

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieure Et de La Recherche Scientifique



Université de Ghardaïa

Faculté des Sciences et Technologies
Département de l'Hydraulique et Génie Civil

N° d'ordre:

N° de série:

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de
MASTER

Domaine : *Sciences et Technologies*

Filière : *Hydraulique*

Spécialité : *Hydraulique Urbaine*

Par : **Ouled Haddar Ibtissem**

Thème

Optimisation d'une filtration à sable comme un traitement tertiaire pour l'eau épurée à l'aval de la STEP de Keff-Edoukhan Ghardaïa, et leur possibilité de la réutiliser

Soutenu publiquement le : 28/09/2020

Devant le jury :

| | | | |
|--------------------------|---------|----------------|--------------|
| Mr. Chebihi Lakhdar | MAA | Univ. Ghardaïa | Président |
| Mr. Chouireb Mustapha | Docteur | DRE Ghardaïa | Examineur |
| Mr. Boutelli Med Hichem | MAA | Univ. Ghardaïa | Encadreur |
| Mr. Ouled Belkhir Cheikh | MCB | Univ. Ghardaïa | Co-Encadreur |

Année universitaire 2019 / 2020

Dédicace

Je dédie ce modeste travail avec toute mon affection aux êtres qui me sont les plus chers au monde, à ma grand-mère "Feriha", mon grand-père "Omar" pour leurs sacrifices et leurs conseils, sans lesquelles je ne serais jamais arrivée à ce niveau

*À qui m'a endurée mes difficultés et m'a soutenue de tout ce qu'elle pouvait, qui m'a embrasée avec tout tendresse, la femme de science, mon modèle de vie ma très cher tante et mon adorable mère **Selma***

*Mon père **Messaoud** pour son amour, encouragement et sacrifice*

*Mes adorables tantes **Fatna** et **Naima***

*Mes chers oncles **Yacine**, **Bouhafs** et sa femme*

*A la mémoire de mon idole de science, mon oncle **Mouhamed***

*Mes cousines **Maria**, **Randa**, **Douaa**, **Zahra***

*Le cousin gâté **Mouhamed abd El-Hak***

*Toute la famille **Ouled Haddar***

*A mes amis surtout **Hanane**, **Assia**, **Meriem**, **Mustapha**, **Med Abd El-Wahab**, **Nadir**, **Mahmoud**, **Abd-Essalam**, **Fahmi***

À toute ma promotion 2ème année Master Hydraulique urbaine 2019/2020

Remerciement

*Je tiens avant tout à remercier « **DIEU** » pour m'avoir inspiré la volonté et le courage d'acheminer ce travail jusqu'à la fin.*

*Mes remerciements vont d'abord à mes encadrateurs **Mr. Boutelli Med Hichem** et **Mr. Ouled Belkhir Cheikh**, qui avec ses expériences, m'ont guidée le long de la réalisation de ce travail. Ses conseils et recommandations ont été précieux pour l'aboutissement de ce travail...*

*J'exprime mes vifs remerciements aux **membres de jury** qui m'ont fait l'honneur de juger ce travail*

J'adresse mes très sincères remerciements à toute l'équipe de la STEP de Ghardaïa

*Je remercie infiniment la demoiselle **Sarra Khemgani** la responsable du Laboratoire d'Hydraulique de l'univ de Ghardaïa*

*Toute gratitude aux honorables professeurs **Mr. Chebihi Lakhdar** et **Mr. Seggai Soufian**, pour ces conseils et ces aides*

*Je témoigne toute ma gratitude à **Mr. Amieur Abd Nacer** le directeur Technique du laboratoire des travaux publics aux sud pour son collaboration tout au long de la réalisation de ce travail, Et à travers lui je remercie tous les employeurs de Laboratoire*

A mes professeurs tout au long de mon cursus, dont j'ai appris tant de chose

Enfin, je remercie tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'épanouissement de ce travail

Ouled Haddar Ibtissem

Résumé

La station d'épuration de Kef-Edoukhan Ghardaïa, épure des grandes quantités d'eaux usées, estimées à 46 400m³/j, toute ces eaux est rejetées aléatoirement dans la nature. Dans l'objectif de l'exploitation de ces eaux épurées et de l'amélioration de ses qualités nous avons développé un projet visant à améliorer le processus de filtration sur sable et à obtenir une qualité d'eaux adéquates.

Notre travail s'est basé, au début, sur l'analyse des données physico-chimiques de l'eau épurée afin de déterminer sa qualité et de déterminer les processus de traitement appropriés pour la rendre possible à réutiliser. Par ailleurs, nous avons procédé à la caractérisation des matériaux filtrants par une étude granulométrique, afin d'identifier les différents paramètres pouvant orienter le choix des sables à adopter. Ainsi, nous avons réalisé une série d'essais au laboratoire en proposant 5 scénarios différents. Puis nous avons analysé les résultats obtenus en nous intéressant à la qualité de l'eau à la sortie du processus. Ceci nous a permis de sélectionner trois modes de filtrations dont chacune est caractérisée par une qualité de sable. Grâce à cette succession de travaux, étape par étape, nous avons réussi à proposer les matériaux filtrants, optimaux pour améliorer la qualité de l'eau et suggérer des possibilités de réutilisations de cette eau après un traitement de finition.

Mots Clé: Eaux Epurée. Station d'Epuration. Sable. Filtration Sur Sable.

Abstract

Water treatment plant for the state of Ghardaia, purifies a large quantity of wastewater, estimated at 23 000m³/j, all this water released randomly into nature. With the aim of exploiting this purified water improving its quality, we have developed a project aimed at improving the sand filtration process and obtaining adequate water quality.

Our work was based, at the beginning, on the analysis of the physic-chemical data of the purified water in order to improve its quality and to determine the appropriate treatment processes to make it possible to reuse it. In addition, we proceeded to the characterization of the filtering materials by a particle size study, in order to identify the various parameters that can guide the choice of sands to be adopted. Thus, we carried out a series of laboratory tests proposing 5 different scenarios. Then we analyzed the results obtained by focusing on the quality of the water at the exit of the process. This allowed us to select three filtration modes, each of which is characterized by a quality of sand. In this succession of work, step by step, we have succeeded in proposing the optimal filtering materials for improving the quality of the water and suggesting possibilities for reusing this water after a finishing treatment.

Keywords: Purified Water. Wastewater Treatment Plant. Sand. Sand Filtration.

ملخص

تعمل محطة معالجة المياه بكاف الدخان غرداية على معالجة كمية كبيرة من مياه الصرف الصحي تقدر بنحو

23000 متر مكعب/يوم ، يتم تصريف كل هذه المياه بشكل عشوائي إلى الطبيعة.

بهدف استغلال هذه المياه المعالجة وتحسين جودتها، قمنا بتطوير مشروع يهدف إلى الترشيح باستعمال الرمال

والحصول على جودة مياه مناسبة. استند عملنا في البداية على تحليل البيانات الفيزيائية والكيميائية للمياه

المعالجة من أجل تحديد عمليات المعالجة المناسبة لإتاحة إمكانية إعادة استخدامها. بالإضافة إلى ذلك، قمنا

بوصيف مواد المرشح من خلال دراسة حجم الجسيمات، من أجل تحديد الخصائص المختلفة التي يمكن أن

توجه اختيار الرمال التي سيتم اعتمادها. وبالتالي، أجرينا سلسلة من الاختبارات العملية مقترحة 5

سيناريوهات مختلفة. ثقمنا بتحليل النتائج التي تم الحصول عليها من خلال التركيز على جودة المياه عند الخروج من العملية. سمح لنا ذلك باختيار ثلاثة أنواع ترشيح، يتميز كل منها بجودة الرمل. بفضل هذا التعاقب في العمل، خطوة بخطوة، نجحنا في اقتراح مواد الترشيح المثلى لتحسين جودة المياه واقتراح إمكانيات إعادة استخدام هذه المياه بعد المعالجة النهائية.

الكلمات المفتاحية: الماء المعالج. محطة تصفية المياه. تراب. الترشيح بالتراب.

Sommaire

Dédicace

Remerciement

Résumé

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste d'annotation et abréviation

Introduction générale.....1

Chapitre01

Introduction.....4

I.1 Etude précédente.....4

I.1.1 Première étude.....4

I.1.2 Deuxième étude.....4

I.1.3 Troisième étude.....5

I.1.4 Quatrième étude.....5

I.1.5 Cinquième étude.....6

I.1.6 Sixième étude.....6

I.2 Eaux usées.....7

I.2.1 Origines des eaux usées.....7

A. Les eaux usées domestiques.....7

B. Les eaux usées pluviales.....7

C. Les eaux usées agricoles.....7

D. Les eaux usées industrielles.....7

I.2.2 Système d'assainissement7

A. Le Système unitaire.....7

B. Le système séparatif.....8

I.2.3 La pollution des eaux usées8

A. La pollution chimique.....8

| | |
|--|-----------|
| B. La pollution organique..... | 8 |
| C. La pollution microbiologique..... | 8 |
| D. La pollution thermique..... | 9 |
| E. La pollution radioactive..... | 9 |
| F. La pollution par hydrocarbures..... | 9 |
| H. La pollution physique..... | 9 |
| I. Pollution par le phosphore..... | 9 |
| J. Pollution par l'azote..... | 9 |
| I.2.4 Les paramètres caractéristiques des eaux usées..... | 10 |
| A. Paramètres organoleptiques..... | 10 |
| B. Les paramètres physiques..... | 10 |
| C. Les paramètres chimiques..... | 11 |
| D. Les paramètres bactériologiques..... | 13 |
| I.3 L'épuration..... | 14 |
| I.3.1 Définition..... | 14 |
| I.3.2 La station d'épuration..... | 14 |
| A. Définition..... | 14 |
| B. Rôle des stations d'épuration..... | 14 |
| C. Paramètres essentiels pour le choix d'une technologie de traitement des eaux usées..... | 14 |
| D. Procédés d'épuration des eaux usées..... | 15 |
| D.1 Prétraitement..... | 15 |
| D.2 Le traitement primaire..... | 18 |
| D.3 Le traitement biologique..... | 18 |
| D.4 La décantation secondaire..... | 24 |
| D.5 Le traitement tertiaire..... | 24 |
| D.6 Le traitement des boues..... | 37 |
| I.4 La réutilisation des eaux traitées..... | 37 |
| I.4.1 Le secteur agricole..... | 37 |

| | |
|--|----|
| I.4.2 Le secteur industriel | 37 |
| I.4.3 Le secteur urbain et périurbain | 38 |
| A. Réutilisation pour un usage non-alimentaire..... | 38 |
| B. Réutilisation pour un usage alimentaire (eau « potable ») | 38 |
| Conclusion | 39 |

Chapitre02

| | |
|---|----|
| Introduction | 41 |
| II.1 La zone d'étude | 41 |
| II.1.1 Situation géographique de la wilaya | 41 |
| II.1.2 Données générales sur la wilaya de Ghardaïa | 43 |
| A. Données climatiques..... | 43 |
| B. Analyse du milieu physique..... | 45 |
| C. Hydrologie et hydrogéologie..... | 45 |
| II.1.3 Délimitation de la commune d'El-Atteuf | 46 |
| A. Situation géographique de la commune d'El- Atteuf..... | 46 |
| II.2 Présentation de la station d'épuration de Keff-Edoukhan | 46 |
| II.2.1 Situation géographique | 46 |
| II.2.2 Caractéristiques | 47 |
| II.2.3 Dimensions de la STEP de Ghardaïa | 48 |
| II.2.4 Déférents organes constituent la STEP | 49 |
| A. Lagunage naturel..... | 51 |
| B. Performances épuratoires et conditions de fonctionnement..... | 51 |
| C. Prétraitement | 53 |
| D. Ouvrage de répartition..... | 54 |
| E. Traitement primaire..... | 55 |
| F. Traitement secondaire..... | 55 |
| G. Traitement des boues..... | 56 |
| H. Lits de séchage..... | 56 |
| I. Evacuation des eaux traitées | 57 |

| | |
|--|----|
| II.3 Laboratoire hydrochimie de l'université de Ghardaïa | 59 |
| II.3.1 Canal hydraulique | 59 |
| II.3.2 Pilote d'Ultrafiltration | 60 |
| II.3.3 Pilote de filtration sur Charbon Actif | 61 |
| II.3.4 Pilote de Traitement Des Eaux Usée Par Boues Activée | 62 |
| II.3.5 Pilote d'Osiose Inverse et de Nano-Filtration | 63 |
| II.3.6 Pilote d'Echange d'Ion (Traitement de l'Eau) | 64 |
| II.3.7 Dispositif expérimentale de l'étude | 65 |
| Conclusion | 71 |

Chapitre03

| | |
|---|----|
| Introduction | 73 |
| III.1Matériel utilisées | 73 |
| III.1.1 Le sable utilisée | 73 |
| A. Origine des matériaux..... | 74 |
| B. Analyse et caractérisations du sable | 82 |
| III.1.2 L'eau épurée utilisée | 84 |
| A. Qualités des eaux..... | 84 |
| III.2 Méthode utilisée | 89 |
| III.2.1 Prélèvement de l'eau | 89 |
| III.2.2 Mode opératoire | 89 |
| A. Scenario 01..... | 90 |
| B. Scenario 02..... | 92 |
| C. Scenario 03..... | 94 |
| D. Scenario 04..... | 96 |
| E. Scenario 05..... | 97 |
| Conclusion | 99 |

Chapitre04

| | |
|--|-----|
| Introduction | 101 |
| IV.1 Résultats de mesure et d'analyse | 101 |

| | |
|---|-----|
| IV.1.1 Résultats de l'analyse granulométrique du sable | 101 |
| IV.1.2 Résultats et interprétation du rendement épuratoire | 102 |
| A. Scénario 1..... | 102 |
| B. Scénario 2..... | 102 |
| C. Scénario 3..... | 103 |
| D. Scénario 4..... | 103 |
| E. Scénario 5..... | 104 |
| IV.2 Interprétations et discussions des résultats | 105 |
| IV.2.1 Caractéristiques granulométriques du sol | 105 |
| A. Classes Granulométriques..... | 105 |
| B. Faciès granulométriques..... | 106 |
| IV.2.2 Rendement épuratoire | 111 |
| A. Scénario 1..... | 111 |
| B. Scénario 2..... | 113 |
| C. Scénario 3..... | 116 |
| D. Scénario 4..... | 118 |
| E. Scénario 5..... | 121 |
| IV.3 Proposition | 125 |
| Conclusion | 128 |
| Conclusion générale | 129 |
| Bibliographie | 132 |
| Annexe | 137 |

Liste des tableaux

Chapitre I

| | |
|--|----|
| Tableau I.1 Propriétés physiques des matériaux filtrants..... | 31 |
|--|----|

Chapitre II

| | |
|---|----|
| Tableau II.2 les données de bases de la STEP | 48 |
|---|----|

| | |
|--|----|
| Tableau II.3 l'évolution des paramètres utilisés pour le dimensionnement des lagunes à capacité nominale..... | 52 |
|--|----|

Chapitre III

| | |
|--|----|
| Tableau III.4 les coordonnées des points de prélèvements..... | 73 |
|--|----|

Chapitre IV

| | |
|---|-----|
| Tableau IV.5 prélèvement Classes Granulométriques des sables pour les quatre sites de prélèvement..... | 101 |
|---|-----|

| | |
|--|-----|
| Tableau IV.6 Paramètres physiques pour les quatre sites de prélèvement..... | 102 |
|--|-----|

| | |
|---|-----|
| Tableau IV.7 Résultats des essais du scénario 1..... | 102 |
|---|-----|

| | |
|---|-----|
| Tableau IV.8 Résultats des essais du scénario 2..... | 103 |
|---|-----|

| | |
|---|-----|
| Tableau IV.9 Résultats des essais du scénario 3..... | 103 |
|---|-----|

| | |
|--|-----|
| Tableau IV.10 Résultats des essais du scénario 4..... | 104 |
|--|-----|

| | |
|--|-----|
| Tableau IV.11 Résultats des essais du scénario 5..... | 104 |
|--|-----|

Liste des figures

Chapitre I

| | |
|---|----|
| Figure I.1 dégrilleur courbé..... | 16 |
| Figure I.2 déssableur..... | 17 |
| Figure I.3 dégraissage..... | 18 |
| Figure I.4 dispositif de procédé lagunage naturel..... | 20 |
| Figure I.5 dispositif de procédé disque biologique..... | 22 |
| Figure I.6 dispositif de procédé lit bactérien..... | 23 |
| Figure I.7 dispositif de procédé boue activée..... | 24 |
| Figure I.8 Filtre à presse..... | 26 |
| Figure I.9 Filtre à poche ou à panier..... | 27 |
| Figure I.10 Coupe schématique d'un filtre à sable..... | 29 |
| Figure I.11 Fonctionnement d'un filtre à sable..... | 33 |
| Figure I.12 Fonctionnement d'un filtre à sable l'écoulement à travers le filtre..... | 34 |

Chapitre II

| | |
|---|----|
| Figure II.13 Situation géographique de la Wilaya..... | 41 |
| Figure II.14 La variation de Pluviométrie annuelles..... | 43 |
| Figure II.15 La variation de Température annuelles..... | 44 |
| Figure II.16 Situation géographique de la Commune d'El-Attef..... | 46 |
| Figure II.17 Localisation du site de la Station d'épuration..... | 47 |
| Figure II.18 Schéma descriptive de la Station d'épuration..... | 49 |
| Figure II.19 Principe de fonctionnement des bassins primaires..... | 50 |
| Figure II.20 Principe de fonctionnement des bassins secondaires..... | 50 |
| Figure II.21 Collecteurs d'amenée des eaux usées..... | 53 |
| Figure II.22 Dégrilleur - Dessableur..... | 54 |
| Figure II.23 Répartiteurs principales vers les bassins primaires et secondaires..... | 55 |
| Figure II.24 Lagunes primaires et secondaire..... | 56 |
| Figure II. 25 Lits de séchage..... | 57 |

| | |
|--|----|
| Figure II.26 Rejet final vers oued M'Zab..... | 58 |
| Figure III.27 Canal hydraulique..... | 59 |
| Figure III.28 Pilote d'ultrafiltration..... | 60 |
| Figure III.29 Pilote de filtration sur charbon Actif..... | 61 |
| Figure III.30 Pilote de traitement des eaux usée par boues activée..... | 62 |
| Figure III.31 Pilote d'osmose inverse et de nano-filtration..... | 63 |
| Figure III.32 Pilote d'échange d'ion (traitement de l'eau) | 64 |
| Figure III.33 Pilote de filtration..... | 65 |
| Figure III.34 Schéma de principe..... | 67 |
| Figure III.35 Machines-outils (vue de face) | 68 |
| Figure III.36 Coffret électrique-outils..... | 69 |
| Figure III.37 Machines-outils (vue de dos) | 69 |

Chapitre III

| | |
|--|----|
| Figure III.38 Photo illustrant un échantillon de sable de Dune d'El-Atteuf..... | 74 |
| Figure III.39 Photo géographique illustrant le point d'échantillonnage de sable de Dune d'El-Atteuf..... | 75 |
| Figure III.40 Photo illustrant un échantillon de sable du ravin de Metlili..... | 76 |
| Figure III.41 Photo géographique illustrant le point d'échantillonnage de sable du ravin de Metlili..... | 77 |
| Figure III.42 Photo illustrant un échantillon de sable de dune de Brizina..... | 78 |
| Figure III.43 Photo géographique illustrant le point d'échantillonnage de sable de dune de Brizina..... | 79 |
| Figure III.44 Photo illustrant un échantillon de sable de dune de Dayet Ben-Dhahoua..... | 80 |
| Figure III.45 Photo géographique illustrant le point d'échantillonnage de sable de dune de Dayet Ben-Dhahoua..... | 81 |
| Figure III.46 Les tamis utilisé..... | 82 |
| Figure III.47 L'eau épurée utilisé..... | 84 |
| Figure III.48 Détermination du DBO5..... | 85 |

| | |
|--|----|
| Figure III.49 Spectrophotomètre..... | 86 |
| Figure III.50 Détermination des MES..... | 87 |
| Figure III.51 Turbidimètre..... | 88 |
| Figure III.52 Schéma du de filtration..... | 89 |
| Figure III.53 Photo illustrant la première expérience du premier scénario..... | 90 |
| Figure III.54 Photo illustrant la deuxième expérience du premier scénario..... | 91 |
| Figure III.55 Photo illustrant la troisième expérience du premier scénario..... | 91 |
| Figure III.56 Photo illustrant la quatrième expérience du premier scénario..... | 92 |
| Figure III.57 Photo illustrant la première expérience du deuxième scénario..... | 93 |
| Figure III.58 Photo illustrant la deuxième expérience du deuxième scénario..... | 93 |
| Figure III.59 Photo illustrant la quatrième expérience du deuxième scénario..... | 94 |
| Figure III.60 Photo illustrant la première expérience du quatrième scénario..... | 95 |
| Figure III.61 Photo illustrant la deuxième expérience du quatrième scénario..... | 95 |
| Figure III.62 Photo illustrant la première expérience du troisième scénario..... | 96 |
| Figure III.63 Photo illustrant la troisième expérience du troisième scénario..... | 97 |
| Figure III.64 Photo illustrant la première expérience du cinquième scénario..... | 98 |
| Figure III.65 Photo illustrant la troisième expérience du cinquième scénario..... | 99 |

Chapitre IV

| | |
|--|-----|
| Figure IV.66 Proportions des classes granulométriques des sables aux différents sites de prélèvement..... | 105 |
| Figure IV.67 La courbe granulométrique du "Sable de Dune de El-Atteuf"..... | 106 |
| Figure IV.68 La courbe granulométrique du "Sable du Ravin de Metlili"..... | 107 |
| Figure IV.69 La courbe granulométrique du "Sable de dune Brizina"..... | 108 |
| Figure IV.70 La courbe granulométrique du "Sable de dune de Dayet Ben-Dhahoua"..... | 110 |
| Figure IV.71 L'évolution de DBO5 des eaux filtrées du premier scénario..... | 111 |
| Figure IV.72 L'évolution de DCO des eaux filtrées du premier scénario..... | 111 |
| Figure IV.73 L'évolution des MES des eaux filtrées du premier scénario..... | 112 |
| Figure IV.74 L'évolution de turbidité des eaux filtrées du premier scénario..... | 112 |

| | |
|--|-----|
| Figure IV.75 L'évolution de DBO5 des eaux filtrées du deuxième scénario..... | 113 |
| Figure IV.76 L'évolution de DCO des eaux filtrées du deuxième scénario..... | 114 |
| Figure IV.77 L'évolution des MES des eaux filtrées du deuxième scénario..... | 114 |
| Figure IV.78 L'évolution de turbidité des eaux filtrées du deuxième scénario..... | 115 |
| Figure IV.79 L'évolution de DBO5 des eaux filtrées du troisième scénario..... | 116 |
| Figure IV.80 L'évolution de DCO des eaux filtrées du troisième scénario..... | 116 |
| Figure IV.81 L'évolution des MES des eaux filtrées du troisième scénario..... | 117 |
| Figure IV.82 L'évolution de turbidité des eaux filtrées du troisième scénario..... | 117 |
| Figure IV.83 L'évolution de DBO5 des eaux filtrées du quatrième scénario..... | 118 |
| Figure IV.84 L'évolution de DCO des eaux filtrées du quatrième scénario..... | 119 |
| Figure IV.85 L'évolution des MES des eaux filtrées du quatrième scénario..... | 119 |
| Figure IV.86 L'évolution de turbidité des eaux filtrées du quatrième scénario..... | 120 |
| Figure IV.87 L'évolution de rendement épuratoire des eaux filtré de 1ère expérience du cinquième scénario..... | 121 |
| Figure IV.88 L'évolution de rendement épuratoire des eaux filtré de 2ème expérience du cinquième scénario..... | 122 |
| Figure IV.89 L'évolution de rendement épuratoire des eaux filtré de 3ème expérience du cinquième scénario..... | 123 |
| Figure IV.90 L'évolution de rendement épuratoire des eaux filtré de 4ème expérience du cinquième scénario..... | 124 |
| Figure IV.91 Schéma de la première solution proposée pour l'optimisation de la filtration..... | 126 |
| Figure IV.92 Schéma de la deuxième solution proposée pour l'optimisation de la filtration..... | 127 |

Liste d'annotation

Cl: Chlore

CO₂: Dioxide de Carbone

CuSO₄: Sulfate de Cuivre

N₂: Diazote

NH₃: Ammoniac

NH₄⁺: Ammonium

NO₂[·]: Dioxide d'Azote

NO₃: Nitrate

O₂: Oxygène

PO₄H₂: Phosphate

Q: Débit

Liste d'abréviation

ACP: Analyse en Composantes Principales

C_c: Coefficient de classement

CE: Conductivité Electrique

CHA: Classification Hiérarchique Ascendante

COT: Carbone Organique Total

C_U: Coefficient d'uniformité

DBO: Demande Biologique en Oxygène

DBO₅: Demande Biologique en Oxygène pendant 5 jours

DCO: Demande Chimique en Oxygène

D_E: Diamètre efficace

HPA: Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques

MCE: Mètre de Colonne d'Eau.

MES: Matières En Suspension

MMS: Matières Minérales Sèches

MO: Matière Organique

MVS: Matières Volatiles en Suspensions

NTK: L'azote Total de Kjeldahl

NTU: Néphélométrie

ONA: Office National de l'Assainissement

PH: Potentiel hydrogène

Poly-P: Poly-Phosphate

PPSMVSS: Le Plan Permanent de Sauvegarde et de Mise en Valeur du Secteur
Sauvegarde

R.N: Route National

STEP: Station d'Épuration



Introduction générale

Introduction

L'eau est la ressource naturelle essentielle. Malgré sa présence en grande quantité sur terre sous la forme d'eau salée, l'eau douce accessible et utilisable par l'Homme est beaucoup plus rare. En effet, elle ne représente que 0.001% de l'hydrosphère (**Centre d'information sur l'eau, 2013**).

Face à la raréfaction, à la dégradation de la ressource en eau et à une demande croissante des besoins en eau notamment en agriculture mais aussi lors des saisons touristiques, la réutilisation des eaux usées domestiques devient une exigence dans de nombreux pays et régions du monde qui souffrent d'un stress hydrique permanent ou saisonnier.

