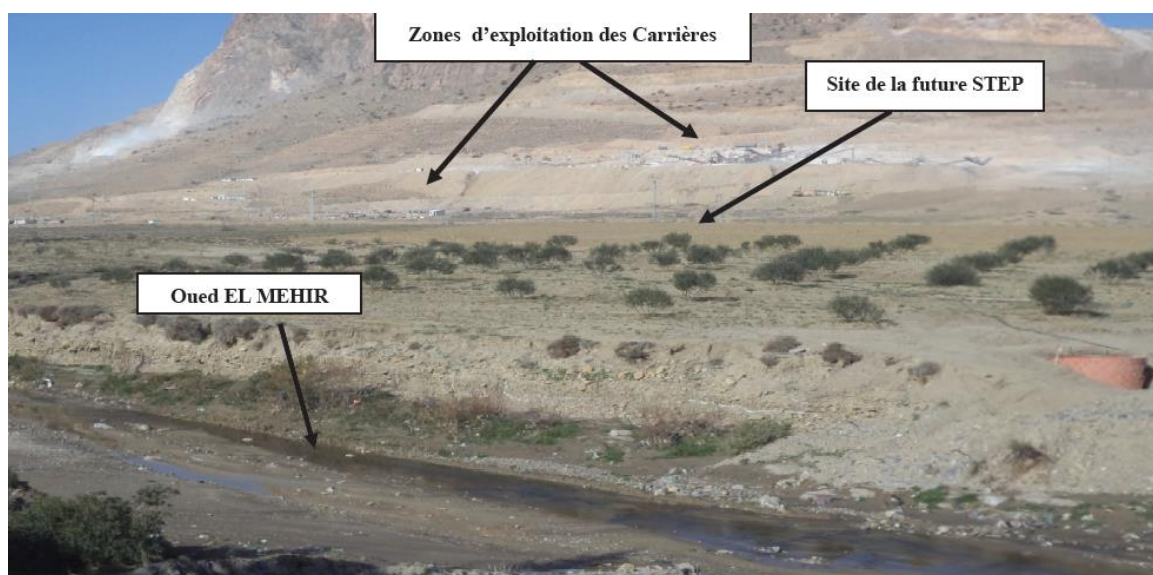


Figure II .6 : Le site de la STEP sur tirent**II .7.2 Les avantages du site :**

- Le site choisis est dans une zone extérieure aux limites des extensions futures.
- Le site est dans une zone entourée des exploitations agricoles, ce qui facilite la réutilisation des eaux épurée dans l'agriculture.
- L'accès vers le site choisis est facilité par la présence d'une piste facilitant l'accès et les travaux de réalisation de la future station d'épuration.
- Le site choisis est dans un endroit éloigné des habitations d'où Les désagréments dus aux odeurs résultant des procédés d'épuration sont écartés.
- Le site est traversé par oued EL MEHIR qui servira à l'évacuation des eaux épurées en cas où celles-ci n'est pas expédiées vers les périmètres d'irrigation.
- L'existence de la ligne électrique de haute et moyenne tension.

II .7.3. Les inconvénients du site :

- Le site peut être dans une zone inondable.
- Le site se trouve dans une zone d'exploitation des carrières.

II .8.choix de système d'épuration :

Le choix de système d'épuration des eaux usées urbain se fait à l'aide d'une comparaison de 3 méthodes d'épuration de façon : montant d'investissement, cout d'exploitation, surface de site choisie d'un côté et le nombre d'équivalent habitant, le débit, la charge polluante d'un autre côté.

Ce côté dernier sera fait dans 3^{ème} chapitre qui sera fait dans le dimensionnement des ouvrages.

Tableau II .13 : chiffres générales des systèmes d'épurations [8]

	Lagunage naturelle	Lagunage aéré	Boues activées
Surface (ha)	90-110	15-20	3-9
Montant d'investissement (DA)	658.358.000,00	3.485.950.000,00	1.217.620.000,00
Cout d'exploitation sur une année (DA)	24.692.000,00	88.305.000,00	21.762.000,00

Note importante : ces chiffres sent approximatif selon les discussions avec les ingénieurs de DRE Bordj Bou Arriridj durant le stage en milieu professionnelle et les ingénieurs de bureau d'étude Elbehdja qui ont 3 expériences de réalisation des études des systèmes d'épuration Algérienne.

Alors le système d'épuration le plus avantageuse est une station d'épuration à boues activée.

II.9. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons observé que la zone d'étude de la ville de Mansoura et ElMhir présente un climat relativement sec avec des caractéristiques de hauts plateaux. Le réseau d'approvisionnement en eau potable comprend plusieurs réservoirs et fourrages, tandis que le réseau d'assainissement est unitaire et en bon état, permettant le transport des eaux usées (domestiques et équipements) de notre zone d'étude vers le cours d'eau d'ElMhir. Cependant, en raison de la pollution de ce cours d'eau, il est nécessaire de mettre en place une station d'épuration afin d'améliorer la qualité des eaux rejetées et de les réutiliser dans le lavage des graviers produits dans les carrières locales ou dans l'agriculture des périmètres proches de la STEP.

Chapitre III : Dimensionnement de la station d'épuration

III .1.Introduction :

Après toutes les données dans le chapitre précédent on peut commencer le dimensionnement de cette station

Au début on est besoin d'estimé les débits en suite à l'aide des analyses des eaux usées de réseau d'assainissement on peut dimensionner des déférents ouvrages de la station d'épuration.

III.2.Estimatin des besoins :

L'objectif de l'évaluation des besoins en eau est de déterminer comment la population de la zone d'étude évolue, ainsi que ses besoins en eau potable à l'horizon d'étude.

On a deux types de consommation :

- Consommation domestique
- Consommation des équipements

III2.1.Estimation des besoins domestiques :

$$Q_j = N_{hab} \times Dot$$

Avec :

Q_j : La consommation journalier dans l'horizon 2063 (m³/j) .

Q_h : : La consommation hoarier dans l'horizon 2063 (m³/j) .

N : La population dans l'horizon 2063 (habitant) .

Dot : La dotation (L/j/habitant).

Tableau III.1 Besoins domestiques

	Nombre d' habitant (habitant)	La dotation (L/j/habitant)	Q_j (m ³ /j)	Q_h (m ³ /h)
Mansoura	36984 hab	150 L/j	5547,6	231,15
ElMhir	38402 hab		5760,3	240,0125
Total	75386 hab		11307,9	471,1625

III.2.2. Besoins d'équipements intercommunale :

Tableau III.2. Besoins d'équipements intercommunale

Type de consommateurs	Désignation	Quantité	Dotation (L/unite/j)	Unité	Qmoy.j (m³/j)	Qh (m³/h)
Secteur sanitaire	01 Hospital	260	300	Lits	78	3,25
	07 Sale de soin	140	15	Patient	2,1	0,088
	02 polyclinique	320	15	Patient	4,8	0,2
Secteur scolaire	38 Ecole	12570	20	Éleve	251,4	10,475
Secteur administratif	siège de l'APC	544	4	Employer	2,176	0,091
	siège de la daïra	35	180	Employer	6,3	0,2625
	CFPA	60	4	Employer	0,24	0,01
	PTT	420	15	Employer	6,3	0,263
	subdivision de travaux publics	30	5	Employer	0,15	0,006
	subdivision de l'hydraulique	30	5	Employer	0,15	0,006
	subdivision de l'urbanisme	30	5	Employer	0,15	0,006
	subdivision des forets	20	5	Employer	0,1	0,004
	subdivision de la conservation	20	5	Employer	0,1	0,005
Secteur publique	Mosquées	6600	10	Fidèle	66	2,75
	Siège de police	100	150	Policier	15	0,625
	Ecole de police	170	180	Policier	30,6	1,275
	Gendarmerie	80	180	Gendarme	14,4	0,6
	Tribunal	300	150		45	1,875
	salle de sport	350	20	m²	7	0,292
	maison de jeunes	200	20	m²	4	0,167
Totale					533,966	22,249

III2.3. calcul de besoin total :

Le besoin total représente la somme de besoin domestique + le besoin des équipement.

$$\text{Alors } Q_{\text{moy.j tot}} = Q_{\text{moy.j dom}} + Q_{\text{moy.j équi}}$$

$$\text{Donc on aura } Q_{\text{moy.j tot}} = 11307,9 + 533,966 = 11841,866 \text{ m}^3/\text{j}$$

$$\text{Le besoin total : } Q_{\text{moy.j tot}} = 11841,866 \text{ m}^3/\text{j} = 493,411083 \text{ m}^3/\text{h}$$

III2.3.Calcul de débit des eaux usées évacue :

$$Q_{\text{rej}} = Q_{\text{moy.j tot}} \times C_r \quad C_r : \text{coeffession de rejet de 70\% à 80\%}$$