Ainsi, certains pays se consacrent à cette réutilisation des eaux usées afin de combler leur déficit en eau (Tunisie, Etats-Unis, Australie,...). Après leur traitement en station d'épuration et à la place d'un rejet direct dans le milieu naturel, les eaux usées peuvent subir une épuration supplémentaire grâce à des traitements plus spécifiques, appelés traitement tertiaire. Une réutilisation est alors possible après la mise en place de ce type traitement. Les eaux peuvent alors être réutilisées pour différents usages comme par exemple pour de l'irrigation en agriculture. La réutilisation directe des eaux usées permet donc d'une part de mobiliser une ressource en eau supplémentaire et d'autre part de protéger les milieux récepteurs.

Cependant, L'Algérie reste en retard dans ce domaine. En effet, comme la ressource en eau n'est pas manquante en Algérie et que le prix de l'eau potable est encore faible, la réutilisation n'est pas indispensable et donc non prise en compte par l'état et la population. L'optimisation cherche à modéliser, à analyser et à résoudre analytiquement ou numériquement les problèmes qui consistent à déterminer quelles sont les solutions susceptibles de satisfaire un objectif quantitatif tout en respectant d'éventuelles contraintes. Selon le type d'eau, différents type de traitement tertiaire peuvent être préconisés (la coagulation- floculation, décantation, filtration etc.). (**Gaid A. 1984**)

La filtration lente sur sable est le plus ancien mode de traitement des eaux. En effet, la première installation de filtration à l'échelle industrielle date de 1829 en Angleterre.

L'efficacité de ce procédé est reconnue comme moyen de prévention contre les épidémies d'origine hydrique et des études bactériologiques ont démontré son pouvoir d'élimination des germes pathogènes.

L'utilisation de la filtration sur sable, permet à l'eau turbide de traverser un milieu poreux. Lors de ce passage, l'eau entre en contact avec les couches filtrantes ce qui contribue à la

Introduction

rétenion des impuretés sur la surface des filtres et entre les interstices des sables également.

L'efficacité de la filtration sur sable dépend de la nature des matériaux filtrants, d'où la nécessité de caractériser les sables en fonction de leur granulométrie, leur morphologie ainsi que leur composition chimique.

Dans ce travail, nous avons proposé un traitement tertiaire à l'aval de la station d'épuration de Keff-Edoukhan 'Ghardaia' par un filtre à sable, en tenant compte de la disponibilité du sable dans la région.

De cette proposition, peut-on dire que ce traitement augment-t-il le rendement épuratoire?, et est-il réussi?, s'il réussit, quel échantillon de matériau filtrant donne des meilleurs résultats?, après ce traitement où pouvons-nous exploiter cette eau traitée?

L'objectif de ce travail est:

- L'optimisation d'un traitement tertiaire à l'aval de la station d'épuration de **Kef-Edoukhan Ghardaïa**

Ce travail est structuré en quatre chapitres suivant une introduction générale:

- Le premier chapitre de ce mémoire est consacré à l'étude bibliographique sur les travaux réalisés concernant ce sujet de recherche et aussi sur les eaux usées et ces compositions, des généralités sur l'épuration et ces procédés approuvés, ainsi on explique la procédure de filtration qui est classée comme une étape du traitement tertiaire avec plus de détails de la procédure de filtration sur sable (l'optimisation, le colmatage du filtre, l'écoulement à travers le filtre).
- Le second chapitre portera une délimitation de la zone d'étude 'Wilaya de Ghardaia' et une présentation de la station d'épuration de 'Keff-Eddoukhan – El-Atteuf'.
- Dans le troisième chapitre, nous décrivons la méthode expérimentale, le matériel, ainsi que le dispositif expérimental utilisés pour réaliser le traitement par filtration sur sable.
- Le quatrième chapitre est consacré, à l'étude expérimentale, nous présentons les différents résultats obtenus lors de la réalisation du traitement de filtration sur sable, l'étude de la granulométrie du lit filtrant a été étudiée dans ce chapitre, une analyse physico-chimique de l'eau avant et après filtration sera présentée, ainsi que la discussion de ces analyses.

Une conclusion générale ainsi que quelques perspectives seront présentées en fin de ce mémoire.



Chapitre I

Synthèse bibliographique

Introduction

La filtration sur sable, permet à l'eau turbide de traverser un milieu poreux. Lors de ce passage, l'eau entre en contact avec les couches filtrantes ce qui contribue à la rétention des impuretés sur la surface des filtres et entre les interstices des sables également. L'efficacité de la filtration sur sable dépend de la nature des matériaux filtrants, d'où la nécessité de caractériser les sables en fonction de leur granulométrie, leur morphologie ainsi de leur composition chimique.

La réutilisation des eaux traitées est reliée à la réussite de filtration.

Cette partie a pour but de citer les études précédentes de ce sujet, et rappeler les données de bases relatives à la filtration et la réutilisation des eaux traitées. Après avoir décrit sommairement la description détaillée des eaux épurées et les principales caractéristiques liées aux stations d'épuration et ces procédés.

I.1 Etude précédente

I.1.1 première étude

L'objectif principale de cette étude est la conception d'un montage à filtration sur sable suivi d'une application au traitement des eaux chargées de matière en suspension afin d'obtenir une eau claire. Qu'il s'agit du traitement de l'eau destinée à la consommation ou à usage industriel le sable et le milieu granulaire le plus couramment utilisé dans l'élimination des matières en suspension. (Zouggari K. Guennoun N. 2016)

I.1.2 deuxième étude

Dans ce travail, ils ont intéressés plus particulièrement à l'évolution des divers paramètres physico-chimiques des eaux de la station de traitement de Guelma au cours des différentes étapes de traitement par l'utilisation des méthodes statistiques multi-variées, l'Analyse en Composantes Principales (ACP), la Classification Hiérarchique Ascendante (CHA) et aussi des essais concernant la granulométrie, l'efficacité de lavage des filtres pour une éventuelle optimisation des six filtres de la station. Les résultats statistiques montrent d'une part que la filière (filtration) révèle une dépollution très importante par rapport aux éléments contenus dans les eaux brutes et d'autre part, ils ont procédé à la caractérisation des matériaux filtrants par une étude granulométrique afin d'identifier les différents paramètres pouvant orienter le choix des sables à adopter. Ainsi, ils ont réalisés

une série d'essais au laboratoire en proposant des scénarios différents dans le but d'optimiser l'opération de lavage des filtres par l'augmentation de la durée de l'étape de lavage et une limitation du temps de l'étape de rinçage à onze minutes. **(Elaggoune A. Grini A. 2016)**

I.1.3 Troisième étude

En milieu urbain, l'accroissement démographique génère des quantités considérables d'eaux usées qui sont traitées dans les stations d'épuration spécialiser ou rejeter directement sans contrôle dans les cours d'eau cas de l'oued de Béchar.

La région d'étude Béchar est une région semi-aride, l'alimentation en eau potable de la ville est assuré par des eaux de surfaces et souterraines et d'autres eaux souterraines non comptabilisé se trouvant à proximité de l'oued de Béchar.

Des études on permit de relever certaines observations relatives à la qualité des eaux des puits proches de l'écoulement des eaux usées de la ville de Béchar, révélant une forte salinité et parfois une mauvaise odeur. Les analyses effectuées ont révélé des teneurs en Cl⁻, NO₃, NO₂, NH₄ et les phosphates qui peuvent être transmis aux eaux de la nappe par les écoulements superficiels de l'oued, dont les eaux usées subissent une percolation lente à travers les couches triasiques.

Dans ce contexte, la démarche adoptée au cours de ce travail est d'effectuer une analyse physicochimique des eaux souterraines, l'eau usées et de réaliser une étude expérimentale de filtration à l'échelle de laboratoire et de suivre l'évolution des paramètres physicochimique caractérisant l'eau à épurer après filtration. **(Kendoussi M A. 2018)**

I.1.4 Quatrième étude

Qu'il s'agit de traitement de l'eau destinée à la consommation ou à usage industriel, le sable est le milieu granulaire le plus couramment utilisée dans l'élimination des matières en suspension.

L'étude comparative entre les résultats obtenus lors du traitement de l'eau du Barrage Djorf-ElTorba de la région du Béchar par trois types de sable de gisements divers, à s'avoir: sable importé (Tunisie), Sable d'Aouelf et celui de Ain Bouda (Addrar, a permis de à montrer que ce dernier est le plus efficace.

En outre, ils ont étudiés le dimensionnement d'un décanteur et l'influence de la hauteur et de la durée de décantation sur le rendement de la filtration, et ils ont montrés qu'elles ont

des valeurs optimales 60cm et de 60mi, pour la décantation, alors qu'elles sont de l'ordre de 90cm et 10min pour la filtration sur sable. **(Kouidri Z. 2006)**

I.1.5 Cinquième étude

Parmi les étapes les plus importantes dans la chaîne de traitement des eaux, on trouve l'étape de la filtration. Dans ce modeste travail ils ont utilisé deux types de matériau filtrant, le sable et les plaques de cellulose.

L'importance de cette étape, les a conduit à faire des expériences pour la comparaison entre les deux modes de filtration les plus utilisés, qui sont: la filtration sur sable et la filtration sur support, afin de trouver la méthode qui offre une bonne qualité de l'eau filtré.

Les expériences sont effectuées au laboratoire, sur les pilote TE 400 et TE 500, à partir des eaux saumâtres turbides préparés avec des variations des concentrations de la bentonite et du sel. D'après les analyses physico-chimiques ils ont remarqués une diminution de la turbidité, une très faible réduction de la conductivité, et une très faible influence sur le pH et cela pour les deux types de filtration. **(Sebih W. 2013)**

I.1.6 Sixième étude

La filtration lente sur sable est considérée parmi les méthodes efficaces, pour l'épuration des eaux usées. Cependant le filtre soumis au cours de son fonctionnement au phénomène du colmatage, ce qui défavorise le procédé de filtration. Pour cette raison, cette étude a pour but d'analyser ce phénomène : les causes de son apparition, ses types et leur emplacement.

Ils ont construit plusieurs filtres de même dimensionnement et de mêmes caractéristiques. L'étude du colmatage elle est faite en fonction du temps tout au long de la profondeur des filtres.

Il est à constater à travers cette étude que le filtre à sable soumis au colmatage progressivement. Ce colmatage est classé en trois fragments : mécanique, physique et organique. **(Gherairi Y. 2008)**

I.2 Eaux usées

Les eaux usées comme leur nomination l'indiquent; sont les eaux déjà utilisées. Elles constituent l'ensemble des déchets liquides produits par l'homme par ses propres besoins et au cours de ses activités domestiques, agricoles et industrielles. (Satin M. 1999. Ziani M. 2000)

I.2.1 Origines des eaux usées

Les eaux usées appelées aussi eaux résiduares sont identifiées selon leurs origines comme suit:

A. Les eaux usées domestiques

Sont les eaux issues des habitations ou de sanitaires des entreprises. L'eau usée domestique est un complexe de matière organique et minérale, produits par les eaux de cuisine, les eaux de vannes et les eaux de lavage. (Rejsek F. 2002)

B. Les eaux usées pluviales

Malgré que ces eaux n'aient pas été utilisées par l'homme, elles sont considérées comme des eaux usées car elles ne sont pas toujours propres. Il arrive même qu'elles soient plus polluées que les eaux usées domestiques. Elles sont ruisselées sur les surfaces imperméables, de même les gouttes de pluie traversent une atmosphère chargée de poussières et de produits divers. (Satin M. 1999)

C. Les eaux usées agricoles

Ces eaux sont considérées comme usées, car elles sont chargées de matériaux contenus dans les engrais, de même des eaux faire un lavage du sol. (Claude G. C. 1999)

D. Les eaux usées industrielles

Toutes les unités industrielles utilisent les eaux dans leurs processus de production, par conséquence elles ont des rejets assez considérables. (Claude G. C. 1999)

I.2.2 Système d'assainissement

C'est un réseau public de collecte et de transport des eaux usées vers une station d'épuration. On distingue:

A. Le Système unitaire

L'assainissement des eaux se fait au moyen d'un seul collecteur qui recueille les eaux usées et les eaux pluviales. Appelé aussi « tout-à-l'égout » La notion de « tout-à-l'égout » est aujourd'hui à proscrire, car elle suggère que tout et n'importe qui peut être rejeté dans le réseau d'assainissement unitaire. (Gaid A. 1984)

B. Le système séparatif

L'assainissement des eaux se fait cette fois-ci au moyen de deux collecteurs, l'un étant réservé aux eaux usées et l'autre aux eaux pluviales. **(Gérard Calvat. 2009)**

Il consiste à spécialiser chaque réseau selon la nature des effluents. Ce système présente, par ailleurs certains avantages

- il permet d'évacuer rapidement et efficacement les eaux les plus polluées, sans aucun contact avec l'extérieur.
- il assure à la station d'épuration qui traite les eaux collectées un fonctionnement régulier. **(Guide Technique de l'assainissement)**

I.2.3 La pollution des eaux usées

La pollution ou la contamination de l'eau peut être définie comme la dégradation de celle-ci en modifiant ses propriétés physiques, chimiques et biologiques; par des déversements, rejets, dépôts directs ou indirects de corps étrangers ou de matières indésirables telles que les microorganismes, les produits toxiques, les déchets industriels. Selon leurs natures, on distingue divers types de pollution. **(G Abdelkader. 1984)**

A. La pollution chimique

Elle résulte des rejets chimiques, essentiellement d'origine industrielle. La pollution chimique des eaux est regroupée en deux catégories:

- Organiques (hydrocarbures, pesticides, détergents, phénols...).
- Minérales (métaux lourds, cyanure, azote, phosphore...). **(Technique de l'ingénieur)**

B. La pollution organique

Elle constitue souvent la fraction la plus importante d'autant plus que dans son acception la plus large, cette forme de pollution peut considérer comme résultats de diverses activités (urbain, industriels, artisanales et rurales). On distingue, pour les eaux usées urbaines, les matières organique banale "protides, glucides, lipides", Les détergents, les huiles et goudron. **(G Abdelkader. 1984)**

C. La pollution microbiologique

Les eaux usées contiennent tous les microorganismes excrétés avec les matières fécales. Cette flore entérique normale est accompagnée d'organismes pathogènes. L'ensemble de ces organismes peut être classé en quatre grands groupes, par ordre croissant de taille : les virus, les bactéries, les protozoaires.

D. La pollution thermique

Les eaux rejetées par les usines utilisant un circuit de refroidissement de certaines installations (centrales thermiques, nucléaires, raffineries, aciéries..), ont une température de l'ordre de (70 à 80°C.) Elle diminue jusqu'à (40 à 45°C) lorsqu'elle contacte les eaux des milieux aquatiques entraînant un réchauffement de l'eau, qui influe sur la solubilité de l'oxygène. (Faiza Mekhalif. 2009)

E. La pollution radioactive

C'est celle qui est occasionnée par une éventuelle radioactivité artificielle des rejets qui trouvent leur source dans l'utilisation de l'énergie nucléaire sous toutes ces formes (installations et centrales d'exploitation de mine d'uranium, traitement des déchets radioactifs). Les éléments radioactifs s'incorporent dans les molécules des organismes vivants. Plus on s'élève dans la chaîne alimentaire plus les organismes sont sensibles aux rayonnements. (Faiza Mekhalif. 2009)

F. La pollution par hydrocarbures

La pollution par les hydrocarbures résulte de plusieurs activités liées à l'extraction du pétrole, à son transport et en aval à l'utilisation de produits finis (carburants et lubrifiants), ainsi qu'aux rejets effectués par les navires (marées noires).

H. La pollution physique

Résultat de la présence dans l'eau de particules ou de déchets capables de colmater le lit d'un cours d'eau (cas des eaux provenant par exemple des mines, d'usines de défilage de bois, de tanneries). (Vaillant J R. 1974)

I. Pollution par le phosphore

Le phosphore a pour origine les industries du traitement de surfaces des métaux, les laverie industrielles des fabrications, d'engrais agroalimentaire. Comme l'azote, le phosphore est un élément nutritif, il est à l'origine du phénomène d'eutrophisation c'est-à-dire la prolifération excessive d'algues et de plancton dans les milieux aquatiques. (Richarde C. 1996)

J. Pollution par l'azote

Les activités industrielles, peuvent être à l'origine des rejets plus ou moins riche en azote (élément nutritif) issu des fabrications d'engrais, des cokeries, et des industries chimiques et agroalimentaires. (Aoulmi Sofiane. 2007) L'azote existe sous deux formes: la forme réduite qui regroupe l'azote ammoniacal (NH_3 ou NH_4^+) et l'azote organique (protéine, créatine, acide urique). Plus une forme oxydée en ions nitrites (NO_2^-) et nitrates (NO_3^-).

I.2.4 Les paramètres caractéristiques des eaux usées

On distingue les paramètres organoleptiques, physiques, les paramètres chimiques et les paramètres toxiques:

A. Paramètres organoleptiques

A.1 Couleur

La couleur des eaux résiduaires industrielles est en général grise, signe de présence de matières organiques dissoutes, de MES, du fer ferrique précipité à l'état d'hydroxyde, du fer ferreux lié à des complexes organiques et de divers colloïdes.

A.2 Odeur

Les eaux résiduaires industrielles se caractérisent par une odeur. Toute odeur est pollution qui est due à la présence de matières organiques en décomposition. (Mizi A. 2006)

B. Les paramètres physiques

B.1 Température

Elle joue un rôle important dans la solubilité des sels et surtout des gaz (en particulier O₂) dans l'eau ainsi que, la détermination du pH et la vitesse des réactions chimiques. La température agit aussi comme facteur physiologique sur le métabolisme de croissance des microorganismes vivants dans l'eau. (Alain Botta. Laurence Bellon. 2001)

B.2 La turbidité

La turbidité est inversement proportionnelle à la transparence de l'eau, elle est de loin le paramètre de pollution indiquant la présence de la matière organique ou minérale sous forme colloïdale en suspension dans les eaux usées. Elle varie suivant les matières en suspension (MES) présentes dans l'eau. (Duguet J-P, Bernazeau F, Cleret D, Gaid A, Laplanche A, Moles J, Monteil A, Riou G, Simon P. 2006)

B.3 Les matières en suspension (MES)

Exprimée en mg par litre. Ce sont les matières non dissoutes de diamètre supérieur à 1 µm contenues dans l'eau. Dans le milieu récepteur, les MES peuvent entraîner des perturbations de l'écosystème par une diminution de la clarté de l'eau, limitant la photosynthèse végétale. De plus, ces MES peuvent être de nature organique et entraîner les nuisances associées aux molécules organiques. (Vaillant J R. 1974)

a. Les matières volatiles en suspensions (MVS)

Elle représente la fraction organique des MES et sont obtenues par calcination de ces MES à 525°C pendant 2h. La différence de poids entre MES à 105°C et MES à 525°C donne la

«perte au feu » et correspond à la teneur en MVS (en mg/l) d'une eau. (**Guide Technique de l'assainissement 2eme**)

b. Les matières minérales sèches (MMS)

Elles représentent la différence entre les matières en suspension (MES) et les matières volatiles en suspension (MVS) et correspondent à la présence de sel, et de silice.

c. Les matières décantables et non décantables

On distingue les fractions qui décantent en un temps donné (2 heures) suivant les conditions opératoires, et les matières non décantables qui restent dans l'eau et qui vont donc être dirigées vers les procédés biologiques. (**Gaid A. 1984**)

C. Les paramètres chimiques**C.1 Potentiel d'hydrogène**

Sa valeur détermine un grand nombre d'équilibre physicochimique. La valeur de pH basse ou élevée altère la croissance des microorganismes existant dans l'eau (leur gamme de croissance est comprise entre 5 et 9).

C.2 La demande chimique en oxygène DCO

Elle représente la teneur totale de l'eau en matières organiques, qu'elles soient ou non biodégradable. Nous noterons cependant que certains composés chimiques ne sont pas oxydés complètement par la détermination de la DCO comme par exemple l'azote organique. La méthode de dosage de la DCO est essentiellement basée sur la mesure de la consommation en oxygène nécessaire à sa dégradation. La DCO est exprimée en mg.L^{-1} d'oxygène équivalente à la quantité de dichromate de potassium consommée par les matières dissoutes et en suspension lorsqu'on traite un échantillon d'eau avec cet oxydant dans des conditions définies par les normes. (**Degrement. 1989**)

C.3 La demande biochimique en oxygène (DBO)

Elle correspond à la quantité d'oxygène nécessaire pour décomposer par oxydation et au moyen des bactéries aérobies, les matières organiques des eaux usées. Cette oxydation s'effectue en deux stades:

- Oxydation des composés de carbone, phénomène qui à 20°C, se trouve pratiquement terminer en 20 jours.
- Oxydation des combinaisons comprenant de l'azote, réaction qui ne s'amorce qu'au bout d'une dizaine de jour.

La DBO5 exprime la quantité d'oxygène consommée par les bactéries, à 20°C et à l'obscurité pendant 5 jours d'incubation d'un échantillon préalablementensemencé, temps

qui assure l'oxydation par voie aérobie. Pour la mesure, on prend comme référence la quantité d'oxygène consommée au bout de 5 jours, c'est la DBO5.

(Suschka J. Ferreira E. 1986)

C.4 La biodégradabilité

La biodégradabilité traduit l'aptitude d'un effluent à être décomposé ou oxydé par les micro-organismes qui interviennent dans les processus d'épuration biologique des eaux. Elle est exprimée par un coefficient K avec $K = DCO/DBO5$.

- 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.

Un coefficient K très élevé traduit la présence dans l'eau d'éléments inhibiteurs de la croissance bactérienne, tels que : les sels métalliques, les détergents, les phénols, les hydrocarbures... etc. 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 physico-chimique.

C.5 Le carbone organique total COT

Il représente la teneur en carbone lié à la matière organique, et repose sur une mesure de CO_2 après oxydation complète. Il est mesuré par le COTmètre et exprimé en $mg.L^{-1}$.

(Rodier J. 1996)

C.6 Oxygène dissous

L'oxygène est toujours présent dans l'eau. Sa solubilité est en fonction de la pression partielle dans l'atmosphère et de la salinité. La teneur de l'oxygène dans l'eau dépasse rarement 10 mg/l. Elle est en fonction de l'origine de l'eau, l'eau usée domestique peut contenir de 2 à 8 mg/l. (www.technique-science.net)

C.7 La conductivité électrique (CE)

La conductivité d'une eau fournit une indication précise sur sa teneur en sels dissous (salinité de l'eau). Elle s'exprime en $\mu Sm/cm$ et elle est l'inverse de la résistivité qui s'exprime en ohm/cm . La mesure de la conductivité permet d'évaluer la minéralisation globale de l'eau. **(Desjardins Raymands. 1997)**

C.8 L'azote

Dans les eaux usées domestiques, l'azote est sous forme organique et ammoniacale, Les formes de l'azote dans les eaux usées sont

- L'azote total de Kjeldahl (NTK).
- Les nitrates (NO_3^-).
- Et les nitrites (NO_2^-).

En plus de la toxicité de la forme ammoniacale et nitrique, l'azote intervient dans le phénomène de l'eutrophisation. Donc, sa caractérisation et sa quantification sont primordiales pour les rejets liquides dans le milieu naturel. (**Cherki F. Hesses H**)

C.9 Le phosphore total

Le phosphore se trouve dans les eaux résiduaires sous formes:

- d'ortho-phosphate, soluble PO_4H_2 .
- de poly-phosphate qui a tendance à s'hydrolyser en ortho-phosphate.
- de phosphore non dissous. (**Yahlatene S. Tahirim El Tladj. 2011**)

D. Les paramètres bactériologiques

Les micro-organismes qui se trouvent dans l'eau usée sont à l'origine du traitement biologique. Ils comprennent, par ordre croissant de taille : les virus, les bactéries, les protozoaires et les helminthes. Parmi les éléments pathogènes les plus rencontrés, on cite:

D.1 Virus

Les virus se trouvent dans les eaux résiduaires à des concentrations de l'ordre de milliers d'unités infectieuses par millilitre d'eau. On estime leur concentration dans les eaux usées urbaines comprise entre 10^3 et 10^4 particules par litre. Leur isolement et leur dénombrement dans les eaux usées sont difficiles, ce qui conduit vraisemblablement à une sous-estimation de leur nombre réel. (**Pierre J. Lienard A, Hedit A. P Duchene. 1990**)

D.2 Protozoaires

Les protozoaires sont des organismes unicellulaires munis d'un noyau, plus complexes et plus gros que les bactéries. Ils sont présents dans les eaux usées à l'état de kystes. La principale forme pathogène pour l'homme est *Entamoeba histolytica*, agent responsable de la dysenterie amibienne et *Giardia lamblia*. (**Rodier J. 2005**)

D.3 Les bactéries

Les bactéries sont des organismes unicellulaires simples et sans noyau. Leur taille est comprise entre 0,1 et 10 μm . Les eaux usées urbaines contiennent environ 10^6 à 10^7

bactéries par 100 ml. Parmi les plus communément rencontrées, on trouve les salmonella responsables de la typhoïde, des paratyphoïdes et des troubles intestinaux. (Feray C. 2000)

I.3 L'épuration

I.3.1 Définition

En assainissement, l'épuration constitue le processus visant à rendre aux eaux résiduaires rejetées la qualité répondant aux exigences du milieu récepteur. (Saggai M M. 2004)

I.3.2 La station d'épuration

A. Définition

Une station d'épuration permet de traiter les eaux usées qu'elles soient d'origines industrielles ou qu'elles proviennent des activités quotidiennes de l'homme. Le but est de collecter les eaux usées, puis de les épurer par traitement, avant de pouvoir les rejeter dans le milieu naturel sans risquer de polluer notre environnement. Une station d'épuration est une installation de plusieurs dispositifs et de procédés bien spécifique, chaque procédé a pour rôle d'éliminer ou de diminuer le taux d'un polluant présent dans l'eau usée. Equipée d'un Laboratoire d'analyse qui a pour but de calculer le rendement de la STEP et d'étudier l'anomalie (si nécessaire), d'une façon générale il surveille le fonctionnement de la station. Une STEP est généralement placée à l'extrémité d'un réseau de collecte à l'amont d'un milieu naturel bleu, tel un lac. (G Abdelkader. 1984)

B. Rôle des stations d'épuration

Ce rôle peut être résumé dans les points suivants:

- Traiter les eaux.
- Protéger l'environnement.
- Protéger la santé publique.
- Valoriser éventuellement les eaux épurées et les boues issues du traitement.

C. Paramètres essentiels pour le choix d'une technologie de traitement des eaux Usées

Les paramètres essentiels qui doivent être pris en compte pour le choix d'une technologie de Traitement doivent tenir compte:

- Des exigences du milieu récepteur.
- Des caractéristiques des eaux usées.
- Des conditions climatiques (température, évaporation, vent, etc.).
- De la disponibilité du site.
- Des conditions économiques (coût de réalisation et d'exploitation).

D. Procédés d'épuration des eaux usées

D'une façon générale, une station d'épuration des eaux usées comprend les étapes suivantes:

D.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. Suivant la qualité de l'eau à traiter, plusieurs opérations peuvent être nécessaires, parmi lesquelles:

a. Dégrillage

Le dégrillage consiste à séparer les matières les plus volumineuses charriées par l'eau brute, on faisant passer l'effluent d'entrée à travers des barreaux dont l'écartement est bien calculé.

L'efficacité du dégrillage est en fonction de l'écartement entre les barreaux de la grille, on distingue:

- Un pré dégrillage: espacement 30 à 100mm.
- Un dégrillage moyen: espacement 10 à 25mm.
- Un dégrillage fin: espacement 3 à 10mm.

Pour le nettoyage des grilles, on peut rencontrer deux types de grilles:

- **Grilles manuelles:** se sont composées avec de barreaux le plus souvent inclinés de 60 à 80° sur l'horizontale, elles sont réservées à la petite station. Leur inconvénient est la nécessiter de les nettoyer quotidiennement, car si la grille reste longtemps sans nettoyage, l'effluent risque de refluer dans le collecteur d'arrivée.
- **Grille mécanique:** Cette mécanisation est indispensable afin d'éviter un colmatage rapide des canalisations. Elles se classent en deux catégories:
 - ✓ Grille droite: elle est inclinées à 80° sur l'horizontale .le nettoyage se fait automatiquement à l'aide des râtaux, des peignes ou encore des brosses.
(G Abdelkader. 1984)
 - ✓ Grille courbes: sont utilisée pour les stations d'épuration des eaux industrielles. Le nettoyage se fait par un double râteau tournant ou encore par un système de bielle appliquée contre la grille. (Faiza Mmekhalif. 2009)



Figure I.1 dégrilleur courbé

b. Tamisage

Le tamisage est un dégrillage poussé utilisé dans les stations d'épuration industrielles. Il consiste en une filtration sur toile mettant en œuvre des mailles de différentes dimensions. (Telli Sidi Mohamed. 2013)

c. Dessablage

C'est un procédé consiste à l'élimination des sable présents dans l'effluent brute est indispensable pour protéger les conduit et les pompes contre l'érosion et le colmatage d'une part. (G .Abdelkader. 1984) La technique classique du Dessableur consiste à faire circuler l'eau dans une chambre de tranquillisation avec une vitesse d'environ de 0.3m/s qui permet le dépôt d'une grande partie des sables. (Telli Sidi Mohamed. 2013)



Figure I.2 déssableur

d. Dégraissage déshuilage

C'est un procédé destiné à éliminer les graisses et les huiles dans les eaux résiduaires. Les huiles et les graisses présentent plusieurs inconvénients pour le traitement tel que:

- Envahissement des décanteurs.
- Mauvaise diffusion de l'oxygène dans les décanteurs.
- Mauvaise sédimentation dans les décanteurs.
- Risque de bouchage des canalisations et des pompes.
- Diminution du rendement du traitement qui arrive après.

Il existe différents dispositifs de déshuilage-dégraissage conçus suivant la nature de l'eau à traiter. (**G Abdelkader 1984**)

- ✓ **Dégraisseur-déshuileur aéré:** Ce type d'ouvrage comprend une zone aérée (avec insufflation par le bas) suivi d'un compartiment de sédimentation latéral calculé pour une vitesse ascensionnelle de 15 à 20m/h. (**G Abdelkader. 1984**)
- ✓ **Déshuileur longitudinal:** C'est un bassin de forme rectangulaire équipé de racleur de surface de fond.

L'ouvrage et calculé pour:

- une vitesse d'écoulement horizontal de 20 à 50 m/h.
- une longueur de 2 à 6 m.

- une hauteur d'eau de 1 à 3 m. (Lagardette J. 2004-2005)



Figure I.3 dégraissage

D.2 Le traitement primaire

a. La décantation primaire

Le traitement primaire consiste en une simple décantation. Elle permet d'alléger les traitements biologiques et physico-chimiques ultérieurs, en éliminant une partie des solides en suspension. L'efficacité du traitement dépend du temps de séjour et de la vitesse ascensionnelle (qui s'oppose à la décantation). (HadjouBelaid Z. 2013)

La décantation primaire permet d'éliminer, pour une vitesse ascensionnelle de 1.2m/h, 40 à 60% de MES, soit 40% de MO, 10 à 30 % de virus, 50 à 90% des helminthes et moins de 50% des kystes de protozoaires et entraîne également avec elle une partie des micropolluante. (Gaid A. 1984)

D.3 Le traitement biologique

Le traitement biologique des eaux usées est le procédé qui permet la dégradation des polluants grâce à l'action de micro-organismes. Ce processus existe spontanément dans les milieux naturels tels que les eaux superficielles suffisamment aérées. Une multitude d'organismes est associée à cette dégradation selon différents cycles de transformation. Parmi ces organismes, on trouve généralement des bactéries, des algues, des champignons et des protozoaires. Les microorganismes responsables de l'épuration s'agglomèrent sous

forme de flocs et se développent en utilisant la pollution comme substrat nécessaire à la production d'énergie vitale et à la synthèse de nouvelles cellules vivantes.

Les différents procédés biologiques d'épuration des eaux usées sont:

a. Procédés biologiques extensifs

Ils reposent sur les phénomènes de l'autoépuration naturelle et ils demandent une faible énergie mais nécessitent, en revanche, de grandes superficies et de longs séjours des eaux usées. Du point de vue économique, ils sont moins coûteux. Ce sont le lagunage, l'épandage, etc...

1. Le lagunage (culture libre)

Le lagunage est un système biologique d'épuration qui repose sur la présence équilibrée de bactéries aérobies en cultures libres et d'algues. L'oxygène nécessaire à la respiration bactérienne est produit uniquement grâce aux mécanismes photosynthétiques des végétaux en présence de rayonnements lumineux. (Josep P. 2002)

1.1 Lagunage naturel: L'épuration est assurée grâce à un long temps de séjour dans plusieurs bassins étanches disposés en série. Le nombre de bassin le plus communément rencontré est trois (03). Le mécanisme de base sur lequel repose le lagunage naturel est la photosynthèse. La tranche d'eau supérieure de bassins est exposée à la lumière, ceci permet l'existence d'algues qui produisent l'oxygène nécessaire au développement des bactéries aérobies. Ces bactéries sont responsables de la dégradation de la matière organique. Le gaz carboné formé par les bactéries ainsi que les sels minéraux dans les eaux usées permettent aux algues de se multiplier, au fond du bassin où la lumière ne pénètre pas, ce sont des bactéries anaérobies qui dégradent les sédiments issus de la décantation de la matière organique. (Josep P. 2002)

1.1.1 Avantage

Généralement pour des petites stations de taille inférieure à 2000EH.

- Bien adapté au réseau unitaire (charge hydraulique - dilution).
- Coûts d'investissement limités (en absence de forte contrainte d'étanchéité).
- Faibles coûts d'exploitation ; • bonne intégration dans l'environnement.
- Bonne élimination des pathogènes.
- Boues peu fermentescibles.
- Raccordement électrique inutile.
- Bonne élimination de l'azote (70 %) et du phosphore (60 %).

1.1.2 Inconvénients

- Emprise au sol importante.
- Contraintes de nature de sol et d'étanchéité.
- Variation saisonnière de la qualité de l'eau traitée.
- Nuisances en cas de défaut de conception et/ou d'exploitation (rongeurs, odeurs, moustiques).
- Elimination de l'azote et du phosphore incomplète.
- Difficultés d'extraction des boues.
- Pas de réglage possible en exploitation.
- Sensibilité aux effluents septiques et concentrés.

1.1.3 Contraintes d'exploitation

- Passage de l'exploitant une à deux fois par semaine.
- Très faible technicité requise pour l'exploitant.
- Très faible consommation énergétique (voire nulle).
- Curage contraignant et coûteux des boues tous les 1 à 5 ans dans le bassin de tête, tous les 10 à 20 ans dans tous les bassins.
- Faucardage des roseaux tous les ans (hiver), s'ils sont présents. (Josep P. 2002)

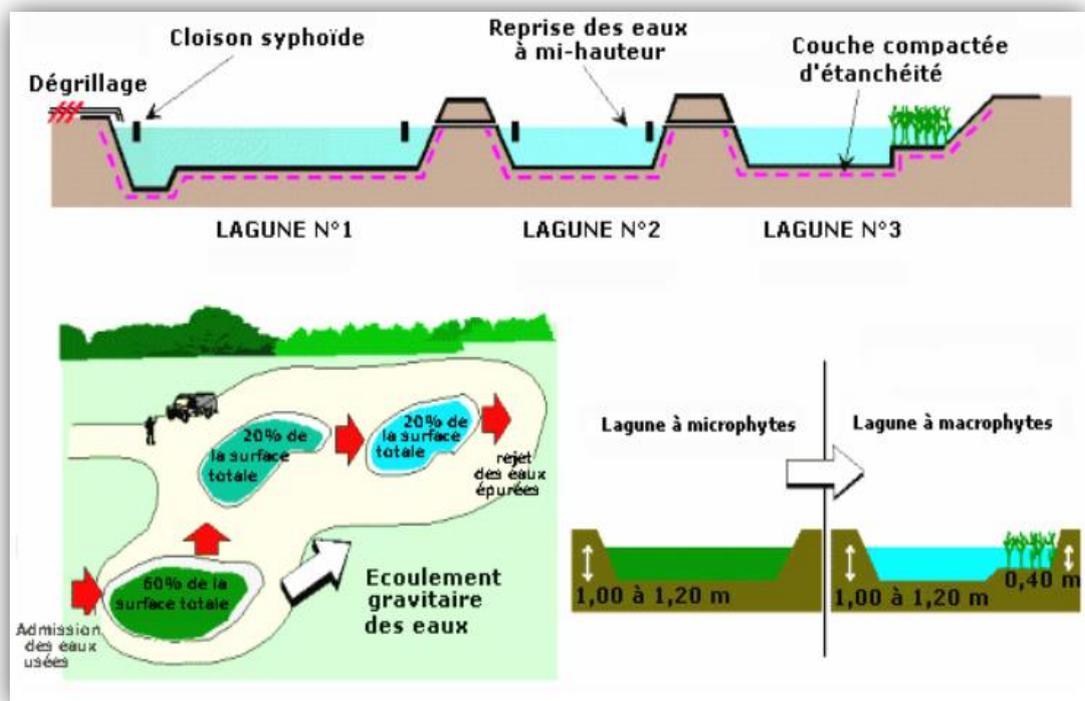


Figure I.4 dispositif de procédé lagunage naturel

1.2 Lagunage aéré: Il s'agit d'un ou plusieurs bassins de 2 à 4 mètres de profondeur, dans lesquels l'apport d'oxygène est fourni par un système artificiel (aérateurs de surface, diffuseurs d'air). (**Josep P. 2002**)

- ✓ Ce mode d'épuration permet d'éliminer 80 % à 90 % de la DBO, 20 % à 30 % de l'azote et contribue à une réduction très importante des germes. Il a cependant l'inconvénient d'utiliser des surfaces importantes et de ne pas offrir des rendements constants durant l'année. (**Josep P. 2002**)

b. Procédés biologiques intensifs

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. (**Faiza Mmekhalif. 2009**)

1. Disques biologiques (cultures fixées)

Les disques biologiques ou bio-disques sont des disques en filés parallèlement sur un axe horizontal tournant. Ces disques plongent dans une auge, où circule l'eau à épurer ayant subi une décantation. Pendant une partie de leur rotation ils se chargent de substrat puis ils émergent dans l'air le reste du temps (pour absorber de l'oxygène). Les disques sont recouverts par un bio film sur les deux faces. Ils ont un diamètre de 1 à 3 m, sont espacés de 20 mm et tournent à une vitesse de 1 à 2 tr mn-1.

Les boues en excès se détachent du disque et sont récupérées dans un clarificateur secondaire avant rejet dans le milieu naturel. (**Maet B . Amy Z. 1990**)

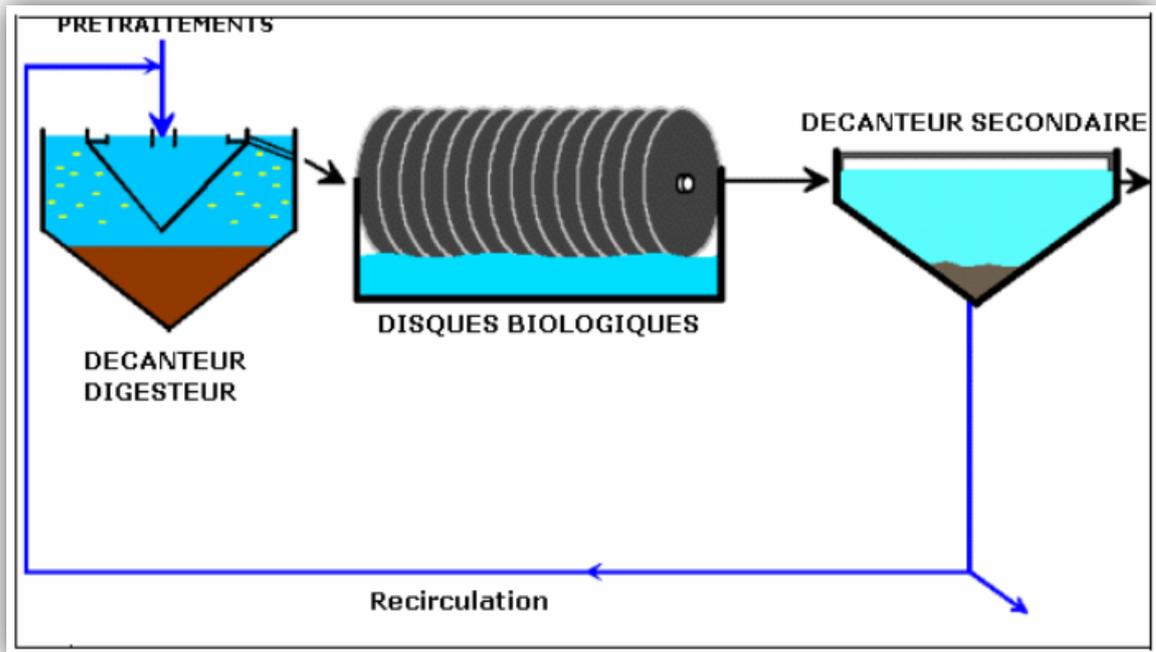


Figure I.5 dispositif de procédé disque biologique

2. Les lits bactériens

Les lits bactériens, appelés aussi lits ou filtres à ruissellement ont été utilisés pour le traitement biologique des eaux usées depuis près de 100 ans.

Son principe de fonctionnement est de faire ruisseler l'eau à traiter, préalablement sur une masse de matériau (naturel ou plastique) servant de support aux micro-organismes. Les micro-organismes qui sont fixés sur le support éliminent les matières organiques par absorption des constituants solubles et en suspension.

Les lits bactériens sont des réacteurs biologiques à cultures fixées, non immergées, utilisant un matériau de contact traditionnel (pouzzolane, cailloux). (Gaid A. 1984)

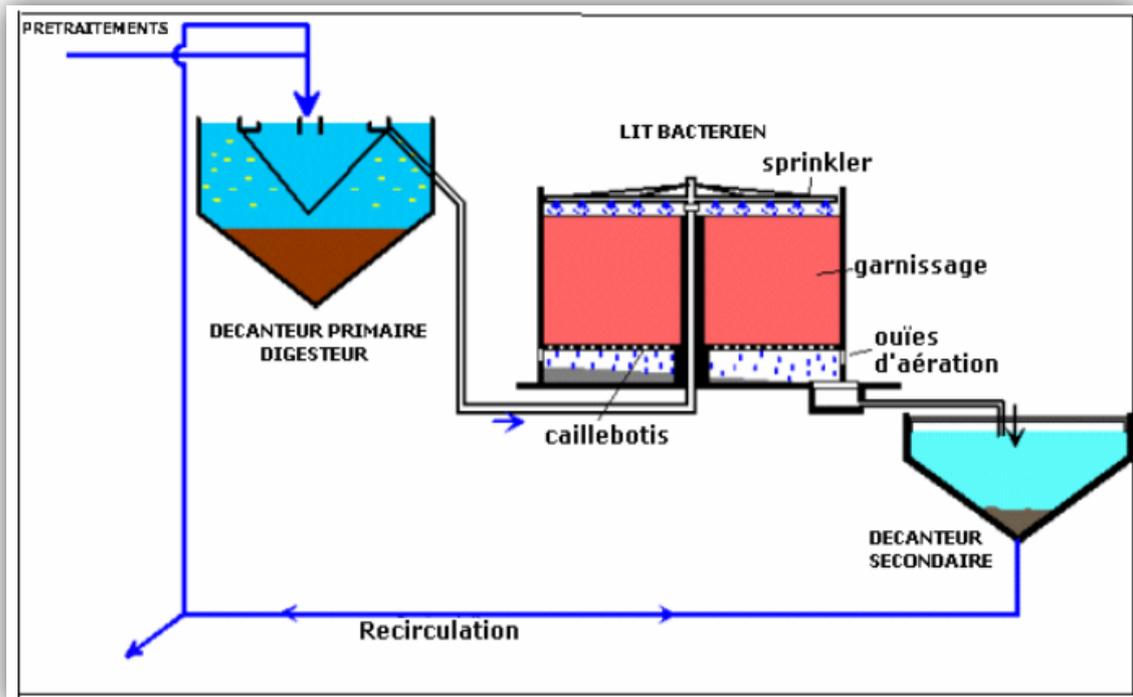


Figure I.6 dispositif de procédé lit bactérien

3. Les boues activées

Le procédé à boues activées a été découvert en 1914 à Manchester. Ce procédé utilise l'épuration biologique dans le traitement des eaux usées. C'est un mode d'épuration par cultures libres. Dans une filière de traitement des eaux, le procédé à boues activées fait partie des traitements secondaires.

L'épuration par boues activées consiste à mettre en contact les eaux usées avec un mélange riche en bactéries par brassage pour dégrader la matière organique en suspension dissoute. Il y a une aération importante pour permettre l'activité des bactéries et la dégradation de ces matières, suivie d'une décantation à partir de laquelle on renvoie les boues riches en bactéries vers le bassin d'aération. (www.technique-science.net)

Il existe quatre principales utilisations spécifiques du procédé à boues activées:

- Elimination de la pollution carbonée (matières organiques).
- Elimination de la pollution azotée.
- Elimination biologique du Phosphore.
- Stabilisation des boues: procédé dit d'aération prolongée ou digestion aérobie.

(www.technique-science.net)

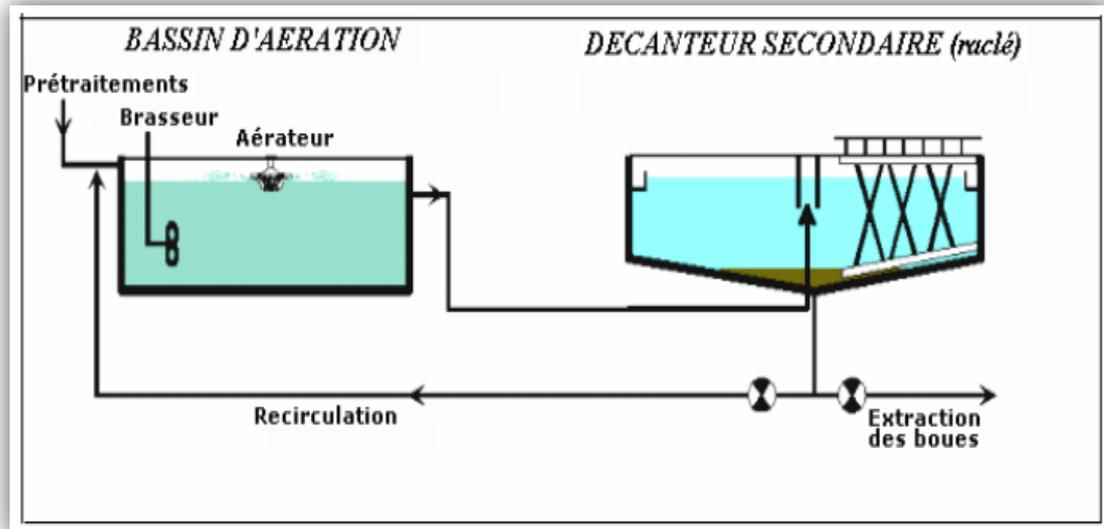


Figure I.7 dispositif de procédé boue activée

D.4 La décantation secondaire

À l'issue des traitements, une ultime décantation permet de séparer l'eau épurée et les boues ou résidus secondaires issus de la dégradation des matières organiques. Cette décantation est opérée dans des bassins spéciaux, les clarificateurs.

L'eau épurée peut alors être rejetée dans le milieu naturel. Les boues récupérées en fond d'ouvrage sont pour partie renvoyées vers le bassin d'aération pour y maintenir la concentration voulue en micro-organismes épuratoires et pour partie, extraites et envoyées sur la ligne de traitement des boues (lits de séchage, silos). (Amir S. 2005)

D.5 Le traitement tertiaire

a. Définition

Les traitements tertiaires comprennent les procédés destinés à enlever les matières résiduelles non extraites lors des traitements précédents. Les principaux traitements tertiaires sont la déphosphatation chimique, la filtration et la désinfection. La déphosphatation chimique constitue une méthode d'enlèvement du phosphore par précipitation. Les réactifs les plus courants sont l'alun et le chlorure ferrique. On a recours à la filtration lorsque les normes de rejets sur les matières en suspension (MES) et le phosphore (Pt) sont très restrictives. Enfin, la désinfection sert au contrôle des coliformes à l'effluent. Elle peut être effectuée à l'aide d'une ozonation ou, plus couramment, par radiation aux ultraviolets (UV). (Franck R. 2002)

b. Déphosphorations Chimiques

Le déphosphatation chimique vise la transformation sous la forme particulière d'une quantité suffisante d'orthophosphate après liaison chimique avec un coagulant métallique. Ces mêmes coagulants peuvent neutraliser des charges répulsives des particules pour favoriser la floculation et la sédimentation. De plus, diverses réactions compétitives favorisent aussi la formation de solides et de floc. Une fois la formation suffisante de floc, la séparation «solide-liquide» est réalisée par décantation et/ou par filtration. L'ajout de coagulant engendre toutefois des effets secondaires dont il faut tenir compte comme une variation du niveau de pH et l'accroissement du volume de boues (résidus) produit.

c. Filtration**1. Définition**

La filtration est une méthode qui consiste à séparer les particules solides du milieu liquide à l'aide d'une matière poreuse. Il existe divers systèmes de filtration qui épurent les eaux en les faisant passer à travers un milieu filtrant.

Les filtres peuvent être faits de sable, de tourbe, de charbon activé, de terre à diatomées ou d'autre matériaux utilisés séparément, ou en combinaison pour filtrer l'eau et retenir les particules aussi pour promouvoir la croissance des micro-organismes qui décomposent les polluants. **(Coulomb R. 1980 - Gougoussis C. 1978)**

2. Principes

La filtration est un procédé de séparation qui utilise le passage d'un mélange solide- liquide à travers un milieu poreux (filtre) qui retient les particules solides, et laisse passer le liquide. On rencontre deux types de particules:

- Les Floccs résiduels non retenus dans la zone de décantation/flottation.
- Les Micro floccs spécialement créés au contact du média filtrant (coagulation directe).

La filtration de clarification fait intervenir différents mécanismes notamment:

- Rétention physique (décantation, interception).
- Support de développement biologique.

3. Les différents types de filtres

Plusieurs types de filtres sont disposés à savoir:

3.1 Les filtres presses

Les filtres presses assuraient le gros de la filtration industrielle jusqu'aux années 1980. Leur avantage principal était le coût d'investissement réduit. Le désavantage était par contre un coût de maintenance relativement élevé en particulier pour enlever les gâteaux de filtration. Ce travail était non seulement coûteux en temps de main d'œuvre, mais aussi il s'agit d'un travail très sale, il est donc difficile de trouver le personnel acceptant de faire ce travail. Ce problème est résolu par les filtres presses automatiques, mais ceux-ci sont chers à l'achat, ce qui annule l'avantage principal de cette technologie.



Figure I.8 Filtre à presse

3.2 Les filtres à poche ou à panier

Le filtre à poche est très utilisé comme dispositif de filtration parce qu'il offre de nombreux avantages. Dans l'option du filtre à poche, la finesse de filtration peut être facilement modifiée par le simple changement de la poche filtrante, de cette façon on a la possibilité d'adapter une poche filtrante de 0.5 μ m jusqu'à 1mm.

Ils sont économiquement intéressants pour les eaux très chargées en particules. Ils posent par contre un sérieux problème de fiabilité, il arrive qu'une poche ou un panier cède sous l'effet de la pression qui augmente lorsque le gâteau de filtration se développe, et l'on a

donc un relâchement massif et soudain de particules dans l'eau traitée, ce qui peut avoir des conséquences catastrophiques sur le matériel que le filtre est censé protéger.