Selon le service d'assainissement de la direction des ressources en eau de la willaya de Bordj Bou Arriridj le coeffession de rejet C_r de commune Mansoura et ElMhir tient de 80%.

$$Q_{\text{rej}} = 11841,866 \times 0,8 = \mathbf{9473,4928 \text{ m}^3/\text{j}} = \mathbf{394,7288667 \text{ m}^3/\text{h}}$$

III2.3.Calcul de débit de pointe :

- **Débit de temp sec :**

Il est donné par la formule qui suit :

$$Q_{\text{pts}} = K_p * Q_{\text{rej}}$$

Avec:

Q_{pts} : débit de point par temps sec.

K_p : coefficient de pointe.

Q_{rej} : débit moyen journalier des eaux usée rejeté (m^3/j).

Le coefficient de point est estimé à partir débit moyen.

$$K_p = 1,5 + \frac{2,5}{\sqrt{Q_{\text{moy.j rej}}}} \quad \text{si } Q_{\text{moy.j rej}} > 2,8 \text{ l/s}$$

$$K_p = 3 \quad \text{si } Q_{\text{moy.j rej}} < 2,8 \text{ l/s}$$

$$Q_{\text{moy.j rej}} = 394,7288667 \text{ m}^3/\text{h} = \mathbf{109,6469074 \text{ l/s}} \quad \text{donc } Q_{\text{moy.j rej}} > 2.8 \text{ l/s}$$

$$\text{Alors } K_p = 1,5 + \frac{2,5}{\sqrt{109,6469074}} = 1,5 + \frac{2,5}{\sqrt{109,6469074}} = \mathbf{1,73874914}$$

$$\text{Donc } \mathbf{K_p = 1,73874914}$$

- **Débit de temp de pluie :**

Le débit de point en temps sec est donné par :

$$Q_{ptp} = (3 \text{ à } 5) \times Q_{pts}$$

Q_{ptp} : débit de point en temps de pluie ($3 \times Q_{pts}$)

Q_{pts} : débit de point en temps sec

Le récapitulatif de calcul dans le tableau suivant

Tableau III.3 calcule des débits en temps sec et en temps de pluie

Horizon	$Q_{moy.j}$ (m ³ /j)	K_p	Q_{pts} (m ³ /j)	Q_{pts} (m ³ /h)	Q_{ptp} (m ³ /j)	Q_{ptp} (m ³ /h)
2063	9473,49	1,74	16483,88	686,83	49451,63	2060,48

III.2.4. capacité de future station d'épuration:

la capacité de la future station d'épuration de la ville de Mansoura et ElMhir est de **9473,4928 m³/j** et le nombre d'équivalent habitant est donné par la relation suivant :

$$Neq h = \frac{Q_{moy.j}}{Dot \times 0.8} = \frac{9473,49}{150 \times 0.8} = 78946 \text{ équivalent habitant (Eq h)}$$

III.3. Calcule des charges polluantes :

Pour calculer la quantité des charges polluantes il faut d'abord présenter les analyses des eaux usées arrivées au future STEP

III.3.1. présentation des analyses des eaux usées évacuées au STEP :

Ces analyses sont prévues en 2016 sur plusieurs endroits dans la commune de Mansoura et ElMhir comme elle est présentée dans le tableau suivant:

Tableau III.4. Présentation des analyses des eaux usées arrive au future STEP [9]

Paramètres Analysés	Unité	Résultats 24/03/2016 Elmasdour Mansoura		Résultats 24/03/2016 Laichawi Mansoura		Résultats 23/03/2016 ElMhir ElMhir		Résultats 24/03/2016 Laaragib ElMhir		Moyenne
Température de l'eau	°C	15.2	16.3	14.2	15.2	14.1	14	14.7	15.1	14,6
PH		7.45	7.37	7.45	7.26	7.70	7.80	7.86	8,04	7,56
Conductivité	µs/cm	3155	3180	3356	3429	2265	2348	2807	3166	2171,75
M.E.S 105°C	mg/l	513.25	416	612.3	984	590	461	290.36	317.4	509,79
DCO	mgO ₂ /l	620	562	716.28	413.13	586	498	622.16	761.23	608,23
DBO5	mgO ₂ /l	470	420	320	410	470	420	380	420	413,75
Azote	mg/l	141.7	111.9	126.4	112.35	132	134.82	162.4	124.4	139,6
Ammonium	Mg/NH ₄	98.00	56	103.6	58.42	95.5	68.4	123.2	98.00	92,4
Nitrites	mg/l	1.39	1.67	1.79	1.936	1.061	2.082	1.81	2.34	2,08
Nitrates	mg/l	1.22	2.11	0.76	0.76	2.72	2.34	0.22	1.07	0,65
Sulfates	mg/l	424.24	506	496.07	365.2	423	430	411.3	553.07	464,67
Phosphore total	mg/l	39.7	42.56	32.41	38.92	28.6	34	30.4	36.41	33,60
Détergents	mg/l	4.42	3.19	3.61	4.446	2.1	3.04	3.06	2.13	2,60
Huiles et graisses	mg/l	0.29	0.15	0.48	0.39	0.29	0.4	0.39	0.39	0,39