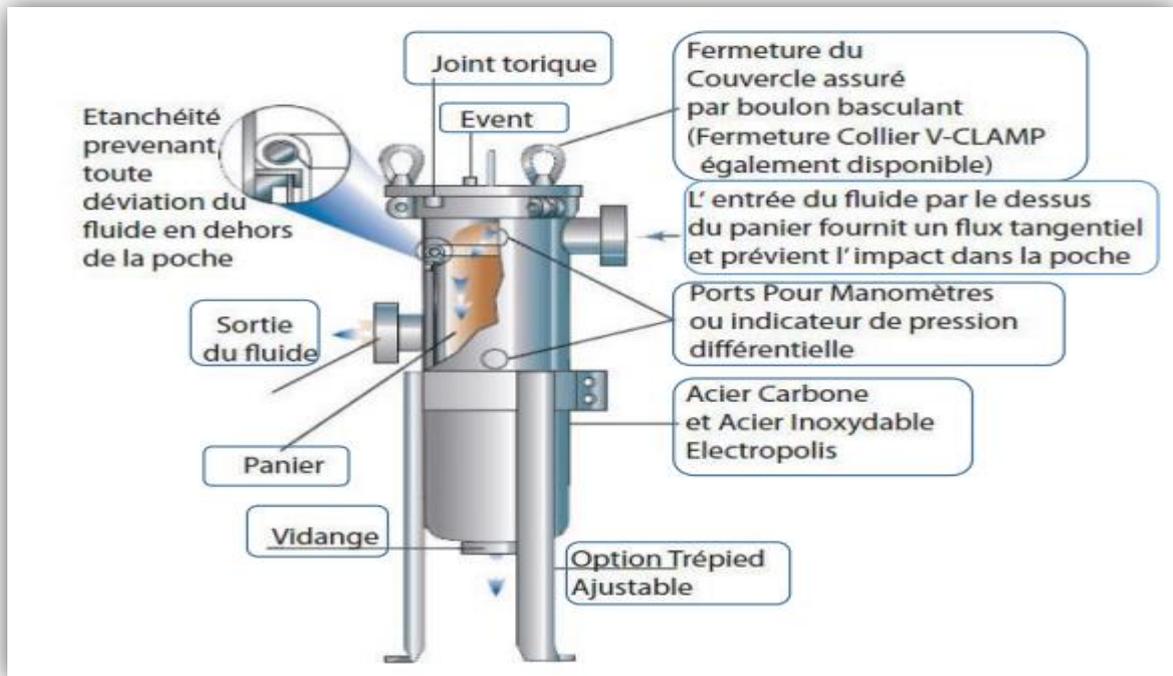


Figure I.9 Filtre à poche ou à panier

3.3 Les filtres à cartouches lavables et filtres autonettoyants

Sous tous ces noms, on trouve une très grande variété de technologies, et souvent des nouveaux filtres autonettoyants sont présentés comme la solution à tous les problèmes de filtration. S'ils présentent un avantage en termes de coûts de fonctionnement, il faut être conscient de leurs désavantages, qui limitent leurs applications

- Le coût d'investissement est généralement élevé.
- Les filtres autonettoyants ont un seuil de filtration de quelques dizaines de mm, ce qui est insuffisant pour certaines applications, comme la pré-filtration pour un osmoseur.
- L'installation est relativement complexe.
- Lors du nettoyage périodique, ces filtres rejettent une eau fortement chargée en particules, qu'il est souvent impossible de conduire à l'égout sans un traitement particulier, cela complique encore l'installation.

3.4 Les filtres à sable

On parle généralement de filtres à sable même si le media filtrant n'est pas forcément du sable. Il peut aussi s'agir d'anthracite ou de sable vert « Glauconite », ou un autre media filtrant. L'anthracite est plus léger que le sable proprement dit et fournit une couche de Pré-filtration. Le sable vert est un sable qui est recouvert d'une couche d'oxyde de manganèse, il a la propriété d'oxyder le fer dissous dans l'eau, et aussi le manganèse et l'hydrogène sulfureux.

Une fois que ces impuretés ont été oxydées, elles tendent à rester, par adsorption, dans le sable vert. Les filtres avec une couche de sable vert permettent de réduire les concentrations de fer et de manganèse dissous.

Les filtres à sable contiennent aussi souvent du gravier. Celui-ci n'est en général pas un media filtrant, mais sert à former une couche poreuse au fond du filtre. Ils sont aussi économiquement intéressants pour des débits d'au moins quelques m³/h d'eau très chargée en particules.

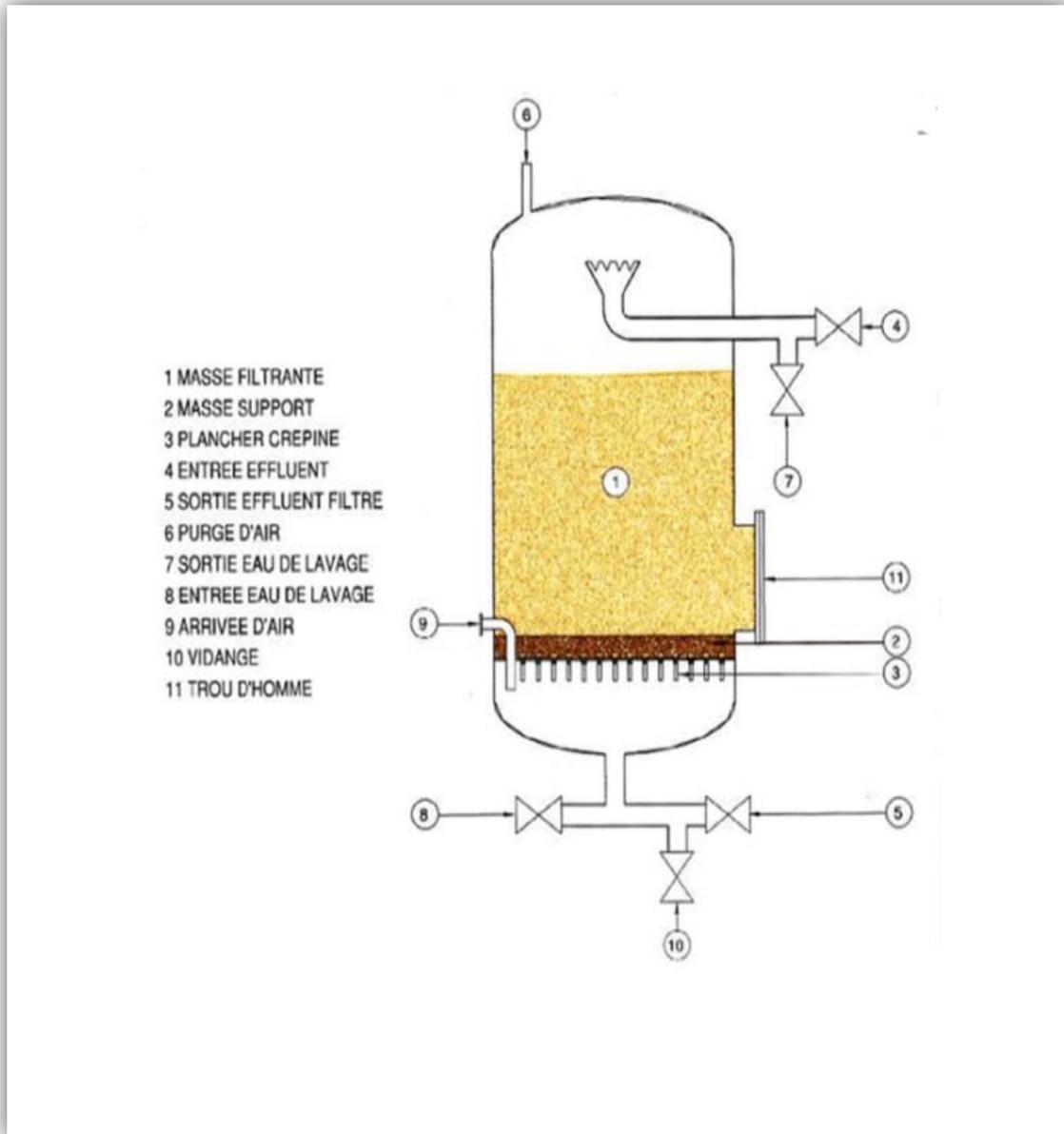


Figure I.10 Coupe schématique d'un filtre à sable

D'autres points importants à connaître sur les filtres à sable sont:

- Le gâteau de filtration joue un rôle important : au début, le filtre à sable filtre assez mal, et au bout de quelques heures de fonctionnement l'efficacité de filtration s'améliore.
- Un contre lavage périodique est nécessaire. C'est une procédure automatique, qui dure environ 20 minutes. Le débit est important, largement supérieur au débit nominal du filtre. Il peut être fait avec de l'eau non filtrée. Le débit de contre lavage est fixé par les spécifications du producteur du média filtrant. Ici aussi, il est donc raisonnable de vérifier que le constructeur du filtre a bien prévu un débit de

contre lavage conforme aux spécifications du producteur du média filtrant. Il faut prévoir au moins un contre lavage par semaine.

- Lorsque le filtre à sable est en matériau composite, et qu'il faut mettre du gravier, on risque de l'endommager si l'on ne met pas de l'eau avant de mettre le gravier.

Pour l'épuration des eaux usées, on utilise principalement:

- a) Des filtres à sable rapides.
- b) Des filtres à sable lents.

Il existe deux types de filtration: la filtration lente laquelle les vitesses normales sont de 2 à 7 m/jour, et la filtration rapide dont les vitesses peuvent atteindre de 3 à 20 m/h.

Dans le premier type, il y a formation à la surface des filtres une membrane biologique qui concourt d'une façon très importante à l'épuration de l'eau tout en retenant la plupart des micro-organismes et les particules colloïdales.

3.4.1 Filtres à sable rapides

Le filtre à sable rapide est le type le plus utilisé dans le traitement des eaux de consommation. Le matériau filtrant est maintenu en place par gravité et l'écoulement de l'eau se fait de haut en bas. Lorsque le milieu filtrant est encrassé, on lave le filtre en inversant le sens de l'écoulement de l'eau. Le milieu filtrant est alors en expansion, et les particules d'impureté beaucoup moins denses que les grains de sable, sont décollées et évacuées vers l'égout à l'aide des goulottes de lavage. Les principaux éléments d'un filtre rapide sont:

✓ Fond de filtre

Le fond de filtre est la structure qui sépare le milieu filtrant de l'eau filtrée. Il doit donc être suffisamment solide pour supporter le milieu filtrant (1 m de sable et de gravier) et aussi l'eau située au-dessus du milieu filtrant (2 m d'eau). Il permet en outre:

- De collecter et d'évacuer les eaux filtrées.
- De distribuer uniformément l'eau de lavage. (**Disjardin R. 1997**)

✓ Gravier de support

Le gravier de support, situé immédiatement au-dessus du fond de filtre, permet de:

- retenir le sable du milieu filtrant.
- D'améliorer la répartition de l'eau de lavage dans le filtre.

L'épaisseur et les caractéristiques granulométriques de la couche de gravier de support dépendent des caractéristiques du fond de filtre et de celles du milieu filtrant.

✓ Milieu filtrant

Les matériaux filtrants les plus utilisés sont le sable et l'antracite. Le tableau ci-après représente les principales propriétés physiques des matériaux filtrants.

Tableau I.1 Propriétés physiques des matériaux filtrants (R Disjardin. 1997)

| Matériau | Forme | Densité | Porosité (%) | Diamètre effectif (mm) |
|-----------------|--------------|---------|--------------|------------------------|
| Sable de silice | arrondie | 2.6 | 42 | 0.4 – 1.0 |
| Sable de silice | non arrondie | 2.6 | 44 | 0.4 – 1.0 |
| Quartz | anguleuse | 2.6 | 53 | 0.4 – 1.0 |
| Anthracite | anguleuse | 1.5 | 55 | 0.4 – 1.4 |
| Anthracite | arrondie | 1.5 | 50 | 0.5 – 1.0 |

3.4.2 Filtration à sable lente

On utilise la filtration lente sur sable depuis le début des années 1900. Cette méthode est toujours largement utilisée pour le traitement des eaux usées municipales. Des études avec d'autres observations ont montré que la filtration lente sur sable permet d'éliminer efficacement les bactéries coliformes des eaux usées et constitue un procédé de traitement innovateur et rentable qui exige peu d'entretien. Ce système est le plus efficace dans le cadre d'une approche comportant des traitements multiples. (Disjardin R.1997)

Un filtre à sable lent comprend un lit de sable classé reposant sur une couche de gravier. Ce milieu de filtration est contenu dans une boîte comportant, aux deux extrémités, des ouvertures permettant à l'eau d'entrer et de sortir sous l'effet de la gravité. Au niveau de ce procédé de filtration, une forme de traitement naturel et biologique de l'eau est utilisé pour éliminer les solides, les précipités, la turbidité et dans certains cas, les bactéries responsables du goût et de l'odeur désagréables. (Coulomb R.1980)

✓ Caractéristiques des filtres lents

Les filtres à sable lents, doivent être construits, de telle sorte que l'eau traverse lentement une couche de sable fin, et que les particules les plus grosses soient arrêtées près de la surface du sable. Ces particules forment une couche poreuse très fines, dont la surface totale de veinule ou de pores est très grande. Ce qui facilite l'absorption des impuretés par cette couche ou par le sable sous-jacent effectivement. Cette couche poreuse est constituée de bactéries, d'algues et de protozoaires. La filtration lente combine donc les effets de processus physiques, et de processus biologiques.

Les filtres à sable lents fonctionnent principalement grâce à l'activité biologique, mais également au captage des particules dans le filtre à sable.

Les caractéristiques fondamentales des filtres à sable biologiques sont:

- Le sable fin.
- La vitesse de filtration lente.

Les filtres à sable lents ne fonctionnent pas bien si l'eau brute est trop sale ou trouble. (Nur M. 1996)

✓ **Avantages des filtres lents**

- Les filtres lents permettent de ne pas recourir à la coagulation.
- Les matériaux de construction de ces filtres sont simples ,on peut se les trouver sur place.
- On peut aisément se procurer du sable sur place.
- La surveillance du fonctionnement de ces filtres est simple.
- Leur effluence est moins corrosive et de qualité plus constante que celle des filtres rapides, lesquels exigent un traitement chimique.
- Ils éliminant bien les bactéries. (Disjardin R. 1997)

✓ **Inconvénients des filtres lents**

- Les filtres lents occupent une grande superficie. Ils exigent une installation de grande dimension, un volume de sable important et des travaux coûteux.
- Leur exploitation manque de souplesse. Comme nous le verrons plus loin, leur mise en exploitation et leurs lavages requièrent des périodes trop longues, au cours des quels ils sont inutilisables.
- Leurs utilisation est coûteuse lorsque la turbidité des eaux brutes dépasse 30 unités néphélométriques et ce durant de longues périodes de temps, sauf lorsqu'on fait préalablement sédimenter les impuretés de manière à abaisser suffisamment le degré de turbidité de ces eaux.
- Ils décolorent médiocrement les eaux colorées.
- Ils donnent de mauvais résultats lorsque les eaux sont riches en algues et n'ont pas été préalablement traitées. (Disjardin R. 1997)

4. Optimisation de l'utilisation d'un filtre à sable

Pour optimiser l'utilisation d'un filtre, on doit le faire fonctionner de telle sorte que, lorsque la turbidité de l'effluent atteint la valeur maximale permise, les pertes de charge atteignent, elles aussi, leurs limites maximales permises. (Disjardin R. 1997 - Nur M. 1996)

L'utilisation d'un filtre n'est pas optimale lorsque les deux situations ci-dessous se produisent:

- Les pertes de charge atteignent leurs valeurs maximales alors que la turbidité est toujours faible. Pour corriger cette situation, on peut soit accroître la charge superficielle afin d'augmenter la valeur des forces de cisaillement (et permettre ainsi une meilleure pénétration du floc), soit augmenter le diamètre effectif du milieu filtrant.
- La turbidité atteint sa valeur maximale alors que les pertes de charge sont toujours faibles. Pour corriger une telle situation, on peut soit réduire la charge superficielle afin de ne pas briser le floc, soit additionner un polymère destiné à renforcer le floc, soit diminuer le diamètre effectif du milieu filtrant. (Nur M. 1996)

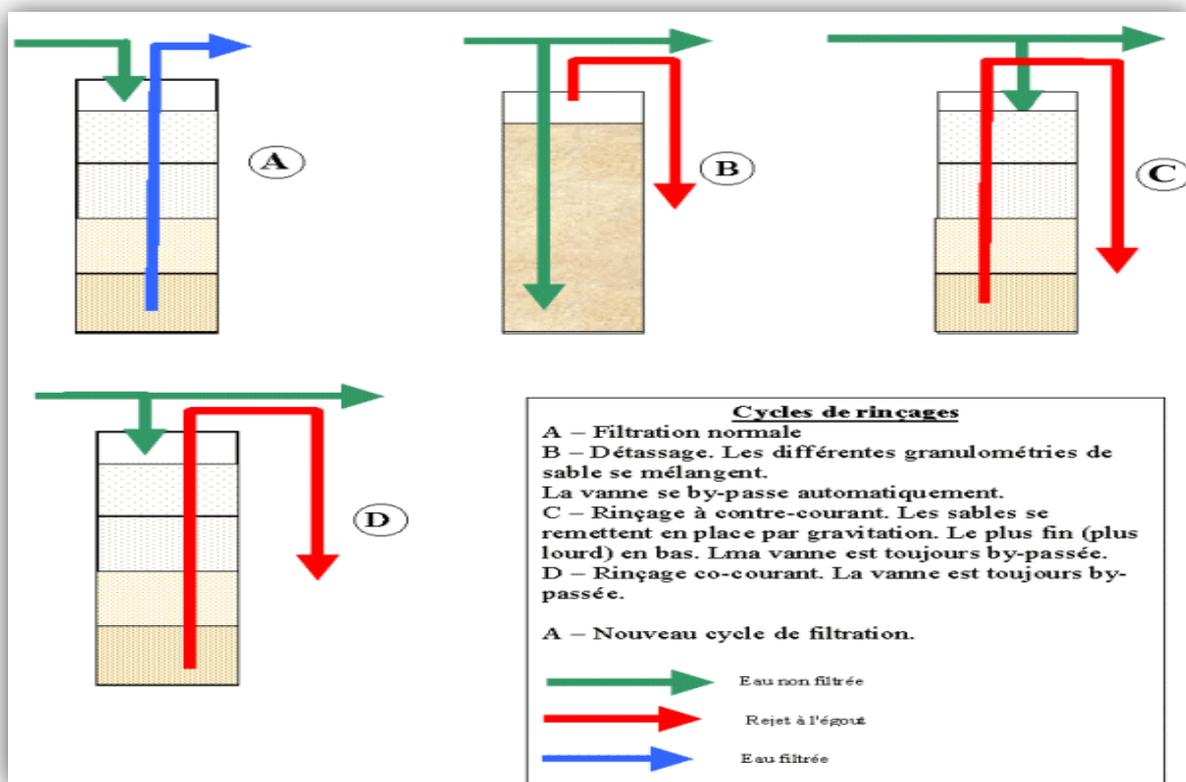


Figure I.11 Fonctionnement d'un filtre à sable

5. le colmatage des filtres

5.1 Définition

Le colmatage est l'obstruction progressive des interstices des matériaux filtrant, la vitesse du colmatage dépend de type de support filtrant et de la qualité de l'eau à faire filtré. (Degrement 1989)

5.2 Types de colmatage

Le colmatage est classé suivant les facteurs mis en jeu dans ce phénomène, il est classé comme suit : (Gougoussis C. 1978)

5.2.1 Colmatage physique

Il est dû au tassement de sable du filtre sous l'effet de son propre poids et de l'écoulement de l'eau qui provoque le transport des particules fines en cours d'eau. La matière en suspension est aussi retenue par le matériau filtrant. (Rodgers M. 2004 - Djididi N.1991)

5.2.2 Colmatage chimique

L'eau joue le rôle d'un catalyseur pour les réactions chimiques entre les ions existants dans la masse filtrante. Ces réactions seront plus affectant en présence de l'argile. (Rodgers M. 2004 - Djididi N.1991)

5.2.3 Le colmatage biologique

Il est dû à l'accumulation de la matière organique dissoute et les micro-organismes sur les surfaces des grains. (Rodgers M. 2004 - Djididi N. 1991)

6. L'écoulement à travers le filtre à sable

La filtration étant l'écoulement d'un liquide dans un milieu poreux est régi, pour les vitesses usuellement appliquées en traitement d'eau, par la loi de DARCEY

$$Q = K \cdot A \cdot \Delta P / \eta \Delta H$$

Avec :

Q : le débit traversant la couche filtrante (m^3/s)

K : le coefficient de perméabilité (m/s)

ΔP : la perte de charge à travers la couche filtrante (m)

ΔH : hauteur de la couche considérée (m)

η : viscosité dynamique de l'eau (pa.s)

Donc l'écoulement à travers le filtre dépend à la fois, des caractéristiques du sol et du liquide.

(De Marcey G. 1994)

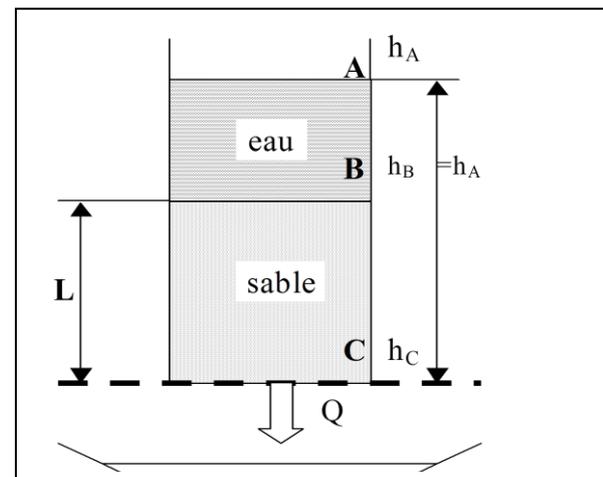


Figure I.12 Fonctionnement d'un filtre à sable l'écoulement à travers le filtre

7. Paramètres caractéristiques de la filtration

7.1 La qualité de l'eau brute

Ce paramètre est primordial, il influence le choix des matériaux et le débit de la filtration.

L'étude de l'eau brute permet de distinguer les fluctuations de sa qualité pendant les

saisons de l'année et d'envisager le traitement nécessaire pour lutter contre la charge polluante contenue dans l'eau.

7.2 La qualité des opérations de coagulation et de décantation

L'efficacité du prétraitement de l'eau brute avant son entrée dans les filtres est un paramètre très important, parce qu'il ne faut pas compter sur l'utilisation continue des filtres à sables pour l'épuration d'une eau médiocrement prétraitée. Une coagulation mauvaise ou retardée engendre le passage d'une eau très turbide dans les filtres, et contribue ainsi au colmatage des pores et à la réduction du rendement des filtres, ce qui nécessite plusieurs lavages par jour.

7.3 La nature de la couche filtrante

La couche filtrante constitue l'élément essentiel du filtre, il faut choisir le sable avec soin. L'efficacité de la filtration à travers le sable dépend en grande partie de la taille des grains qui le constituent et de l'épaisseur de la couche filtrante.

7.4 La vitesse de filtration

La vitesse doit être choisie en fonction des caractéristiques de l'eau brute et de la fréquence à laquelle on désire nettoyer les filtres. Dans le cas, d'une filtration lente les vitesses varient entre 0,1 et 0,2 m/h. En revanche la filtration rapide présente un intervalle de vitesse entre 2,40 m/h et 20 m/h. On note que les vitesses inférieures assurent plus de sécurité mais exigent évidemment des filtres plus grands.

$$\text{Vitesse de filtration (m/h): } \frac{\text{débit (m}^3\text{/h)}}{\text{surface filtrante (m}^2\text{)}}$$

7.5 Le dimensionnement et la profondeur du filtre

Le volume du filtre joue un rôle important dans la quantité d'eau à filtrer. Plus la capacité du filtre est grande plus la quantité traitée est élevée. Pour une filtration rapide le filtre doit correspondre à une couche d'épaisseur précise de manière à ce que les matériaux filtrants soient surmontés d'au moins 1 mètre d'eau, l'équivalent d'un tiers du volume total pour éviter le colmatage par l'air et assurer une durée d'utilisation raisonnable. La profondeur totale doit être de 3 à 4 mètres.

7.6 Le temps de contact

C'est le temps que prend l'eau pour passer à travers le milieu poreux en fonction d'un débit bien déterminé. Plus le temps de contact est important plus la nature de la filtration est bonne, il permet la rétention maximale des MES contenues dans l'eau.

$$\text{Temps de contact (min): } \frac{\text{volume du sable (m}^3\text{)} * 60}{\text{débit (m}^3\text{/h)}}$$

7.7 La perte de charge

C'est l'expression qui représente l'état d'encrassement d'un filtre. Elle correspond à une différence de pression entre l'amont et l'aval du matériau filtrant. Elle est généralement exprimée en mètre de colonne d'eau (mCE). La perte de charge correspond aux forces de frottement qui s'opposent à l'écoulement, plus le filtre est colmaté plus la perte de charge augmente. Ce qui nécessite de procéder à un lavage. La perte de charge au sein d'un milieu poreux est proportionnelle à la vitesse de filtration (loi de darcy).

d. La désinfection**1. La désinfection par chloration**

La désinfection par chloration La méthode la plus ancienne de désinfection est l'utilisation de chlore. Le chlore est injecté directement dans les eaux usées. Il peut être utilisé sous forme de chlore gazeux, hypochlorite de sodium et bioxyde de chlore. Cet oxydant très puissant permet l'élimination de la plupart des microorganismes pathogènes même à faible dose. En effet, il endommage les membranes des cellules. C'est une technique très facile à mettre en place et peu coûteuse.

2. La désinfection par l'ozone

La désinfection par l'ozone se déroule comme suit. L'eau en sortie de STEP est stockée dans une cuve tampon. Elle sera ensuite pompée pour passer à travers un ou plusieurs filtres à tamis pour ensuite être introduite dans une « chambre d'impact ». C'est dans cette chambre que sera injecté l'ozone. Un mélange parfait entre l'ozone et l'eau est alors réalisé. C'est un générateur d'ozone qui produit l'ozone nécessaire au traitement. Il n'y a pas d'utilisation de produits chimiques. Il faut juste de l'air et de l'électricité. Environ 10 g/h/m³d'eau d'ozone est suffisant pour éliminer l'ensemble des pathogènes avec un temps d'exposition est d'une heure. A la sortie de ce traitement tertiaire, l'eau peut être rejetée dans le milieu naturel ou être réutilisée.

3. La désinfection par l'UV

La désinfection par l'UV Le procédé d'ultraviolet se place à la suite d'un traitement secondaire du type boues activées plus clarificateur. Les rayonnements UV sont des ondes lumineuses de longueur d'onde comprise entre 100 et 400 nm. Leur pouvoir germicide dépend de la longueur d'onde émise. Ce sont les UVc compris entre 200 et 280 nm qui sont les plus germicides. La source d'émission UV utilisée en désinfection est la lampe à vapeur de mercure. Il s'agit de lampes à arc électrique qui provoque l'excitation des atomes de mercure, puis l'émission de radiations par retour à leur état fondamental.

D.6 Le traitement des boues

Les boues constituant le résidu principal des stations d'épuration. Le traitement des boues représente 30% de l'investissement dans la construction d'une station d'épuration.

Le traitement des boues a pour objectifs de:

- réduire la fraction organique afin de diminuer leur pouvoir fermentescible et les risques de contamination (stabilisation).
- diminuer leur volume total afin de réduire leur coût d'évacuation (déshydratation).