Interpretation:

Les analyses des eaux usées de deux **communes Mansoura et ElMhir** font ressortir que :

Les valeurs de la **DCO** et le rapport **DCO/DBO** reflètent le caractère urbain et biodégradable des rejets analysés.

La conductivité de l'eau usée présente une certaine minéralisation.

Les valeurs de pH mesurés sont autour de 7,1 et 8,04 ce qui signifie que l'eau de rejet présente un pH neutre à base.

Les valeurs du pH ne varient pas beaucoup, ce qui est expliqué par le fait que le rejet est de nature domestique.

Le rejet est faiblement chargé en azote et en phosphore

Au vu des résultats obtenus, nous pouvons conclure que :

Les eaux usées **de Mansoura et ElMhir** ne peuvent être rejetées dans un milieu récepteur ou réutilisé sans traitement préalable.

- **La biodégradabilité :**

Un effluent brut du type domestique présente les caractéristiques suivantes :

- DCO inférieur ou égal à **750 mg/l**
- DCO_{moy}/DBO_{5moy} inférieur ou égal à **2,5**

Tableau III.5 tableau d'évaluation de DCO/DBO₅ pour la biodégradabilité

Paramètres	Valeurs								Moyenne
DCO (mg/l)	620	562	716.28	413.13	586	498	622.16	761.23	608,23
DBO₅ (mg/l)	470	420	320	410	470	420	380	420	413,75
(DCO/ DBO₅)	1,32	1,34	2,24	1,01	1,25	1,19	1,64	1,81	1,47

Le tableau ci-dessus fait ressortir que le rapport (DCO/ DBO₅) moyen est proche du rapport de la biodégradabilité du rejet donc il est inférieur ou égal à 2,5 ce qui montre que nous sommes dans une cas des eaux usées domestiques à **faible charge facilement biodégradable**.

III.3.2. Calcule des charges polluantes :

On va calculer ces charges polluantes à l'aide de la relation suivant :

$$L \text{ (Kg/j)} = C \text{ (polluant)} \times Q_{\text{moy.j}}$$

L : Charge polluante en (Kg/j)

C (polluant) : la concentration moyenne de polluant en Kg/m³ sellent les analyses des eaux usées.

Q_{moy.j} : débit moyen qui arrive à la STEP en m³/j

Exemple : clacule de charge polluant de DBO₅

$$L \text{ (DBO}_5\text{)} = C \text{ (DBO}_5\text{)} \times Q_{\text{moy.j}} = 413,75 \times 10^{-3} \times 9473,4928 = 3919,657646 \text{ Kg/j}$$

Tableau III.6 Quantité des charges polluantes

Horizon (2063)	Concentration en (mg/l)	Débit moyen journalier $Q_{moy,j}$ (m^3/j)	Charge polluantes en (Kg/j)
MES	509,79	9473,4928	4829,500
DCO	608,23		5762,063
DBO5	413,75		3919,658
Azote	139,6		1322,500
DCO/DBO5	1,47		

III.3.2 Filière d'épuration :

Les paramètres utilisés pour le dimensionnement de future STEP sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau III.7 Les paramètres utilisés pour le dimensionnement de la future STEP

Paramètre	Unité	Horizon 2063
Capacité	Eq H	78946
Débits		
-débit moyen journalier ($Q_{moy,j}$)	m^3/j	9473,5
-débit moyenne horaire ($Q_{moy, h}$)	m^3/h	395
-coefficient de pointe		1,74
-débit de pointe horaire en temps sec (Q_{pts})	m^3/h	686,83
-débit de pointe horaire en temps de pluie (Q_{ptp})	m^3/h	2060,5
Charge polluante		
DBO5		
Charge journalier	Kg/j	3920
MES		
Charge journalier	Kg/j	4829,500
DCO		
charge journalier	Kg/j	5762

N-NK		
charge journalier	Kg/j	1322,5
Ammonium		
Charge journalier	Kg/j	875
Température	°C	17,4
PH		7,73
Conductivité	µs/cm	3568,6

La filière la plus adopté à notre cas est

- ① Prétraitement : Dégrilleur ; Désableur-Déhuileur.
- ② Traitement prémaire : Décanteur prémaire.
- ③ Traitement secondaire : Bassin biologique (Bassin d'aération) ; Clarificateur ; Désinfection.
- ④ Traitement tertiaire : filtration sur sable.
- ⑤ Traitement des boues : Epaississeur ; Déshydratation ; Lit de séchage.

La future STEP nissicite des autres ouvrages sont : répartiteur ; Loge gardien ; bâtiment administratif ; Logement de fonctionnement ; Locale de groupe générateur ; Locale du poste transformateur ; Locale de supprimeur ; Locale de chloration ; Bac à sable et de huile ; Parking ; Portail.

III.3.3 Schéma de filière d'épuration :

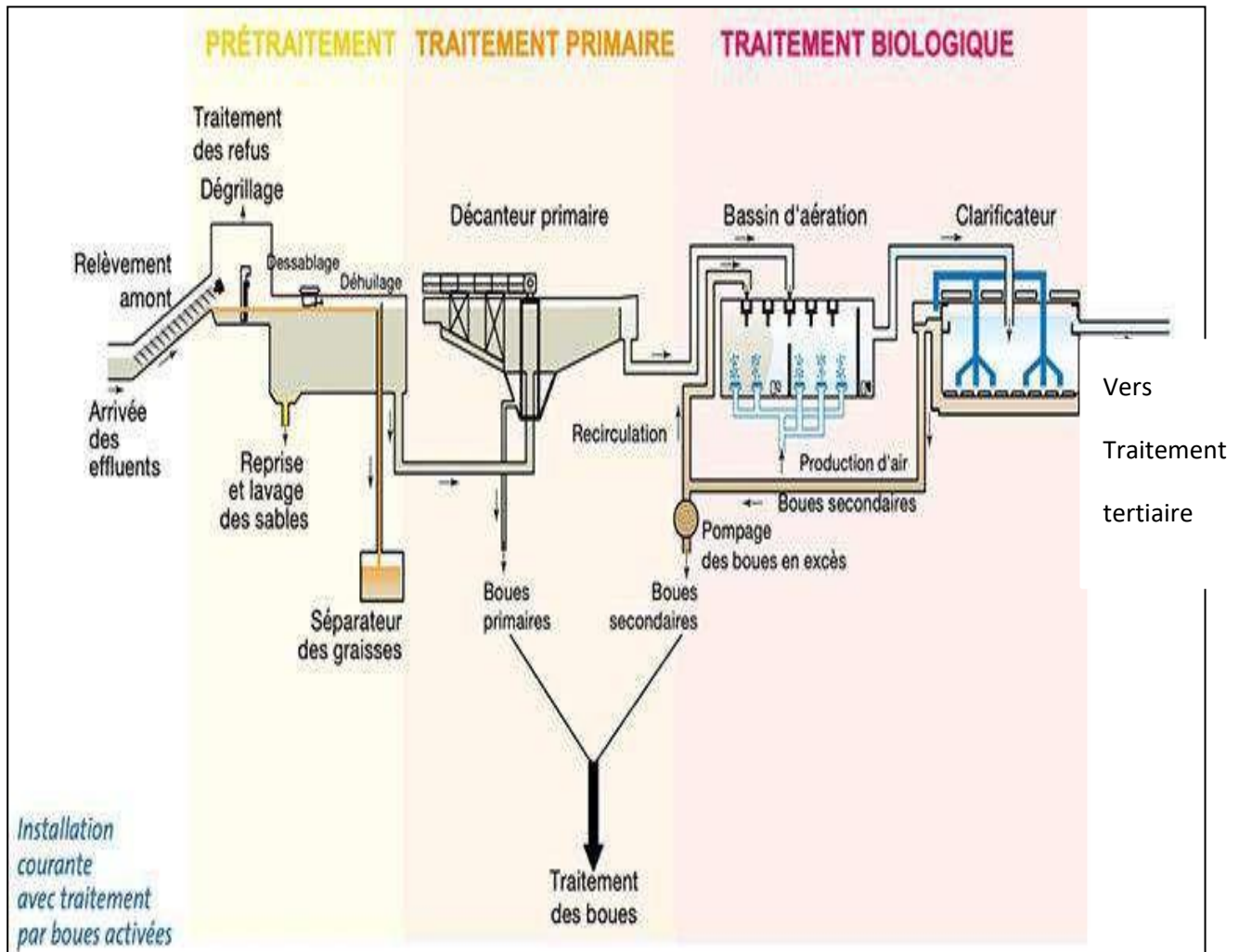


Figure III.3.3: Procédés d'épuration des eaux usées [10]