(HadjouBelaid Z. 2013)

I.4 La réutilisation des eaux traitées

La réutilisation ne peut se faire qu'en imposant des traitements tertiaires aux eaux usées traitées.

I.4.1 Le secteur agricole

La majorité des projets de réutilisation des eaux usées concerne des utilisations agricoles. Pour ce secteur, la réutilisation des eaux améliore les rendements des cultures et apporte des bénéfices financiers.

Afin de garantir la protection de la santé publique, il est indispensable de mettre en place des normes et des réglementations strictes et adaptées à la spécificité des différentes cultures. Il existe deux grands groupes de normes : les recommandations de l'OMS (1989) et la réglementation californienne (1978). L'objectif principal est d'éliminer les risques sanitaires. Ainsi, pour l'irrigation sans restriction, la pollution microbiologique des eaux usées utilisées doit, selon l'OMS, rester au-dessous de 1 000 coliformes fécaux (CF)/100 ml.

I.4.2 Le secteur industriel

La réutilisation industrielle des eaux usées et le recyclage interne sont désormais une réalité technique et économique. Pour certains pays et types d'industries, l'eau recyclée fournit 85 % des besoins globaux en eau. Les secteurs les plus grands consommateurs en eau sont les centrales thermiques et nucléaires (eau de refroidissement) et les papeteries. La qualité de l'eau réutilisée est réglementée et dépend du type d'application ou de production industrielle. La part des eaux usées urbaines ne dépasse pas 15% du volume des eaux réutilisées en industrie. Aux Etats-Unis, par exemple, le volume des eaux résiduelles réutilisées en industrie est d'environ 790 000 m³/j, dont 68 % pour le refroidissement. (V. Lazarova mai 1998)

I.4.3 Le secteur urbain et périurbain

A. Réutilisation pour un usage non-alimentaire

Les usages urbains et périurbains des eaux usées correctement traitées se développent rapidement et deviennent un élément fondamental de la politique de gestion intégrée de l'eau dans les grandes agglomérations. **(P. Renaud , sept.1997)**

Plusieurs municipalités du Japon (pionnier des pays en voie de développement : 8 % du volume total des eaux usées réutilisées soit environ 8 millions de m³ par an) et des villes des Etats-Unis ont déjà construit des systèmes de distribution double : eau potable et eaux usées à réutiliser.

Les bénéfices obtenus sont importants. Il faut noter en premier, la réduction de la demande en eau potable qui peut atteindre 10-15 %, voire 40 % dans les zones résidentielles avec beaucoup d'espaces verts. **(K. Miller, 1990)**

Les usages les plus courants sont l'irrigation d'espaces verts (parcs, golfs, terrains sportifs), l'aménagement paysager (cascades, fontaines, plans d'eau), le lavage des rues ou des véhicules et la protection contre l'incendie. Une autre application importante est le recyclage en immeuble avec, par exemple l'utilisation de l'eau ménagère traitée pour le lavage des sanitaires. Les normes qui régissent la qualité des eaux usées destinées à de tels usages sont très sévères et voisines à celles en vigueur pour l'eau potable.

Pour les usages urbains, l'Afrique du Sud et l'Australie sont les pays dont les normes sont les plus sévères. Ils exigent respectivement une qualité d'eau potable et l'élimination totale des virus. Dans ce cas, les filières de traitement se rapprochent de celles de production d'eau réutilisée pour des usages potables. **(V. Lazarova mai 1998)**

B. Réutilisation pour un usage alimentaire (eau « potable »)

Le progrès technologique du métier de l'eau permet de produire une eau de très bonne qualité, même à partir des eaux usées. De nombreuses études ont conclu à l'absence d'objection pertinente à la réutilisation des eaux résiduaires correctement traitées à des fins potables. Toutefois, les principales contraintes pour ce type d'usage sont psychologiques et culturelles associées à la perception de l'eau usée comme dangereuse et malsaine. De ce fait, la tendance principale aujourd'hui est l'usage indirect, après un séjour temporaire de l'eau usée traitée dans le milieu naturel. En fonction de la destination de l'eau réutilisée, ce type de réutilisation peut être classé soit dans la catégorie de réutilisation potable, soit pour des usages non potables. Dans le premier cas, il faut souligner l'impact psychologique très

positif de ce détour par le milieu naturel qui permet à l'eau destinée à la réutilisation de perdre son identité d'eau usée. (V. Lazarova mai 1998)

Conclusion

Ce premier chapitre a servi d'une introduction au domaine lié à notre étude. On a d'abord présenté les études précédentes e ce sujet, et on a défini les eaux usées puis en à passer à la description d'épuration et ces procédés avec une description plus détaillé de traitement tertiaire dans une chaine de traitement d'eau usée qui est une étape plus importante et plus courante pour la rétention des particules en suspension dans l'eau. Nous avons détaillé, plus particulièrement, la filtration sur sable, sur lesquels porte spécifiquement notre étude.

Le chapitre suivant est consacré à la zone d'étude (**Wilaya de Ghardaia**) ou en va abordés au données générale sur la wilaya après en passe à une présentation de la **Station d'épuration d'eau usée Keff El-Dokhan Ghardaia**, Nous verrons en détail les dimensions des différentes organes constituant cet organisme puis on passa à la présentation du Laboratoire d'hydrochimie de l'université de Ghardaïa.



Chapitre II

Présentation du site

Introduction

Ghardaïa, capitale du M’Zab, connait une dynamique significative en activité qui nécessite des infrastructures conséquente pour pouvoir le bien de l’épuration effective. Dans ce chapitre nous allons présenter la zone d’étude et les principales données qui caractérisent la région. Ceci va nous facilite de présenter, la STEP de "El-Atteuf", qui travail de la procédure de lagunage naturel pour épurer les eaux usées de la ville de Ghardaïa, après on passe à une présentation général du Laboratoire d'hydrochimie de l'université de Ghardaïa où était l'expérience de filtration.

II.1 La zone d’étude

II.1.1 Situation géographique de la wilaya

La Wilaya de Ghardaïa, l’une des plus importantes Wilayas du sud de l’Algérie, couvre une superficie de 86.560 km².

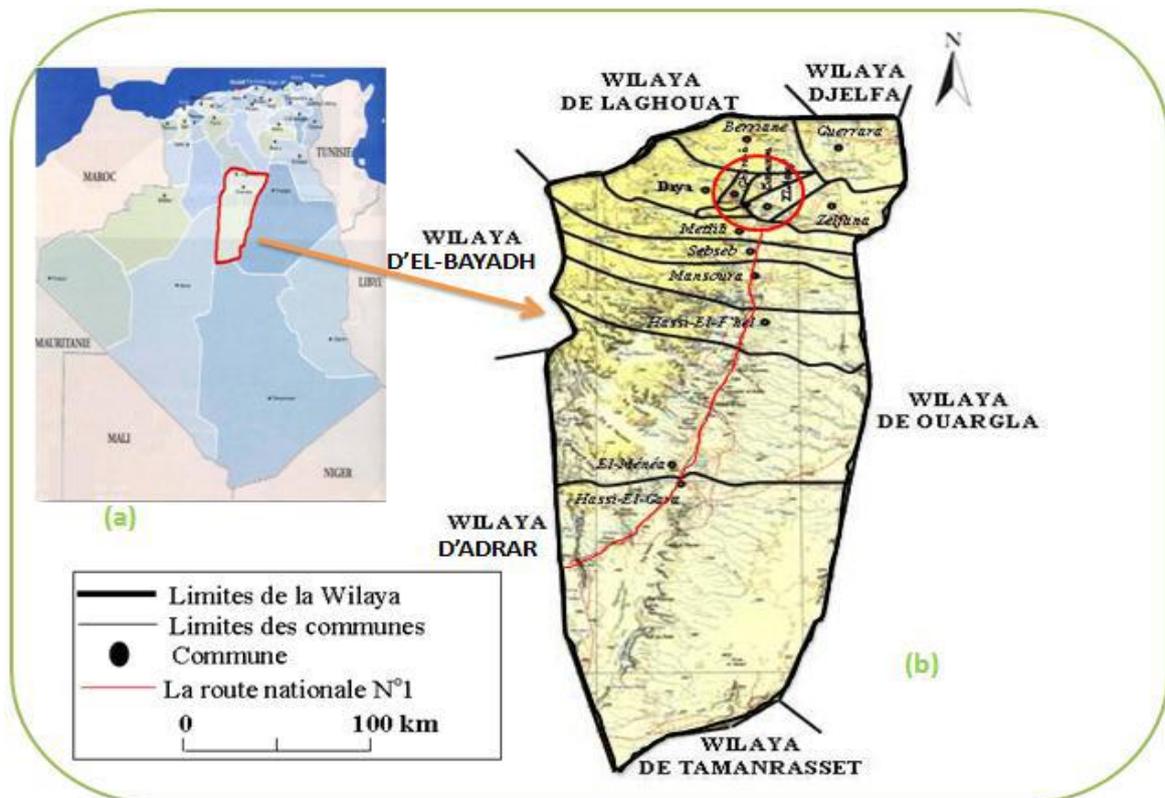


Figure II.13 Situation géographique de la Wilaya

Situé dans la partie septentrionale et centrale du Sahara (région programme Sud/Est) entre 4° et 7° de longitude Est et 35° et 36° de latitude Nord, le territoire de la Wilaya de

Ghardaïa s'inscrit exclusivement dans l'espace saharien (dorsale du M'Zab, Hamada, grand erg occidental,...).

La Wilaya de Ghardaïa est limitée:

- Au Nord par les Wilayas de Laghouat et de Djelfa.
- A l'Est par la Wilaya d'Ouargla.
- Au Sud par la wilaya de Tamanrasset.
- A l'ouest par les Wilaya de El-Bayadh et d'Addar.

Sur le plan administratif, la Wilaya de Ghardaïa compte aujourd'hui 13 communes et 09 daïras.

II.1.2 Données générales sur la wilaya de Ghardaïa

(DIRECTION DE PLANIFICATION ET DE SUIVIE DE BUDGET)

A. Données climatiques

A.1 Climat

Le caractère fondamental du climat Saharien est la sécheresse de l'air. Cependant, l'existence de microclimats joue un rôle considérable dans les milieux désertiques.

Le relief, la présence d'une végétation abondante peuvent modifier localement les conditions climatiques (microclimat). Au sein d'une palmeraie, on peut relever un degré hygrométrique élevé, le degré hygrométrique modifie les effets de la température.

Le climat Saharien se caractérise par des étés aux chaleurs torrides avec des températures de + de 50 °C, et des hivers doux surtout pendant la journée. **(Station météorologique.Ghardaia2019)**

A.2 Pluviométrie

Les précipitations sont très faibles et irrégulières. A Ghardaïa, elles varient entre 13 et 68 mm sur une durée moyenne de 15 jours par an. Le nombre de jours de pluie ne dépasse pas 11 jours (entre les mois de Janvier et Mars). Les pluies sont en général torrentielles et durent peu de temps.

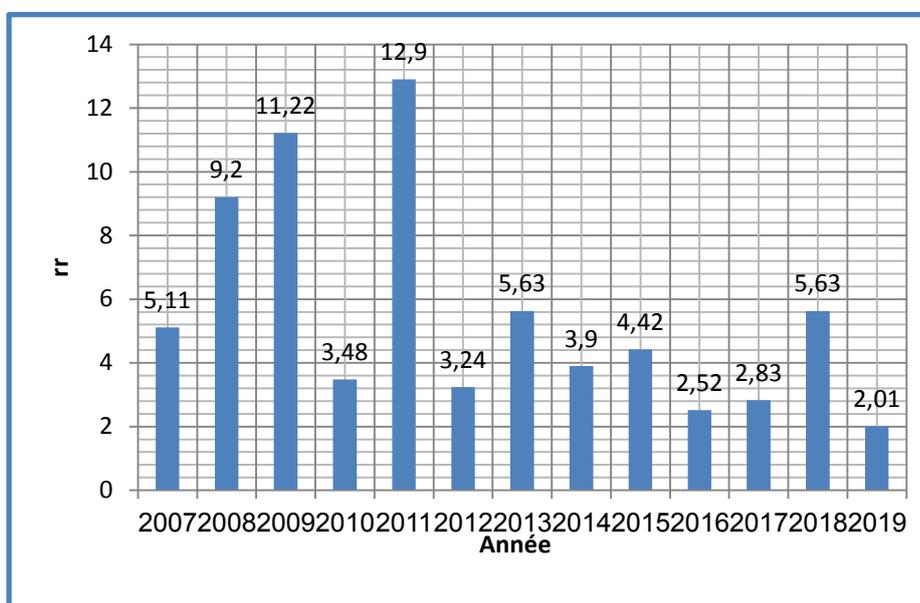


Figure II.14 La variation de Pluviométrie annuelles

(Station météorologique.Ghardaia2019)

A.3 Température

Elle est marquée par une grande amplitude entre les températures de jour et de nuit, d'été et d'hiver.

La période chaude commence au mois de Mai et dure jusqu'au mois de Septembre. La température moyenne enregistrée au mois de Juillet est de 36.3 °C, le maximum absolu de cette période a atteint 47 °C.

Pour la période hivernale, la température moyenne enregistrée au mois de Janvier ne dépasse pas 9.2 °C, le minimum absolu de cette période a atteint -1 °C.

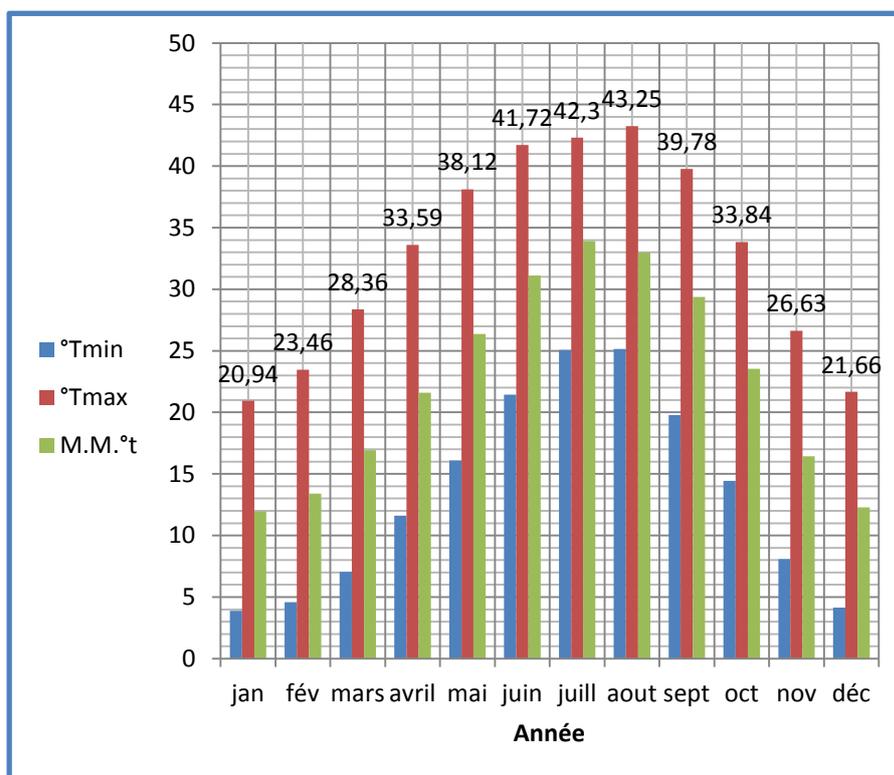


Figure II.15 La variation de Température annuelles
(Station météorologique.Ghardaia2019)

A.4 Les vents

Il n'y a pas de désert sans vents. Pendant certaines périodes de l'année, en général de Mars à Avril, on assiste au Sahara à de véritables tempêtes de sable. Des tourbillons de sable se déplaçant avec violence et atteignant plusieurs centaines de mètres de haut. (Station météorologique.Ghardaia2019)

B. Analyse du milieu physique

Le territoire de la wilaya de Ghardaïa est constitué de trois (03) grandes zones géographiques naturelles:

- Une zone de reg au sud-ouest de la wilaya (Communes de Hassi El F'Hel, El Ménéa et Hassi El Gara).
- Une zone de Daïas au Nord Est de la wilaya (communes de Guerrara et Zelfana).
- La zone de la chebka de l'oued M'Zab, au centre de la wilaya occupant la grande partie du territoire. (Communes de Berriane, Ghardaïa, Daya Ben Dahoua, Metlili, El Atteuf, Sebseb, Bounoura et Mansoura).
- Il faut ajouter à cela quelques espaces intermédiaires tels que Hammadet El Atchane à l'Est et le Grand Erg Occidental à l'Ouest.

C. Hydrologie et hydrogéologie**C.1 Les eaux superficielles**

Le réseau hydrographique significatif se situe au Nord de la wilaya et contribue à alimenter les nappes phréatiques comme il cause aussi des dégâts importants.

La wilaya de Ghardaïa se caractérise par de faibles précipitations (64 mm de moyenne annuelle), le plus souvent concentrées sur de courtes périodes, voire quelques heures généralement dans la partie.

Nord du bassin, occasionnant des crues cumulant d'importantes quantités d'eau dans les oueds de la région.

Les quantités d'eaux transitées par les principaux oueds sont souvent bénéfiques aux riverains notamment, les agriculteurs. Une partie des eaux est récupérée par le biais d'ouvrages de mobilisation implantés tout au long des oueds.

Ce système complexe composé de petits ouvrages (digues, trémies et plaines d'épandage) est basé sur la recharge artificielle de la nappe alluviale de l'Oued (nappe d'inféro-flux).

C.2 Les eaux souterraines

Les potentialités hydriques dans la Wilaya de Ghardaïa sont constituées essentiellement de deux aquifères:

- la nappe phréatique, peu importante.
- La nappe du continental intercalaire dite albienne. C'est l'aquifère qui regroupe toutes les couches grés-sableuses du crétacé inférieur. Ce réservoir s'étend sur une épaisseur d'une centaine de mètre et il affleure à l'ouest d'El Goléa.

"La potentielle eau" est développé au niveau de la partie "Activités économique : hydraulique et ressource en eau".

II.1.3 Délimitation de la commune d'El-Atteuf

A. Situation géographique de la commune d'El- Atteuf

La commune d'El-Atteuf est limitée par:

- Au Nord par la commune de Guerrara.
- Au Sud et à l'Est par la commune de Zelfana.

A l'Ouest par la commune de Bounoura.

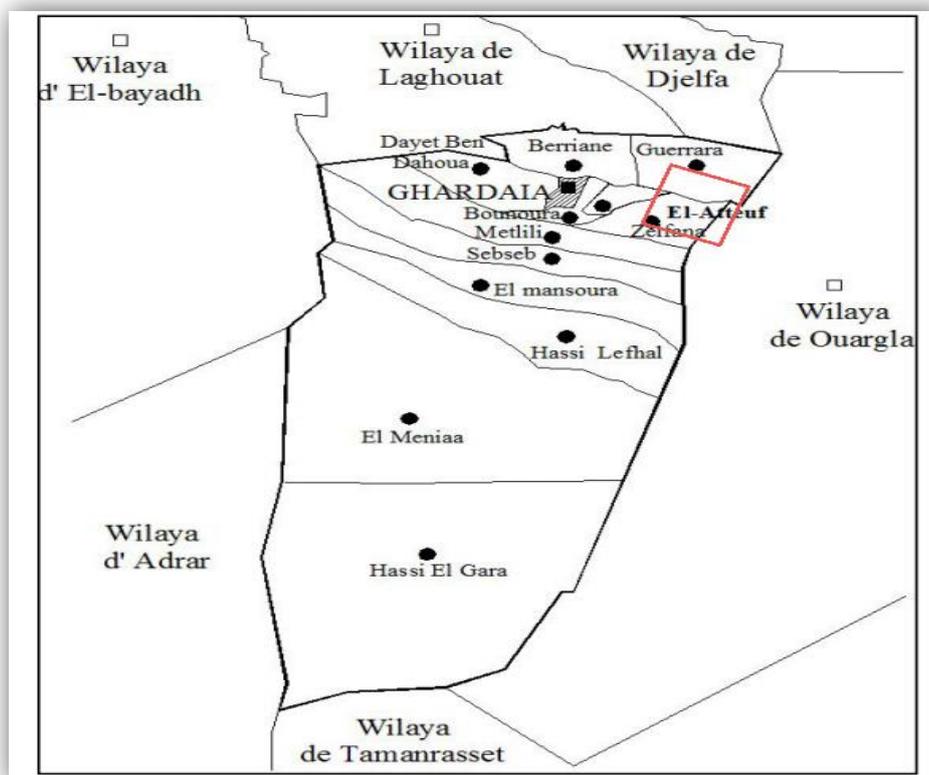


Figure II.16 Situation géographique de la Commune d'El-Atteuf

II.2 Présentation de la station d'épuration de Keff-Edoukhan

II.2.1 Situation géographique

La station d'épuration de Kef Eddoukhen est situé dans la commune d'EL ATEUF qui constitue l'aval de la vallée du m'Zâb. D'une superficie de 60 ha, situé à environ 20 km au sud-est de centre-ville Ghardaïa et à l'aval de la digue d'EL-ATTEUF.



Figure II.17 Localisation du site de la Station d'épuration (Google Earth, 2020)

II.2.2 Caractéristiques

La station d'épuration de Ghardaïa est construite pendant la période 2008-2012 par AMENHYD SPA : entreprise de réalisation avec collaboration de BG et AQUATECH-AXOR (Canada) : bureau d'étude de contrôle et suivi. Elle a été mise en service en novembre 2012. Elle traite les eaux usées, par le procédé du lagunage naturel avec prétraitement, traitement primaire et traitement secondaire pour la filière eau, et déshydratation dans les lits de séchages pour la filière boues.

Aujourd'hui, la station a une capacité de traitement de 23000 m³/j, correspondant à 168 323 éq/hab et 46 400 m³/j, correspondant à 331 700 éq/hab à l'horizon de 2030, elle traite des eaux usées d'origine urbaines. Le milieu récepteur des eaux usées épurées est l'oued M'Zab.

Actuellement la station est gérée par l'ONA (Office National de l'Assainissement), les communes raccordées à la STEP sont: Ghardaïa, Bounoura, El-atteuf, Dayet Ben-Dahoua, par un réseau d'assainissement de type unitaire.

II.2.3 Dimensions de la STEP de Ghardaïa

Capacité : 331 700 eq/hab.

Surface totale : 79 ha.

Nombre de lit de séchage : 10 lits.

Nombre de bassins : 16 bassins devisés en 02 niveaux.

Débit moyen journalier à capacité nominale : 46 400 m³/j.

Tableau II.2 les données de bases de la STEP (STEP Ghardaïa, 2013)

| Capacité nominale | |
|--|------------------------------|
| Premier niveau | |
| Nombre de lagunes | 08 lagunes |
| Volume total des lagunes | 174 028,50m ³ |
| Volume par lagune | 21 753,56m ³ |
| Surface totale | 4,97ha |
| Surface par unité de lagune | 0,62ha |
| Profondeur des lagunes | 3,6m |
| Temps de séjour | 3 jours |
| Fréquence de curage 1 fois tous les ... | 3 ans |
| Charge organique résiduelle | 5800 kg DBO ₅ /j |
| Abattement DBO₅ minimal | 50% |
| Deuxième niveau | |
| Nombre de lagunes | 08 lagunes |
| Volume total des lagunes | 464 000m ³ |
| Volume par lagune | 58 000 m ³ |
| Surface totale | 30,4ha |
| Surface par unité de lagune | 3,8ha |
| Profondeur des lagunes | 1,6 m |
| Temps de séjour | 10 jours |
| Fréquence de curage 1 fois tous les ... | 3 ans |
| Charge organique résiduelle | 2 320 kg DBO ₅ /j |
| Abattement DBO₅ minimal | 60% |

II.2.4 Différents organes constituent la STEP

Les organigrammes suivants présentent une vue générale sur les différents organes constituant la STEP:

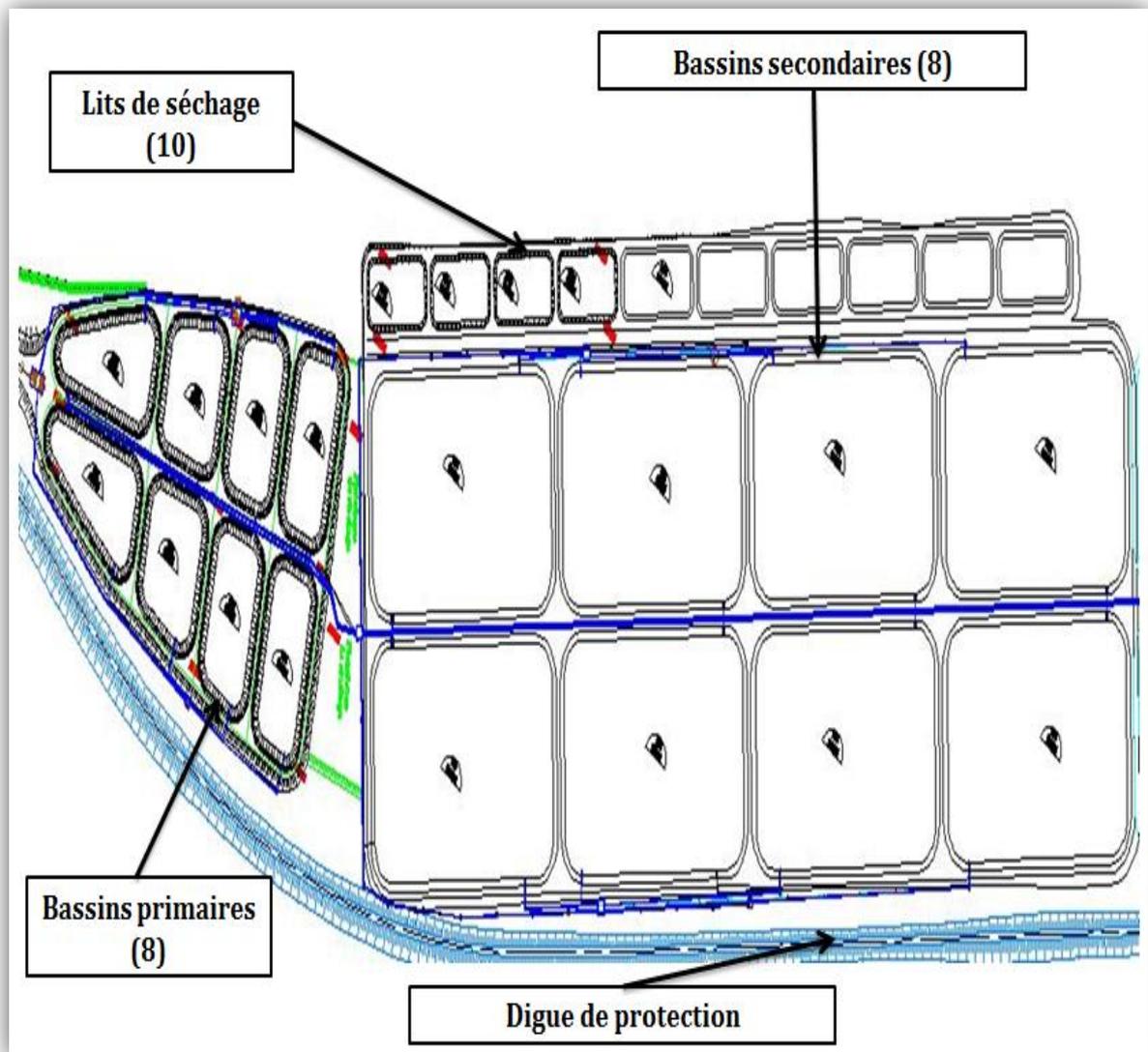


Figure II.18 Schéma descriptive de la Station d'épuration

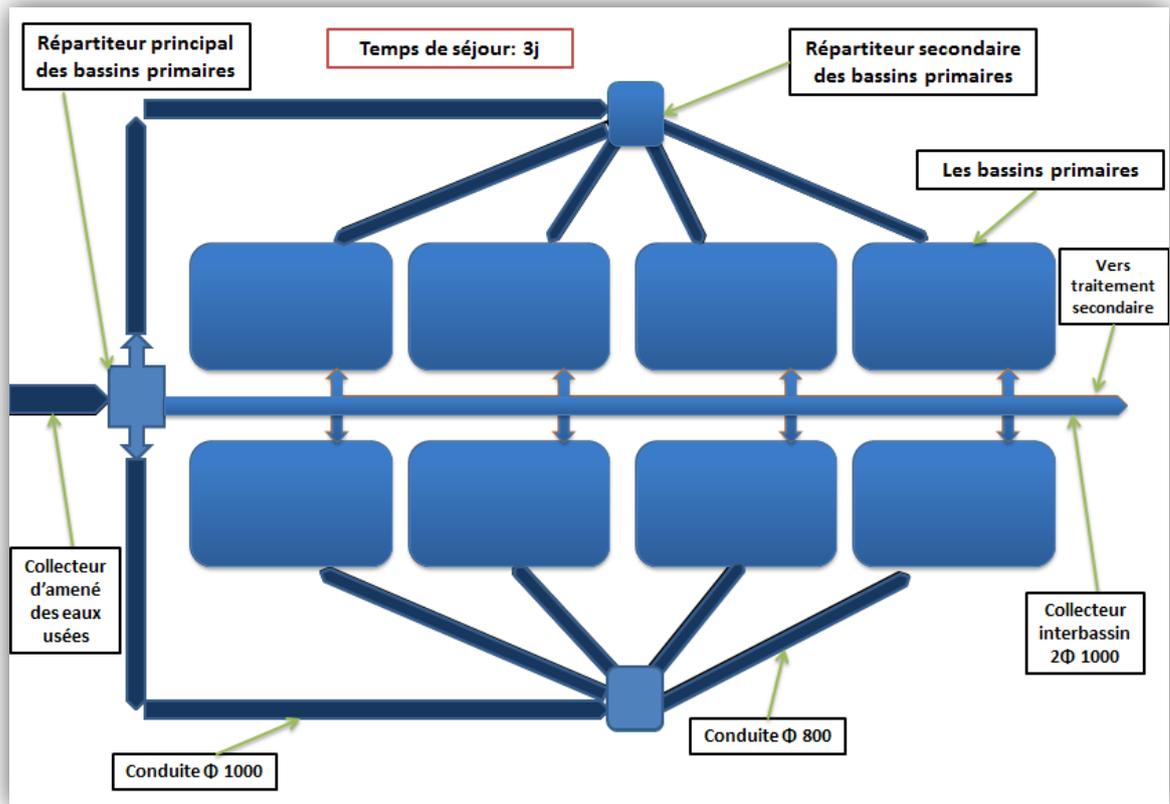


Figure II.19 Principe de fonctionnement des bassins primaires

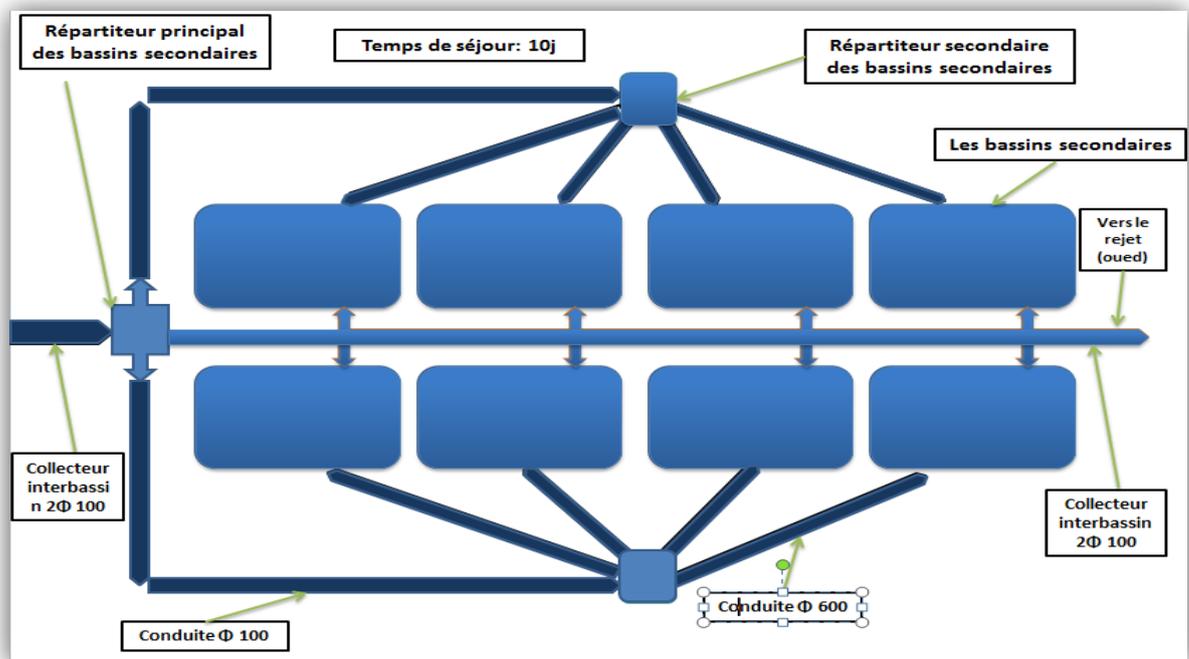


Figure II.20 Principe de fonctionnement des bassins secondaires

A. Lagunage naturel

Le lagunage naturel est souvent défini par plusieurs termes : “oxidation pond”, “sewage oxydation pond”, “sewage lagoon”, “waste stabilization-ponds”, “étang de maturation”, “étang de stabilisation”. C’est un procédé biologique de traitement des eaux usées. Il consiste à laisser l’eau se reposer dans des bassins ouverts peu profonds de 1 à 5 m de profondeur pendant une durée variant de 30 à 60 jours.

Le lagunage naturel repose sur une décantation directe au fond des bassins des matières en suspension, et indirecte des substances solubles introduites ou remises en solution par les sédiments après leur absorption par les microphytes. Ce procédé est proche de l’auto épuration. Il est basé sur un cycle biologique, où les bactéries assurent l’élimination des matières organiques en présence d’O₂ fourni par les algues. **(Khattabi, 2002)**

L’ensemble des eaux usées de la vallée sont acheminées gravitairement (pente:0,2%) depuis la fin du collecteur projeté au niveau de la digue d'El Atteuf jusqu'à l'entrée de la station grâce à deux collecteurs en parallèle de diamètre 1000mm. Les étapes par les quelles passant les eaux usées dans la station sont les suivantes:

- De prétraitements.
- De traitement primaire anaérobie.
- De traitement secondaire facultatif.
- Des lits de séchage des boues.

B. Performances épuratoires et conditions de fonctionnement

Le tableau suivant présente l’évolution des paramètres précédemment utilisés pour le dimensionnement des lagunes à capacité nominale et qui, dans la mesure où ils restent compris entre deux valeurs inférieure et supérieure déterminées, garantissent un fonctionnement satisfaisant de l’écosystème dans lequel se développent les micro-organismes participant à l’épuration des eaux usées.

Ces paramètres évoluent en fonction de la charge de pollution entrante dans les bassins existants.

On considère trois périodes dans l’évolution de ces paramètres de fonctionnement:

Période 2000-2010 pendant laquelle quatre lagunes primaires sont nécessaires.

Période 2010-2020 pendant lesquelles six lagunes primaires et six lagunes secondaires sont nécessaires.

Période 2020-2030 pendant lesquelles huit lagunes primaires et huit lagunes secondaires sont nécessaires.

Tableau II.3 l'évolution des paramètres utilisés pour le dimensionnement des lagunes à capacité nominale

| Période | unité | 2000 Début | 2010 Fin | 2010 Début | 2020 Fin | 2020 Début | 2030 Fin |
|----------------------------|-----------------------------|---------------|-------------|---------------|-------------|---------------|-------------|
| Dimensionnement | | | | | | | |
| Volume lagune primaire | m ³ | 87 | | 130 | | 174 | |
| | | 014,25 | | 521,38 | | 028,50 | |
| Surface lagune primaire | Ha | 2,49 | | 3,73 | | 4,97 | |
| Volume lagune secondaire | m ³ | - | | 348 | | 464 | |
| | | | | 000,00 | | 000,00 | |
| Surface lagune secondaire | Ha | - | | 21,75 | | 29,00 | |
| Charges entrantes | | | | | | | |
| Flux hydrauliques | m ³ /j | 16 | 24 | 24 | 33 | 33 | 46 440,00 |
| | | 920,00 | 150,00 | 150,00 | 730,00 | 730,00 | |
| Charges de pollution | kgDBO5/ Ha/j | 4 | 6 | 6 | 8 | 8 | 11 610,00 |
| | | 230,00 | 040,00 | 040,00 | 430,00 | 430,00 | |
| Bassins primaires | | | | | | | |
| Charge volumique Cv | gDBO5/ m ³ /j | 48,61 | 69,41 | 46,28 | 64,59 | 48,44 | 66,71 |
| Temps de séjour Ts | j | 5,14 | 3,60 | 5,40 | 3,87 | 5,16 | 3,75 |
| Charge surfacique Cs | kgDBO5/ Ha/j | 1701,45 | 2429,49 | 1619,66 | 2260,55 | 1695,41 | 2334,96 |
| Abattement DBO5 | % | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% | 50% |
| Bassins secondaires | | | | | | | |
| Charge surfacique Cs | kgDBO5/ Ha/j | - | - | 138,85 | 193,79 | 145,34 | 200,17 |
| Temps de séjour Ts | j | - | - | 14,41 | 10,32 | 13,76 | 9,99 |
| Abattement DBO5 | % | - | - | 60% | 60% | 60% | 60% |
| Niveaux de rejet | | | | | | | |
| DBO5 | mg/l | 125,00 | 125,05 | 50,02 | 49,99 | 49,99 | 50,00 |
| abattement DBO5 total | % | 50% | 50% | 80% | 80% | 80% | 80% |
| Coliformes fécaux | CF/100m | 8,86E+0 | 1,22E+0 | 2,84E+0 | 5,29E+0 | 3,10E+0 | 5,61E+04 |
| | 1 | 5 | 6 | 4 | 4 | 4 | |

Ces niveaux de rejet permettent le respect des objectifs de l'assainissement de la vallée. Selon les débits et charges de pollution entrants à la mise en service des lagunes primaires, et au regard des valeurs hautes et basses des paramètres de fonctionnement qui en découleront, l'exploitant de la station d'épuration aura le choix, compte tenu que l'ensemble des lagunes auront été réalisées dans la première tranche, entre faire fonctionner l'ensemble des huit lagunes (ou sept en cas de curage de l'une d'entre elles) en même temps. En aucun cas une lagune ne devra rester vide afin de ne pas altérer le dispositif d'étanchéité par géo-membrane et afin d'assurer la stabilité des ouvrages.



Figure II.21 Collecteurs d'amenée des eaux usées

C. Prétraitement

Les collecteurs urbains d'eaux usées véhiculent des matières très hétérogènes et souvent volumineuses. A l'arrivée dans la station d'épuration, les eaux "brutes" doivent subir, avant leur traitement proprement dit, des traitements préalables de dégrossissage, appelés "prétraitements" et destinés à extraire des effluents la plus grande quantité possible d'éléments dont la nature ou la dimension constituerait une gêne pour les traitements ultérieurs.

Le prétraitement comporte:

C.1 Dégrillage - dessablage

Le système comprend un ensemble de deux dégrilleurs automatiques (espace entre barreaux de 25 mm) disposés en parallèle. En cas de mise hors service des dégrilleurs automatiques. Un système de batardeaux calés au-dessus de la cote plan d'eau maximal équipé d'une grille statique (espace entre barreaux de 40 mm) disposé en parallèle permet de by passer complètement l'ensemble du prétraitement.

Au niveau de la jonction avec le collecteur principal des eaux usées de l'ensemble des collecteurs des différents bassins de collecte sont prévus des dispositifs de dessablage, de ce fait, les particules non retenues à ce niveau et qui se retrouvent directement dans les lagunes sont en quantité négligeable et sont évacuées lors des opérations de curage.

Le dessableur et le dégrilleur sont localisés à l'intérieur du répartiteur principal du traitement primaire.



Figure II.22 Dégrilleur - Dessableur

D. Ouvrage de répartition

D.1 Répartiteurs principaux

La répartition des débits vers les huit lagunes primaires opère au niveau du répartiteur principal disposé en tête de chacun des deux niveaux d'épuration, cet ouvrage se compose des éléments suivants, d'amont en aval, à l'aval immédiat des canaux de dégrillage (pour le répartiteur primaire), une cloison siphonide participe à la tranquillisation des flux.

l'élargissement de la section de l'ouvrage permet de ralentir le cheminement des eaux usées avant leur passage sur un seuil frontal décomposé en huit seuils de largeur 1m.

les eaux usées se déversent dans deux chambres d'où partent les deux conduites de diamètre 1000mm de liaison avec les répartiteurs secondaire.



Figure II.23 Répartiteurs principales vers les bassins primaires et secondaires

D.2 Répartiteurs secondaires

Ils sont destinés à répartir les eaux usées vers les lagunes d'un même étage de traitement (primaire ou secondaire), implantées sur une même plage.

E. Traitement primaire

Le traitement primaire proprement dit s'opère au cours du transit des eaux usées au sein des lagunes primaires dites « anaérobies », constituées de 8 bassins d'une superficie de l'ordre de 0,62 ha et d'une profondeur d'eau de 3.6 m, la revanche par rapport à la crête des digues qui ceinturent ces bassins est de 1m et l'étanchéité est assurée par une géo-membrane bitumineuse. Des pistes d'exploitation de 5m de largeur permettent de cheminer autour des lagunes pour leur entretien.

F. Traitement secondaire

Le circuit hydraulique du traitement secondaire est similaire à celui du traitement primaire avec les éléments suivant:

- Deux conduites de diamètre 1000mm, qui collectent les eaux ayant subi le traitement primaire, arrive sur répartiteur principale du traitement secondaire.
- Les eaux sont ensuite réparties vers les huit lagunes secondaires.

Le traitement secondaire proprement dit s'opère au cours du transit des eaux au sein des lagunes secondaires constituées de huit bassins d'une superficie de l'ordre de 3.8ha et d'une profondeur d'eau de 1.6m, la revanche par rapport à la crête des digues qui ceinturent ces bassins est de 1m et l'étanchéité est assurée par une géo-membrane bitumineuse. Des pistes d'exploitation de 5m de largeur permettent de cheminer autour des lagunes pour leur entretien.



Figure II.24 Lagunes primaires et secondaires

G. Traitement des boues

Le système consiste à sécher les boues décantées au fond des lagunes primaires et secondaires à l'air libre sur 10 lits de séchage.

H. Lits de séchage

Les lits de séchage sont implantés à une cote supérieure à celle des lagunes afin de pouvoir évacuer les lixiviats drainés vers les lagunes de manière gravitaire.

En effet, les lits de séchage sont constitués d'une couche de sable lavé surmontant des couches de granulométrie plus importante incluant le réseau de drainage. De ce fait, on assiste dans un premier temps à un ressuyage de l'eau interstitielle qui donc est renvoyée vers les lagunes, et dans un second temps l'évaporation permet l'obtention de siccités élevées.



Figure II. 25 Lits de séchage

I. Evacuation des eaux traitées

Après le traitement dans les bassins secondaires, et à travers les ouvrages de sortie des lagunes, les eaux traitées sont évacuées gravitairement vers le rejet final par deux collecteurs de diamètre 1000mm.

Les eaux épurées sont rejetées directement à l'oued M'Zab.



Figure II.26 Rejet final vers oued M'Zab

II.3 Laboratoire hydrochimie de l'université de Ghardaïa

La spécialisation d'Hydraulique a connu un bond en avant avec l'obtention de la faculté d'un laboratoire d'hydrochimie, ce laboratoire qui contient de nombreux équipements et machines pouvant faciliter le processus d'application, Ces machines sont représentées en:

II.3.1 Canal hydraulique



Figure III.27 Canal hydraulique

Canal hydraulique pédagogique à surface libre à pente variable de 5 mètres de longueur permettant d'étudier les principes sur les écoulements uniformes dans un canal à surface libre avec possibilité de faire varier la pente du canal, d'étudier les ressauts hydrauliques et les écoulements au-dessus d'un déversoir à seuil épais. De nombreux accessoires sont disponibles pour être utilisés avec le canal.

II.3.2 Pilote d'Ultrafiltration



Figure III.28 Pilote d'ultrafiltration

Le pilote MP90CR permet d'étudier le procédé d'ultrafiltration sur une membrane organique (MICROZA ACP-2053, surface de filtration $0,6 \text{ m}^2$).

Le niveau d'instrumentation permet d'obtenir les données indispensables à l'optimisation du procédé et de valider les équations de transfert tout en étudiant l'influence des paramètres de fonctionnement et en qualifiant les performances de la filtration.

Le faible volume mort permet de minimiser les pertes en produit et les coûts de produit de nettoyage. Il permet également d'atteindre rapidement des facteurs de concentration élevés.

II.3.3 Pilote de filtration sur Charbon Actif



Figure III.29 Pilote de filtration sur charbon Actif

Le pilote MP35CR permet d'étudier la déferrisation, la déchloration et la désinfection.

En effet, on pourra traiter un problème de déferrisation par oxydation et/ou floculation nécessitant ensuite une déchloration sur charbon actif.

Il est important dans ce cas de bien maîtriser le pH. Une sonde en boucle sur la cuve de réception permet de mesurer en continu ce paramètre. Une sonde de chlore sur la même boucle permet de mesurer le taux de chlore en sortie de colonne. Une cuve contenant une solution de chlore munie d'une pompe doseuse permet d'ajuster le taux de chlore en recyclage sur le produit traité.

Une étude préalable en laboratoire est nécessaire pour évaluer les doses de réactifs à injecter.

II.3.4 Pilote de Traitement Des Eaux Usée Par Boues Activée

Figure III.30 Pilote de traitement des eaux usée par boues activée

Le pilote MP44 permet de comprendre et de gérer le procédé de traitement des eaux usées par boues activées. Le fonctionnement est visuel, puisque les produits sont mis en œuvre dans des récipients en Altuglas. Grâce à une instrumentation industrielle permettant des mesures en continu, les phénomènes de dégradation peuvent être interprétés presque directement (mesures d'oxygène dissous, de consommation d'énergie).

Les analyses en laboratoire sont cependant nécessaires (DCO, DBO).

II.3.5 Pilote d'Osmose Inverse et de Nano-Filtration



Figure III.31 Pilote d'osmose inverse et de nano-filtration

Le pilote MP72CR permet de mener une étude théorique concernant les conditions hydrauliques autour de la membrane d'osmose inverse.

On calculera la perméabilité de la membrane.

On étudiera également ses performances en fonction de la concentration en NaCl de l'eau d'alimentation. Soient Y le débit d'eau traitée / débit d'eau brute, SP la concentration en sel dans l'eau traitée / la concentration dans l'eau brute, P la pression et C la concentration.

On étudiera donc:

- le paramètre pression en traçant $SP = f(P)$ à Y et C constants.
- le paramètre concentration en traçant $SP = f(C)$ à P constante.
- le paramètre de conversion en traçant $SP = f(Y)$ à P et C constantes.

II.3.6 Pilote d'Echange d'Ion (Traitement de l'Eau)



Figure III.32 Pilote d'échange d'ion (traitement de l'eau)

Le pilote MP11CR permet de mettre en œuvre un bon nombre d'applications basées sur l'échange d'ions.

Dans le cas d'une déminéralisation, nous mettrons en œuvre une résine cationique forte dans la colonne 1 et une résine anionique forte dans la colonne 2.

Pour une qualité d'eau, on choisira la résine à mettre en œuvre et on dimensionnera la hauteur de colonne en fonction du débit à traiter.

L'unité donne la possibilité de tracer un cycle fixation-élution et de mesurer la capacité des résines. On pourra déterminer un taux de fuite du lit de résine vis à vis de certains ions, établir un bilan matière par titrage des ions Ca^{2+} ou encore étudier l'influence du débit d'alimentation des colonnes sur les courbes de perçage.

II.3.7 Dispositif expérimentale de l'étude

A. Présentation

Pour arriver aux objectifs de notre travail de recherche on à utiliser le dispositif de la filtration dans la masse "filtre à sable".

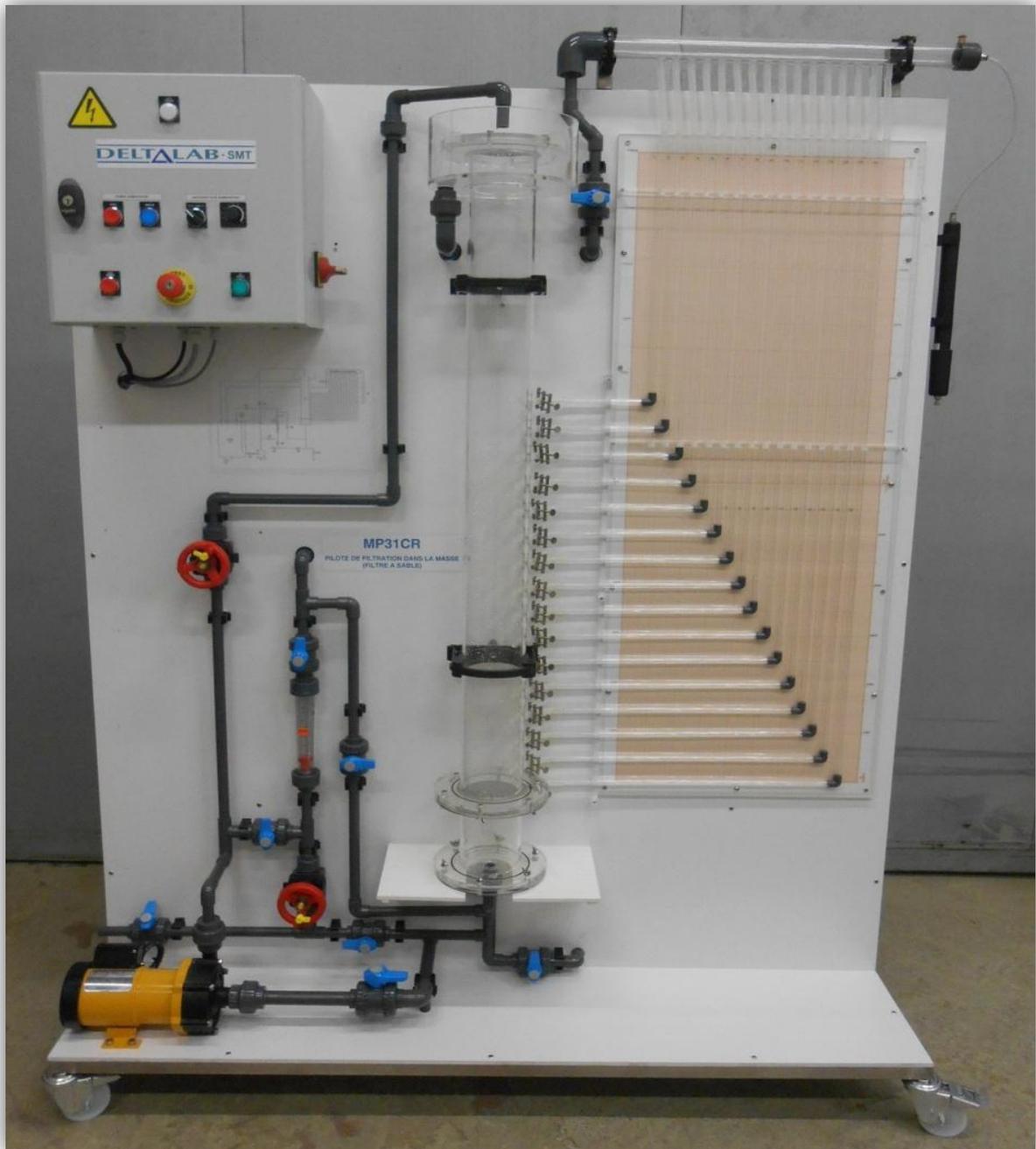


Figure III.33 Pilote de filtration

Cette installation pilote permet d'étudier la filtration dans la masse, de vérifier la loi de DARCY. On peut également déterminer les constantes du milieu filtrant et étudier la cinétique de colmatage du filtre et le lavage à contre-courant.

Les travaux pratiques comporteront les points suivants:

- Schéma du dispositif expérimental.
- Etude de la porosité du lit de sable.
- Etude de l'écoulement de l'eau à travers le milieu poreux que constitue le lit de sable. Vérification de la loi de DARCY. Pour cette première série de mesures on travaillera en circuit fermé.
Détermination de la perméabilité A. Pour cela, pour une même hauteur d'eau dans la colonne on fait varier le débit. On relève les pertes de charge dans le lit de sable et on trace les courbes $P=f(Q)$ et $P=f(z)$.
- Etude du colmatage du filtre. On préparera une solution de CuSO_4 flocculée avec de la chaux et pour un débit donné, on tracera $P=f(z)$.
- Etude de l'efficacité du lavage à contre-courant.