III.4. Dimensionnement de prétraitement :

III.4.1. Dégrieure :

Pour le calcul de la grille, on utilise la méthode de KIRSCHMER.

- Largeur de la grille :

La largeur de la grille est donnée par l'expression suivante : $B = \frac{S \times \sin a}{h_{\max} \times (1 - \beta) \times \sigma}$

B : Largeur de la grille

a : Angle d'inclinaison de la grille par rapport à l'horizontal (60° à 80°).

h_{max} : Hauteur maximum admissible de l'eau sur une grille, h_{max} = (0,15 à 1,5).

β : Fraction de surface occupée par des barreaux, $\beta = \frac{d}{d+e}$

d : Epaisseur des barreaux (cm).

e : Espacement des barreaux (cm).

Tableaux III.8: Diamètres et espacement des barres de grille grossière et fin

Paramètre	Grille grossière	Grille fine
d (cm)	2	1
e (cm)	[5 ;10]	2

σ : Coefficient de colmatage de grille.

- une grille manuelle, $\sigma = (0,1 \text{ à } 0,3)$.
- une grille mécanique, $\sigma = (0,4 \text{ à } 0,5)$.

S : Surface de passage de l'effluent $S = \frac{Q_{\text{ptp}}}{v}$

Q_{ptp} : Débit de pointe de temps de pluie (m³/s),

v : Vitesse de passage à travers la grille (m/s), En substituant l'équation de « S » dans « B », nous obtenons le débit de pointe de temps de pluie (Q_{ptp}) en m³/s, en fonction de la vitesse de passage à travers la grille (v) en m/s. Pour éviter le colmatage et minimiser les pertes de charge, la vitesse d'écoulement de l'effluent doit rester dans la plage de (0,6 à 1,4) m/s.

$$B = \frac{Q_{\text{ptp}} \times \sin a}{v \times h_{\text{max}} \times (1 - \beta) \times \sigma}$$

III.4.1.1 dimensionnement du dégrillage grossier :

On dimensionne 2 grille en cas d'en pane

Le dimensionnement du dégrillage grossier est réalisé à l'aide des données suivante :

Tableaux III.9: Les données de base de dimensionnement du dégrillage grossier

Paramètre	Q _{ptp} (m ³ /h)	v (m/s)	α (°)	h _{max} (m)	d (cm)	e (cm)	β	σ
Valeur	2060,5	1	60	1	2	7	0,23	0,45

Alors :

$$B = \frac{2060,5 \times \sin 60}{1 \times 1 \times (1 - 0,23) \times 0,45 \times 3600} = 1,43 \text{ m} \quad B = 1,43 \text{ m}$$

B : largeur de grille

$$S = \frac{2060,5}{1 \times 3600} = 0,57 \text{ m}^2 \quad S = 0,57 \text{ m}^2$$

$$L = S/B = 0,57 / 1,43 = 0,4 \text{ m}$$

$$L = 0,4 \text{ m}$$

L : longueur de grille

III.4.1.2 Dimensionnement du dégrillage fin :

On dimensionne 2 grille en cas d'en pane

Le dimensionnement du dégrillage fin est réalisé à l'aide des données suivante :

Tableau III.10: Les données de base de dimensionnement du dégrillage grossier

Paramètre	Q _{ptp} (m ³ /h)	v (m/s)	α (°)	h _{max} (m)	d (cm)	e (cm)	β	σ
Valeur	2060,5	1	60	1	1	2	0,33	0,45

Alors :

$$B = \frac{2060,5 \times \sin 60}{1 \times 1 \times (1 - 0,33) \times 0,45 \times 3600} = 1,64 \text{ m} \quad B = 1,64 \text{ m}$$

Chapitre III : Dimensionnement de la station d'épuration

$$S = \frac{2060,5}{1 \times 3600} = 0,57 \text{ m}^2$$

$$S = 0,57 \text{ m}^2$$

$$L = S / B = 0,57 / 1,64 = 0,34$$

$$L = 0,34$$

L : La longueur de la grille.

- **Calcule des pertes des charges de la grille :**

On va calculer les pertes de charge à l'aide de la relation de **KIRSCHMER** suivante :

$$\Delta H = \delta \times \left(\frac{d}{e}\right)^{4/3} \times \frac{v^2}{2g} \times \text{Sin } a$$

ΔH : la perte de charge (m)

δ : Le coefficient de forme des barreaux dépend de **Tableau III.4.1.3**

g : Accélération de la pesanteur (9,81 m/s²)

d/e : Epaisseur des barreaux / espacement entre les barreaux (cm)

V : Vitesse d'écoulement dans la grille (0,8 m/s)

a : Angle d'inclinaison de la grille avec horizontal ($a = 60^\circ$)

Tableau III.11 : Valeur de δ

Type des barreaux	δ
Section rectangulaire	2,42
Section rectangulaire arrondi en semi-circulaire à l'amont	1,83
Section rectangulaire arrondi en semi-circulaire à l'amont et à l'aval	1,67
Section circulaire	1,79
Section ovoïde avec une grande largeur à l'amont	0,76

On prend une Section circulaire avec $\delta = 1,79$

- Perte de charge de dérailleur grossier :

$$\Delta H_1 = 1,79 \times \left(\frac{2}{7}\right)^{4/3} \times \frac{1^2}{2 \times 9,81} \times \text{Sin } 60 = 0,015 \text{ m}$$

$$\Delta H_1 = 1,5 \text{ cm}$$

- Perte de charge de dérailleur fin :

$$\Delta H_1 = 1,79 \times \left(\frac{1}{2}\right)^{4/3} \times \frac{1^2}{2 \times 9,81} \times \text{Sin } 60 = 0,031$$

$$\Delta H_2 = 3,1 \text{ cm}$$

- **Calcule de déchet dégagé par le dérailleur** : on utilise la relation suivante

Chapitre III : Dimensionnement de la station d'épuration

$$\frac{12}{e} < V < \frac{15}{e}$$

- Pour grille **grossier** : $V_{\max} = 15/7 = 2,14$ l/E h/an, pour $N = 98683$ E h à l'horizon 2063, le V_{\max} des déchets Sera :

$$V_{\max} = \frac{2,14 \times 98683 \times 10^{-3}}{365} = 0,59 \text{ m}^3/\text{j} \qquad V_{\max} = 0.59 \text{ m}^3/\text{j}$$

$V_{\min} = 12/7 = 2,14$ l/E h/an, pour $N = 98683$ E h à l'horizon 2063, le V_{\min} des déchets

Sera : $V_{\min} = \frac{2,14 \times 98683 \times 10^{-3}}{365} = 0,47 \text{ m}^3/\text{j} \qquad V_{\min} = 0,47 \text{ m}^3/\text{j}$

- Pour grille **fin** : $V_{\max} = 15/2 = 7,5$ l/E h/an, pour $N = 98683$ E h à l'horizon 2063, le V_{\max} des déchets Sera : $V_{\max} = \frac{7,5 \times 98683 \times 10^{-3}}{365} = 2,05 \text{ m}^3/\text{j}$

$V_{\min} = 12/2 = 6$ l/E h/an, pour $N = 98683$ E h à l'horizon 2063, le V_{\min} des déchets Sera :