L'unité se compose d'une colonne en Altuglas d'une hauteur $H=1300\text{mm}$ et d'un diamètre interne $\varnothing=100\text{ mm}$ surmontée d'une surverse.

Sur une hauteur de 750 mm, 16 prises de pression espacées de 50mm permettent l'étude du colmatage du filtre et son dimensionnement. La première prise est située à environ 25mm au-dessous de la grille. Les tubes sont placés devant un tableau millimétré afin de permettre la mesure de la perte de charge en hauteur d'eau.

Une pompe centrifuge alimente la colonne soit par le haut pour la filtration, soit par le bas pour le lavage.

La solution d'alimentation se prépare dans la cuve de 120L.

La matière filtrante utilisée est du sable. Il est contenu dans la colonne et la hauteur de remplissage est de 50cm. Ce sable est retenu à chaque bout par une grille inox de maille carrée d'ouverture $375\mu\text{m}$.

B. Schéma et caractéristique

a. Schéma de principe

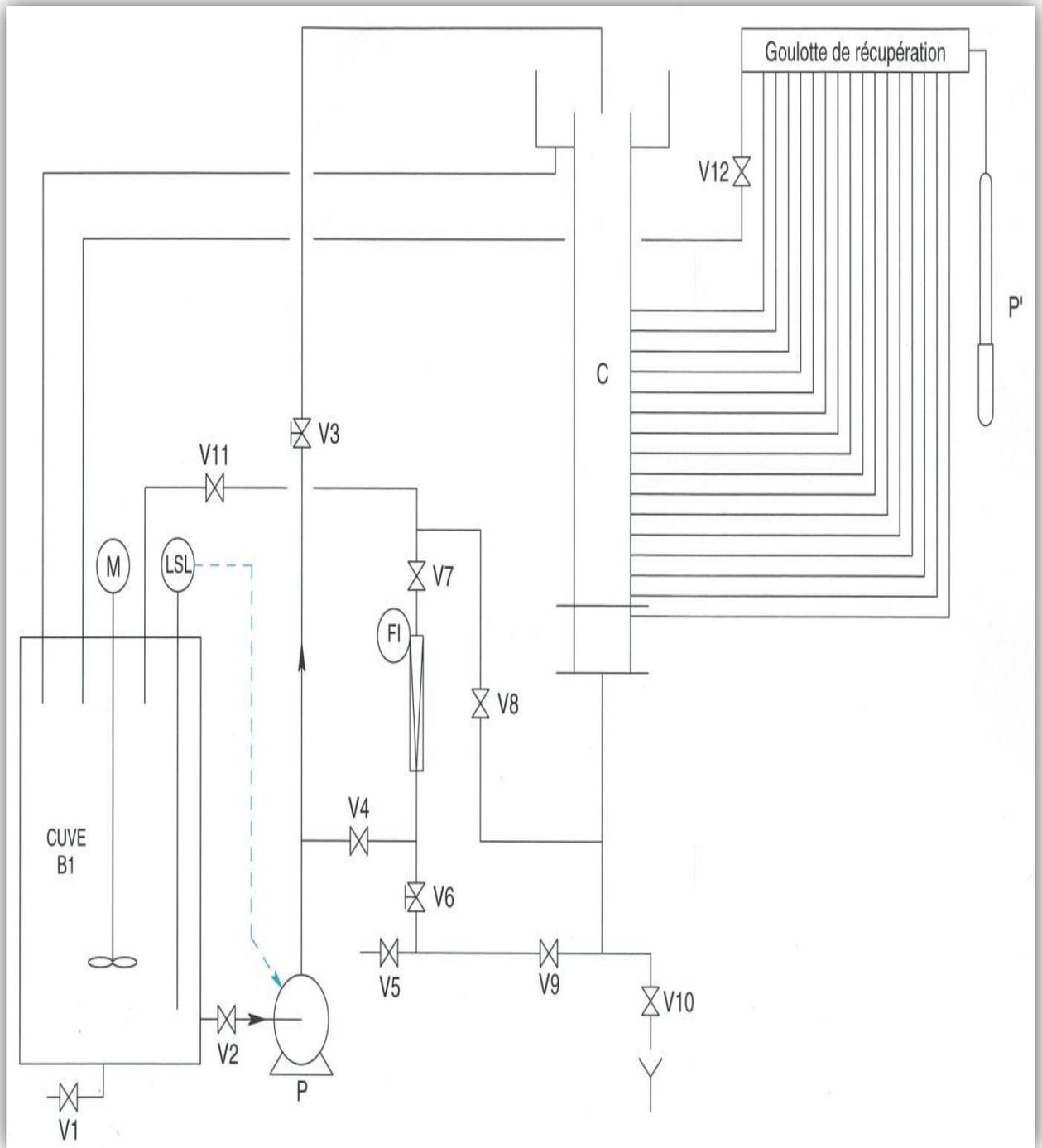


Figure III.34 Schéma de principe

C. Installation

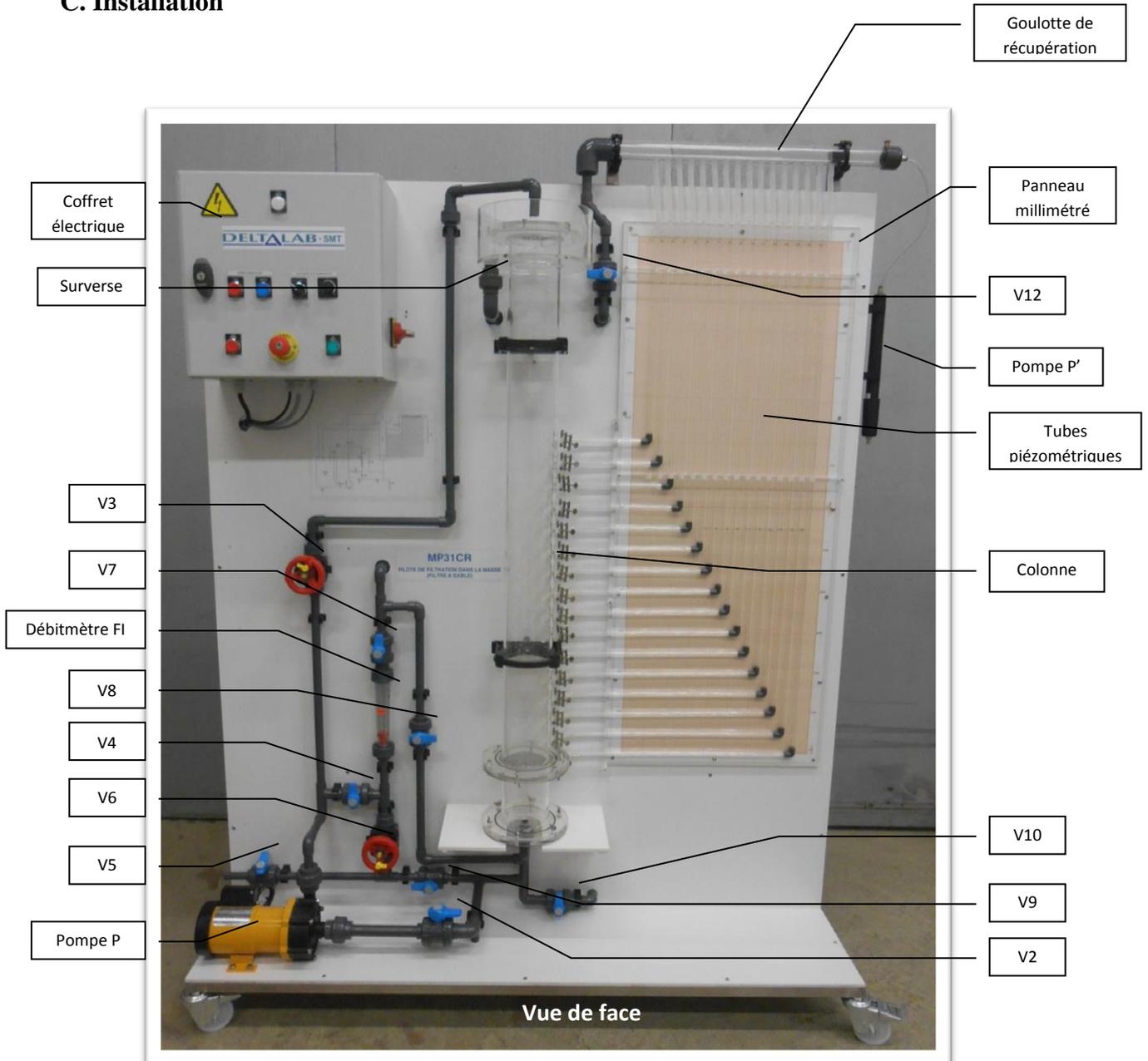


Figure III.35 Machines-outils (vue de face)

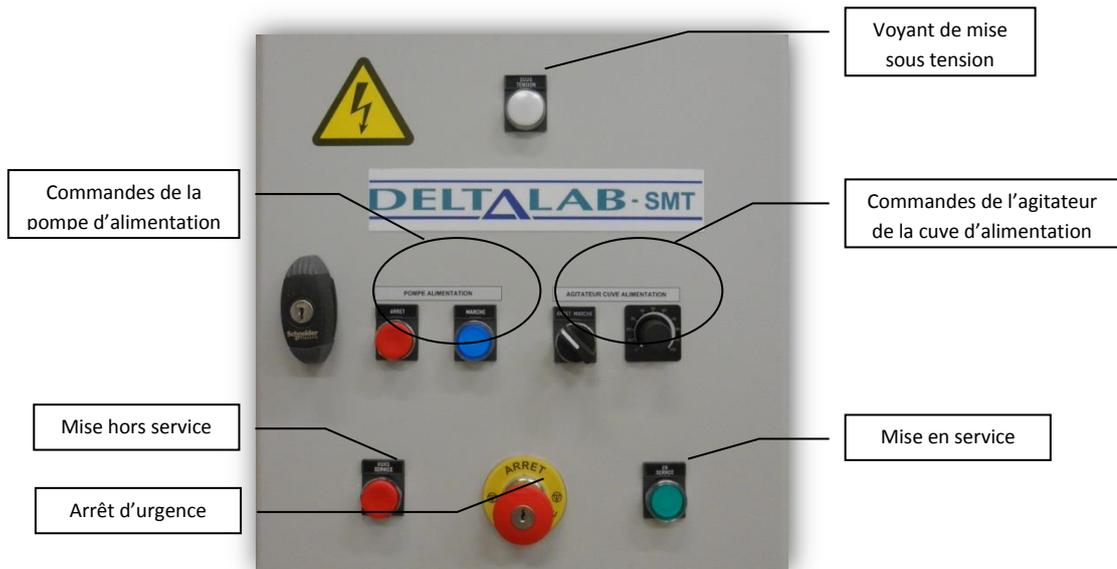


Figure III.36 Coffret électrique-outils



Figure III.37 Machines-outils (vue de dos)

D.Nom en clôture

- ✓ Les vannes:
 - V1 Vanne de vidange de la cuve d'alimentation B1.
 - V2 Vanne d'isolation de la cuve d'alimentation B1.
 - V3 Vanne de réglage du débit d'arrivée d'eau lors de la filtration.
 - V4 Vanne de sélection des circuits (filtration ou lavage).
 - V5 Vanne d'arrivée d'eau du réseau (lors de la connexion au réseau pour le lavage du filtre).
 - V6 Vanne à membrane pour ajustement du débit de sortie du filtre.
 - V7 Vanne de sélection des circuits (filtration ou lavage).
 - V8 Vanne de sélection des circuits (filtration ou lavage).
 - V9 Vanne de sélection des circuits (filtration ou lavage).
 - V10 Vanne d'évacuation des eaux traitées.
 - V11 Vanne de sélection des circuits (filtration ou lavage).
 - V12 Vanne de vidange de la goulotte de récupération.

- ✓ B1 Cuve d'alimentation de 120L en PVC transparent.
- ✓ C Colonne en Altuglas Ø intérieur 100mm, H: 1 300mm avec 16 tubes de prise de pression aux côtes -25, +25, 75... et 725. Les tubes sont espacés de 50mm le long de la colonne, la cote 0 est au niveau de la grille en pied de colonne. 2 grilles de maille 375 m sont à placer à chaque bout de la colonne.
- ✓ P Pompe centrifuge en polypropylène à entraînement magnétique (1,8m³/h à 4m).
- ✓ P' Pompe de mise en pression des tubes piézométriques.
- ✓ M Agitateur.
- ✓ FI Débitmètre à flotteur 60 – 600 L/h.
- ✓ LSL Sonde de niveau bas (protection de la pompe).
- ✓ Goulotte de récupération du liquide des tubes de pression.
- ✓ Panneau millimétré 500 x 1200 mm pour lecture des pertes de charge.
- ✓ Armoire électrique de commande contenant:
 - Sectionneur général cadenas sable.
 - Bouton d'arrêt d'urgence.
 - Voyant de mise sous tension.
 - Bouton Marche de la pompe.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons données une vision générale sur La Wilaya de Ghardaia puis on a présenté la step de Keff Edoukhan Ghardaïa avec une description de la méthode et le formalisme adoptés pour la marche de cet organisme, Ensuite, nous avons expliqué en détail la méthode de filtration et d'utilisation du pilote de cette procédure.

Dans le chapitre suivant, nous décrivons de manière plus détaillée la partie pratique qui représente Une description du fonctionnement de notre projet.



Chapitre III

Matériels et Méthodes

Introduction

Notre étude s'intéresse à l'optimisation de la filtration, à travers le sable, des eaux épurées.

Pour matérialiser cette étude, nous avons dû passer par plusieurs étapes pratiques qui considérées comme l'étape importante de chaque étude, en commençant par identifier les zones d'échantillons de sable, puis en les récupérant, puis en les analysant avec une analyse granulaire, puis nous allons prendre un échantillon de l'eau épurée de la station d'épuration de Ghardaïa et l'analyser. Après ces étapes, nous pourrons démarrer le processus de filtration.

Dans ce chapitre on présente d'abord le laboratoire d'Hydrochimie de l'université de Ghardaïa après en passe à la présentation de matériel et de méthode de l'ensemble du procédé de filtration étudié, le pilot et protocole expérimental utilisés sont décrits.

III.1 Matériel utilisées

III.1.1 Le sable utilisée

Les échantillons de sable utilisés sont prélevés arbitrairement dans la région de Ghardaïa. On a choisi quatre sites de prélèvement tel que: **Dunes de El-Atteuf, Ravin de Metlili, Dunes de Brizina, Dunes de Dayet Ben-Dhahoua**. L'objectif d'utiliser différents sites d'échantillonnage du sable était de trouver le meilleur matériau capable d'optimiser le processus de filtration.

Tableau III.4 les coordonnées des points de prélèvements

| point | Cordonnées des point |
|-----------------------------------|----------------------|
| Station d'épuration | 32°26'15"N 3°47'58"E |
| Dunes de El-Atteuf | 32°28'45"N 3°43'44"E |
| Ravin de Metlili | 32°14'25"N 3°37'46"E |
| Dunes de Brizina | 33°01'58"N 1°20'45"E |
| Dunes de Dayet Ben-Dhahoua | 32°32'56"N 3°36'50"E |

A. Origine des matériaux**A.1 Echantillon "Sable de Dune d'El-Atteuf"**

Cet échantillon a été prélevé au niveau de la dune « el Atteuf » à proximité de la station d'épuration des eaux usées. Nous avons effectué un tamisage institué afin de cibler une granulométrie bien précise entre 5 mm et 0.8mm.

Notre objectif de l'utilisation de cet échantillon de sable était de trouver un matériau capable d'optimiser le processus de filtration, de telle façon qu'il soit situé au voisinage de la station d'épuration afin de réduire les frais de transport.



Figure III.38 Photo illustrant un échantillon de sable de Dune d'El-Atteuf

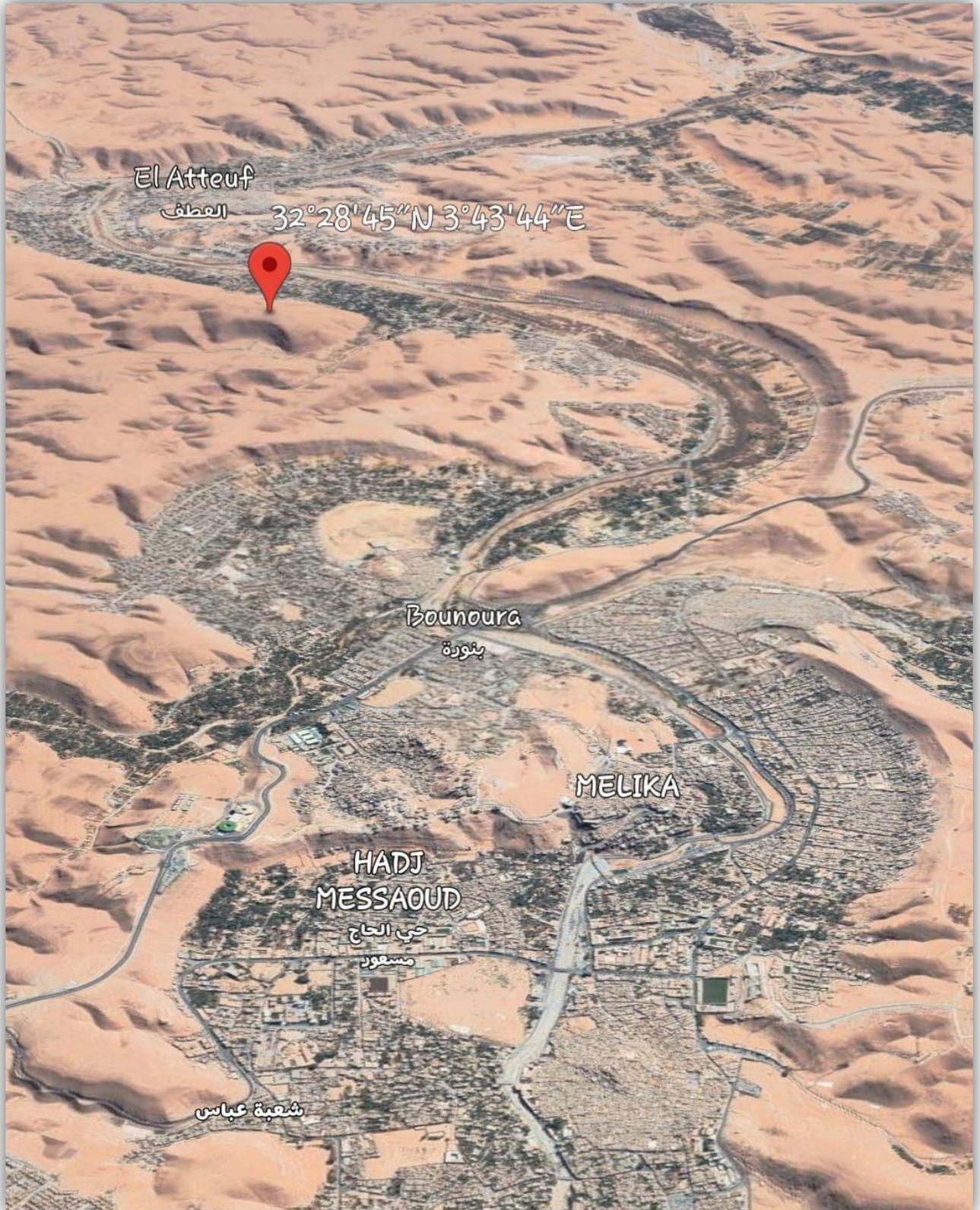


Figure III.39 Photo géographique illustrant le point d'échantillonnage de sable de Dune d'El-Atteuf

A.2 Echantillon "Sable du Ravin de Metlili"

Ce sable a été prélevé dans la région d'oued Metlili, située à environ 50 km à l'ouest de la station d'épuration. L'échantillon a été prélevé, dont le but est de qualifier son exploitation et son utilisation dans les filtres à sables.



Figure III.40 Photo illustrant un échantillon de sable du ravin de Metlili

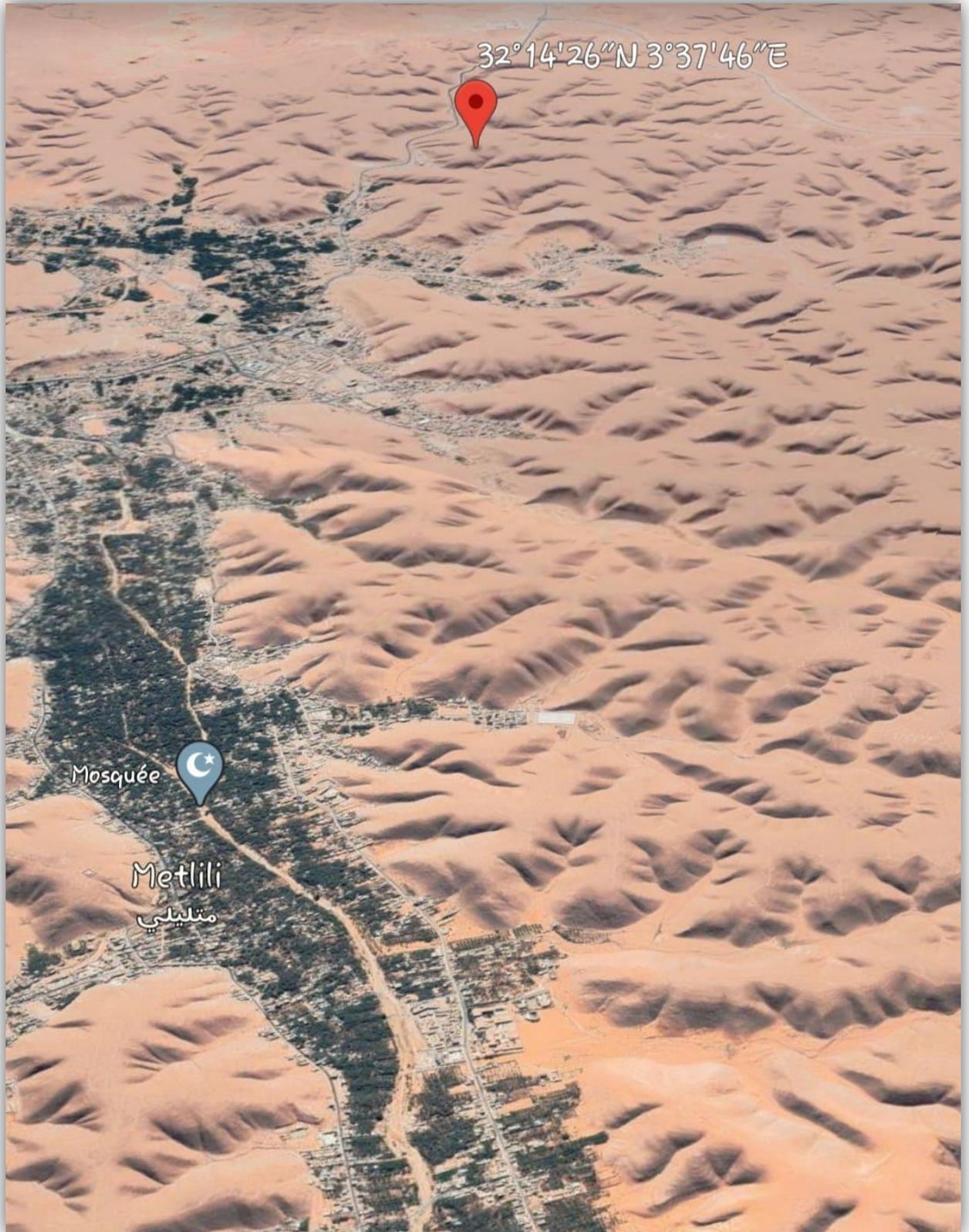


Figure III.41 Photo géographique illustrant le point d'échantillonnage de sable du ravin de Metlili

A.3 Echantillon "Sable de dune Brizina"

Cet échantillon a été acheté à une carrière située entre la zone de Brizina et la commune de Metlili, à environ 100 km à l'ouest de la station, le but de l'utilisation de cet échantillon était également de diversifier l'utilisation du sable grossier dans la filtration.



Figure III.42 Photo illustrant un échantillon de sable de dune de Brizina

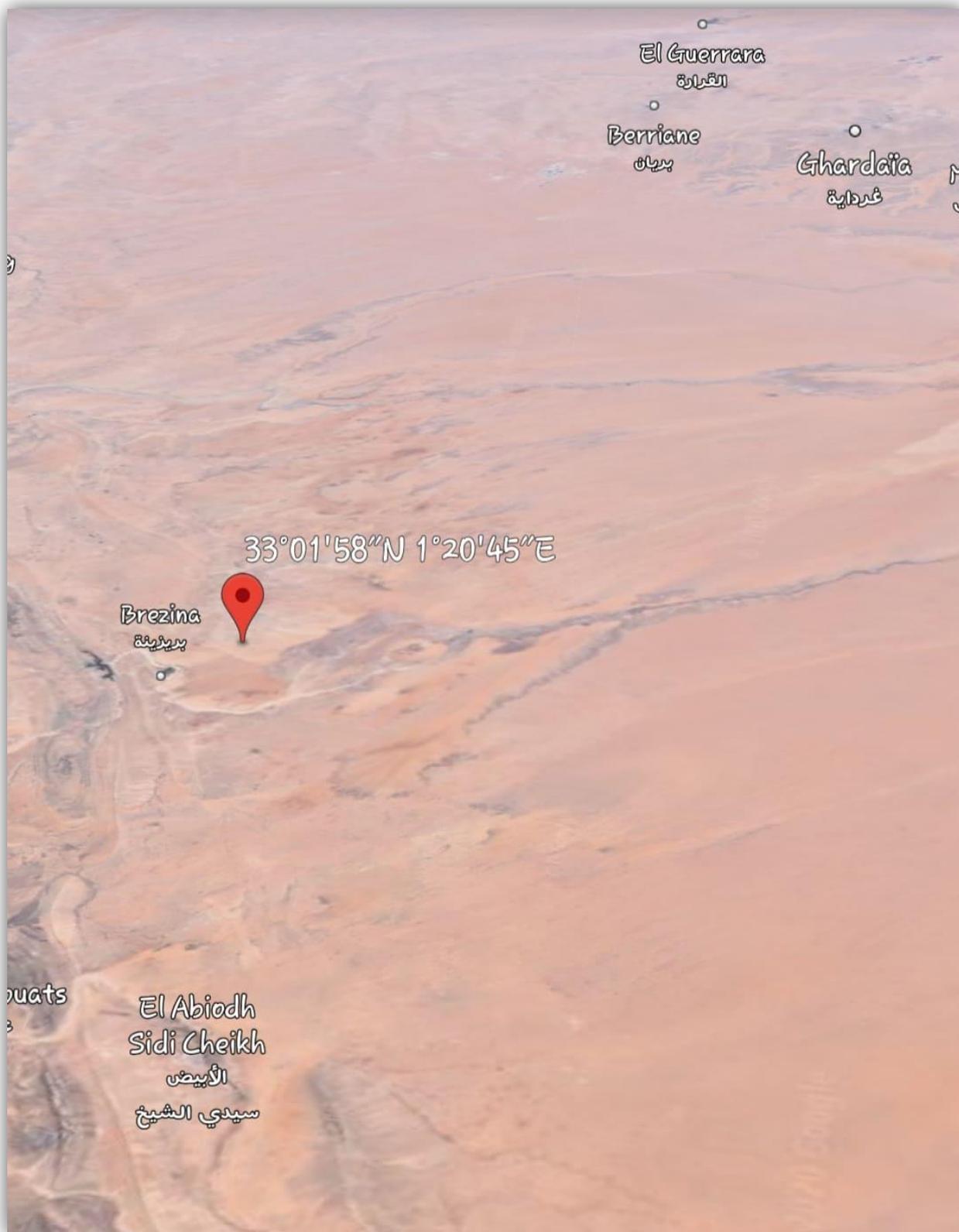


Figure III.43 Photo géographique illustrant le point d'échantillonnage de sable de dune de Brizina

A.4 Echantillon " Sable de dune de Dayet Ben-Dhahoua"

Cet échantillon de sable a été prélevé des dunes de la zone de Dayet ben dhahoua qui se situe à environ 30km à l'ouest de la station d'épuration. Le but du prélèvement de cet échantillon est d'utiliser du sable grossier observé en nature dans cette expérience



Figure III.44 Photo illustrant un échantillon de sable de dune de Dayet Ben-Dhahoua



Figure III.45 Photo géographique illustrant le point d'échantillonnage de sable de dune de Dayet Ben-Dhahoua

B. Analyse et caractérisations du sable**B.1 L'analyse granulométrique**

L'analyse granulométrique permet de déterminer la grosseur et le pourcentage pondéraux de grains constituant les échantillons du sable.