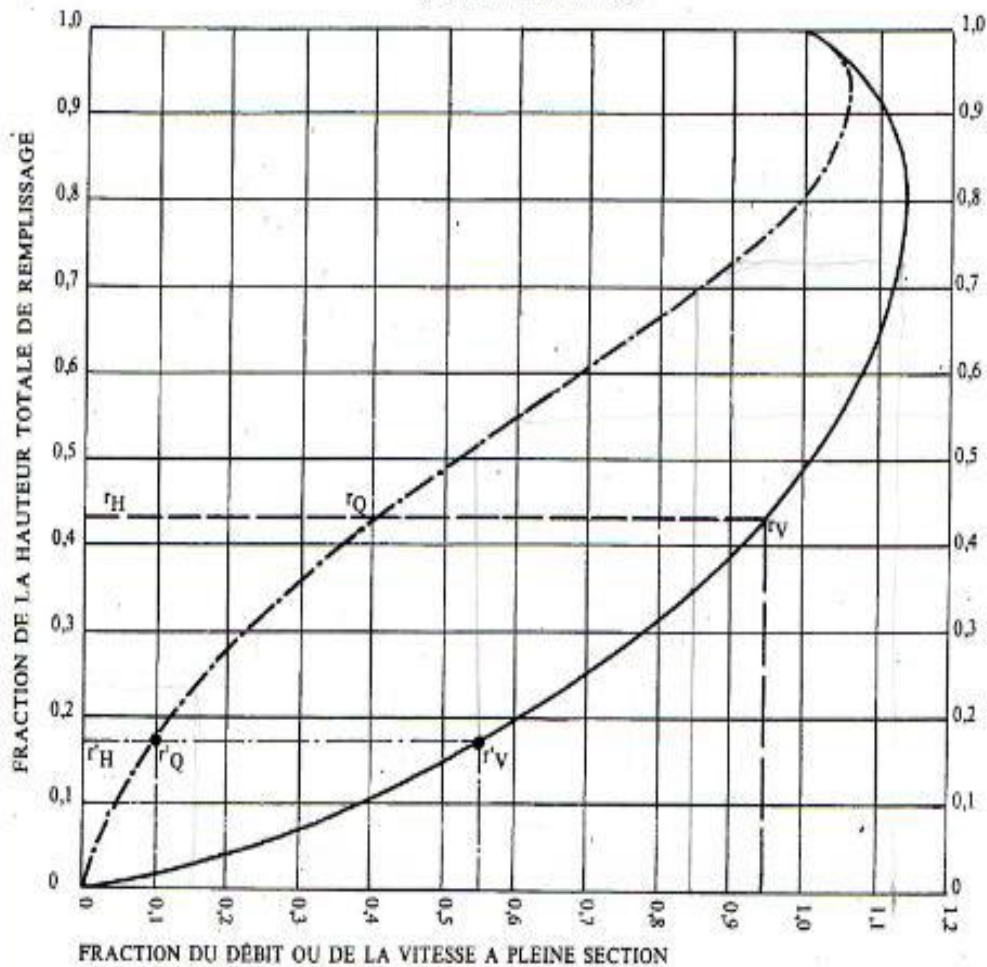
$$V_{\min} = \frac{6 \times 98683 \times 10^{-3}}{365} = 1,64 \text{ m}^3/\text{j} \qquad V_{\min} = 1,64 \text{ m}^3/\text{j}$$

Tableau III.12 Fiche technique de dégrilleur

Paramètre	Unité	Grille grossière	Grille fin
La hauteur d'eau (h _{max})	M	1	1
Epaisseur des barreaux (d)	Cm	2	1
Espacement des barreaux (e)	Cm	7	2
Largeur de la grille (B)	M	1,43	1,64
Longueur de la grille (L)	m	0.4	1.35
Surface (S)	m ²	0,57	0,57
Perte de charge (ΔH)	cm	1,5	3,1
Volume maximal des déchets (V _{max})	m ³ /j	0.59	2,05
Volume minimal des déchets (V _{min})	m ³ /j	0,47	1,64
Nombre d'ouvrage	/	02	02

VARIATIONS DES DÉBITS ET DES VITESSES EN FONCTION DU REMPLISSAGE

a) Ouvrages circulaires



MODE D'EMPLOI.

Les abaques Ab. 3 et Ab. 4 (a et b) utilisés pour le choix des sections d'ouvrages, compte tenu de la pente et du débit, permettent d'évaluer la vitesse d'écoulement à pleine section.

Pour l'évaluation des caractéristiques capacitives des conduites, ou pour apprécier les possibilités d'autocurage, le nomogramme ci-dessus permet de connaître la vitesse atteinte en régime uniforme pour un débit inférieur à celui déterminé à pleine section.

Les correspondances s'établissent, soit en fonction de la fraction du débit à pleine section, soit en fonction de la hauteur de remplissage de l'ouvrage.

Exemples :

Pour $r_Q = 0,40$, on obtient $r_V = 0,95$ et $r_H = 0,43$.

Pour $Q_{ps}/10$, on obtient $r'_V = 0,55$ et $r'_H = 0,17$ (autocurage).

Nota. — Pour un débit égal au débit à pleine section, la valeur du rapport $r_Q = 1,00$ est obtenue avec $r_H = 0,80$.

Le débit maximum ($r_Q = 1,07$) est obtenu avec $r_H = 0,95$.

La vitesse maximum ($r_V = 1,14$) est obtenue avec $r_H = 0,80$.