L'essai de tamisage d'un échantillon se fait à l'aide d'une série de tamis normalisés (AFNOR n°X11.501) empilés les uns sur les autres. La dimension des ouvertures est décroissante du haut en bas. Chaque tamis donne deux produits, un produit passant à travers le tamis appelé le passant et un produit restant sur la surface du tamis appelé le refus.

L'ensemble des poids des fractions restantes sur chaque tamis constitue l'analyse granulométrique. **(Duguet J-P - Bernazeau F - Cleret D - Gaid A - Laplanche A - Moles J - Monteil A- Riou G - Simon P. 2006)**

L'efficacité de tamisage dépend de plusieurs facteurs tels que:

- La masse de l'échantillon.
- La qualité de mouvement (amplitude de vibrations) ou brassage.
- Le temps de tamisage.
- Le débit d'eau d'arrosage



Figure III.46 Les tamis utilisé

a. Les paramètres granulométriques

Les résultats obtenus par l'analyse granulométrique sont portés sur des graphiques spéciaux et les courbes ainsi tracées fournissent des renseignements précis sur l'échantillon. Ces renseignements sont exprimés sous forme de paramètres granulométriques, on distingue:

1. Le diamètre efficace D_E

Le diamètre efficace D_{10} exprime le diamètre de l'ouverture de tamis qui laisse passer 10% de l'échantillon du sable. Il représente conventionnellement, le diamètre moyen des grains du sable. (Castany G. 1982 - De Marsily G. 1994)

2. Le coefficient d'uniformité C_U

Le coefficient d'uniformité, représente l'homogénéité de la distribution des diamètres des grains dans l'échantillon. Par convention:

$$C_U = \frac{d_{60}}{d_{10}}$$

Pour que la granulométrie soit uniforme, il faut que $C_U < 2$ ou 2.5.

(Castany G. 1982 - Musy A. 1991 - Nur M. 1996)

3. Le coefficient de classement C_c

Il s'agit du rapport entre deux diamètres apparents définis de telle sorte que la taille de 75% et respectivement 25% des particules soient inférieure. Ce coefficient constitue un indice de variation relative de la pente de la courbe :

$$C_c = \frac{d_{75}}{d_{25}}$$

III.1.2 L'eau épurée utilisées

La qualité de l'eau usée varie d'une compagnie à une autre, selon leur origine. Dans la présente étude on a utilisé les eaux de l'aval de la station d'épuration de 'Keff-Edoukhan - El-Atteuf – Ghardaia'.



Figure III.47 L'eau épurée utilisé

A. Qualités des eaux

Pour assurer que la qualité d'eau reste relativement stable, des essais de mesures des paramètres de pollution sont effectués plusieurs fois au laboratoire de la step. Les écarts entre les valeurs sont très faibles. Pour cela, on a pris en compte les moyennes arithmétiques.

A.1 La demande biochimique en oxygène DBO₅

La demande biochimique en oxygène après cinq jours d'un échantillon, est la quantité d'oxygène consommée par les micro-organismes aérobies présents dans cet échantillon. (Satin M. 1999 - Rejsek F. 2002)

La détermination de la DBO₅ est faite plusieurs fois selon les normes AFNOR, suivant la méthode manométrique, sur des échantillons non dilués (NF EN 1899-2).



Figure III.48 Détermination du DBO₅

La moyenne arithmétique d'eau utilisée dans cette étude est de **22 mgO₂/l**.

A.2 La demande chimique en oxygène DCO

Elle représente la concentration exprimée en mg/l d'oxygène équivalent à la quantité de dichromates consommée par la matière dissoute et en suspension lorsqu'on traite un échantillon d'eau avec cet oxydant, dans les conditions des normes. (Dégrément 1989 - Rejsek F. 2002)

La DCO est mesurée plusieurs fois, selon les normes AFNOR, par oxydation des matières réductrices contenues dans l'eau; et par un excès de dichromate de potassium (NFT 90-101).



Figure III.49 Spectrophotomètre

La moyenne arithmétique d'eau utilisée dans cette étude est de **28.60 mgO₂/l**.

A.3 Les matières en suspensions MES

Les MES représentent les pollutions particulières, qui sont ni à l'état soluble ni à l'état colloïdal). (Rodier J. 1996 - Rejsek F. 2002)

La mesure de MES est effectuée plusieurs fois selon les normes EN, par la méthode de filtration (EN 872 : 1996).



Figure III.50 Détermination des MES

Les écarts entre les valeurs sont très faibles, pour cette eau on a calculé la moyenne arithmétique qui est de **70 mg/l**.

A.4 La turbidité

La turbidité représente l'opacité d'un milieu trouble. C'est la réduction de la transparence d'un liquide due à la présence de matière non dissoutes. Elle est causée, dans les eaux par la présence des matières en suspension (MES) fines, comme les argiles, les grains de silice et les micro-organismes. Une faible part de la turbidité peut être due également à la présence des matières colloïdales d'origine organiques ou minérale (Rejsek., 2005).



Figure III.51 Turbidimètre

On a mesuré la turbidité de ces eaux épurées de cette station avec un turbidimètre et on l'a trouvé de **59.7 NTU**.

III.2 Méthode utilisée

III.2.1 Prélèvement de l'eau

Un prélèvement d'eau est effectué le 13 juin 2020 à 11h du matin au niveau du canal de rejet de la station d'épuration des eaux usées.

Après la prise d'échantillons d'eau, on procède par une mesure de turbidité à l'aide d'un turbidimètre. Nous signalons que la turbidité de l'eau à filtrer est entre **59 à 60 NTU**.

III.2.2 Mode opératoire

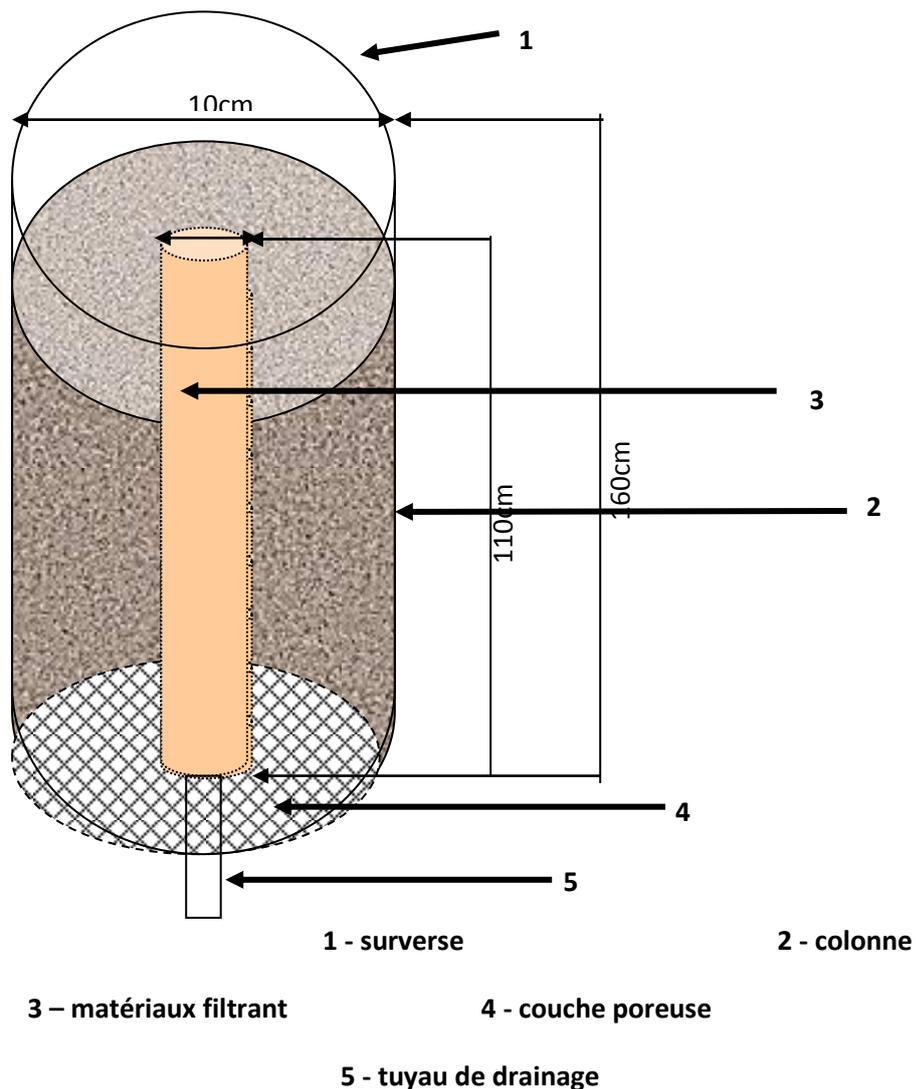


Figure III.52 Schéma du de filtration

Les 5 scénarios étaient divisés en 4 expériences, avec un changement d'hauteur de sable et volume d'eau à chaque expérience, et le sable utilisé à chaque expérience était jeté. L'eau récupérée après la filtration est de 1 litre.

A. Scenario 01

Dans le premier scénario, nous avons utilisé le sable de dune la zone d'El-Atteuf comme "couche filtrante":.

- La première expérience consistait à placer une couche de sable d'une hauteur de 27cm, après en verse deux litres d'eau épurée, puis elle s'est infiltrée à travers le sable de sorte que l'eau filtrée a été récupérée à travers un robinet situé sous le filtre. Cette étape a pris un temps de 10min.



Figure III.53 Photo illustrant la première expérience du premier scénario

- La deuxième expérience était un changement dans la hauteur de sable et le volume de l'eau, ou était le temps de filtration environ 17 minutes au cours desquelles nous avons élevé la hauteur du sable à 55 cm et le volume d'eau à 4 litres.



Figure III.54 Photo illustrant la deuxième expérience du premier scénario

- Dans la troisième expérience, de même, le changement concernait le niveau de hauteur du sable et le volume d'eau, on a versé 6 litres d'eau dans une couche de sable d'une hauteur de 82.5 cm, le temps de filtration était 26min.

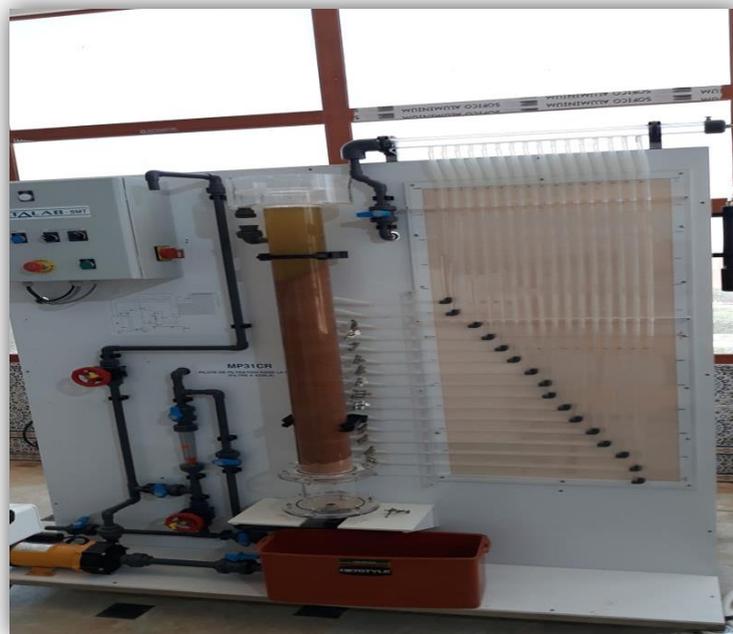


Figure III.55 Photo illustrant la troisième expérience du premier scénario

- La dernière expérience a pris un temps plus long, 35 minutes, dans lequel la hauteur du sable a été 110 cm. et le volume d'eau était 8 litres, qui sont également été récupéré par le robinet sous le filtre.

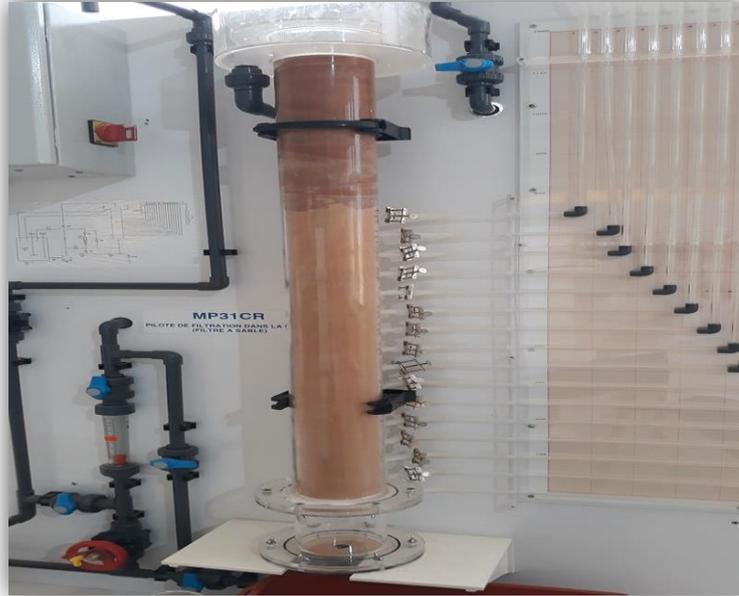


Figure III.56 Photo illustrant la quatrième expérience du premier scénario

B. Scenario 02

Dans le deuxième scénario, nous avons utilisé du sable de ravin de la région de Metlili, De même que le premier scénario, le changement concernait le niveau de hauteur de sable et le volume d'eau.

Le scénario s'est déroulé en 4 expériences:

- La première expérience, la hauteur du sable était 25.5cm, et le volume d'eau était de deux litres. Cela a pris un temps de 12 minutes.



Figure III.57 Photo illustrant la première expérience du deuxième scénario

- La deuxième expérience a duré de 20 minutes, où le volume d'eau était de 4 litres et la hauteur du sable était de 55cm.



Figure III.58 Photo illustrant la deuxième expérience du deuxième scénario

- La troisième étape où la hauteur du sable était élevée 82.5cm et le volume d'eau était 6 litres, le temps de filtration nous l'avons mesuré de 30 minutes.
- Quant à la quatrième expérience, dans laquelle le sable avait une hauteur de 110 cm et le volume de l'eau versée était 8 litres, le temps de filtration était estimée de 45min.

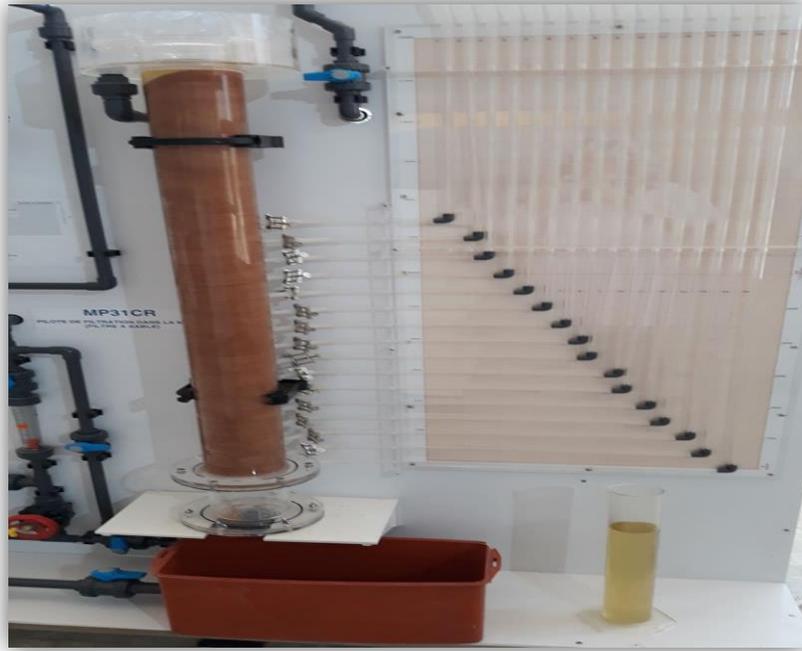


Figure III.59 Photo illustrant la quatrième expérience du deuxième scénario

C. Scenario 03

Le troisième scénario dans lequel nous avons utilisé le sable de dune de la région de Brizina, où était le changement dans les expériences. Concerne aussi le changement des hauteurs de sable et de volume d'eau.

Quant au temps de filtration, c'est comme suit:

- La première expérience a pris un temps de 7min.



Figure III.60 Photo illustrant la première expérience du quatrième scénario

- La deuxième expérience a duré de 15 minutes.



Figure III.61 Photo illustrant la deuxième expérience du quatrième scénario

- Vingt minutes étaient pour la troisième expérience.
- La quatrième expérience, a pris presque un temps de 25min.

D. Scenario 04

Le quatrième scénario est similaire aux scénarios précédents en termes de changement de hauteur de sable et de volume d'eau.

Le changement ne concernait que la qualité du sable utilisé, car nous utilisons le sable de dune de "Brizina"

Chaque expérience a pris un temps estimé comme suit:

- La première expérience le temps été estimée à une heure complète.

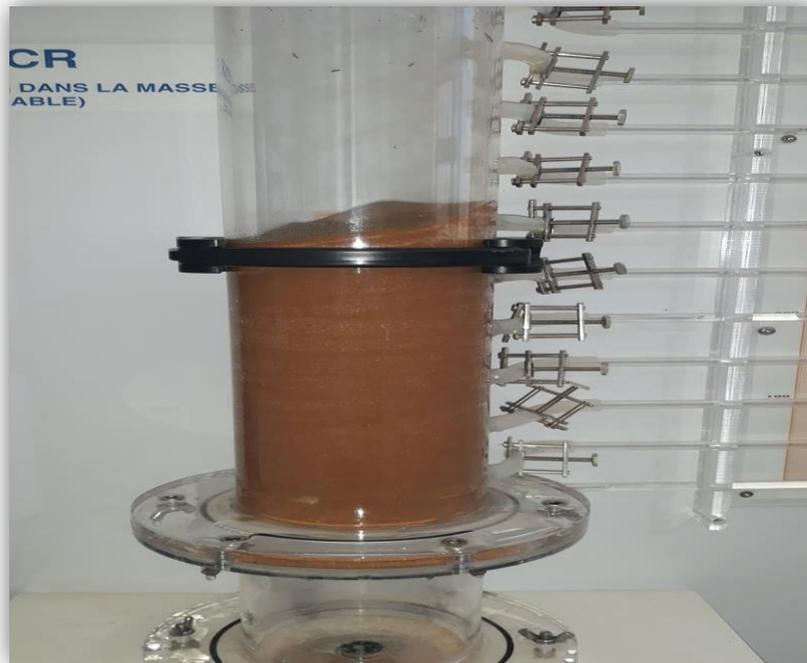


Figure III.62 Photo illustrant la première expérience du troisième scénario

- La deuxième expérience le temps est de 4 heures.
- Le temps de la troisième expérience est à environ 6 heures.

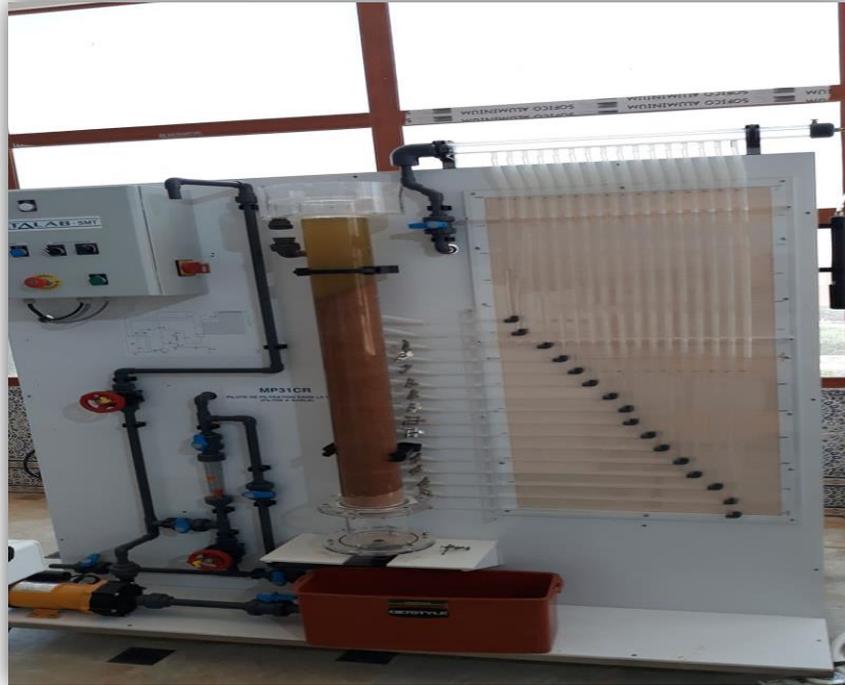


Figure III.63 Photo illustrant la troisième expérience du troisième scénario

- La quatrième étape, qui était très longue, le temps été estimée à 10 heures.

E. Scenario 05

Le cinquième scénario se compose de 4 expériences. Dans chaque expérience, nous avons utilisé un mélange de couches de tous les types de sable utilisé dans cette étude avec un changement de disposition du sable, ce sable à une hauteur de 10cm pour chaque couche et le volume d'eau constants "2L".

- La première expérience le mélange était comme suit:
 - ✓ Sable de ravin de la région de Metlili.
 - ✓ Sable de dune de la région de Dayet Ben-Dhahoua.
 - ✓ Sable de dune d'El-Atteuf.
 - ✓ Sable de dune de "Brizina".

La filtration a duré de 20 minutes



Figure III.64 Photo illustrant la première expérience du cinquième scénario

- La deuxième expérience le mélange était comme suit et le temps de filtration était de 25min:
 - ✓ Sable de dune de "Brizina".
 - ✓ Sable de dune d'El-Atteuf.
 - ✓ Sable de dune de la région de Dayet Ben-Dhahoua.
 - ✓ Sable de ravin de la région de Metlili.
- Quant à la troisième expérience, elle a pris 22 minutes et le mélange a été arrangé de la manière suivante:
 - ✓ Sable de dune d'El-Atteuf.
 - ✓ Sable de dune de la région de Dayet Ben-Dhahoua.
 - ✓ Sable de ravin de la région de Metlili.
 - ✓ Sable de dune de "Brizina".

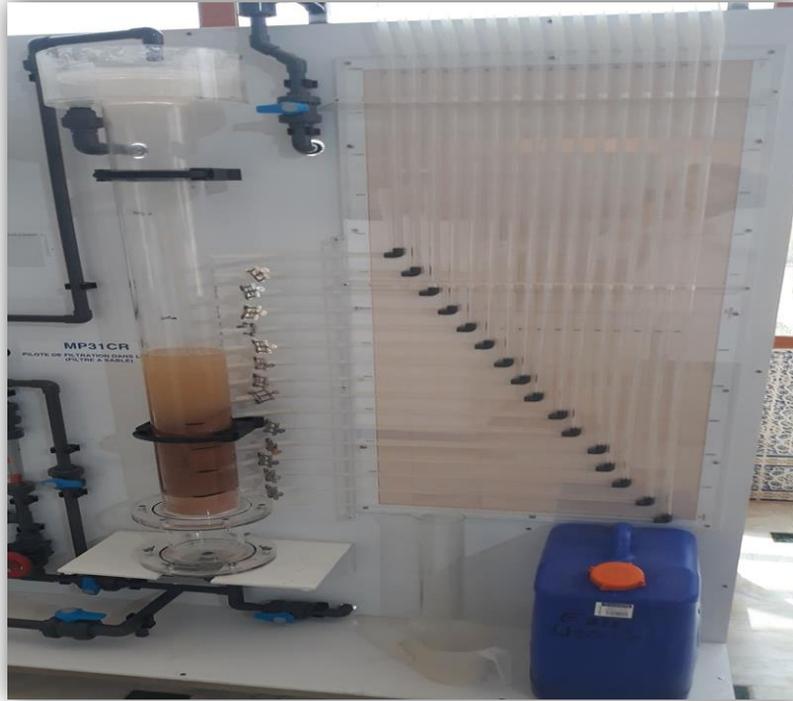


Figure III.65 Photo illustrant la troisième expérience du cinquième scénario

- Quant à la quatrième expérience, l'ordre du mélange était le suivant:
 - ✓ Sable de dune de la région de Dayet Ben-Dhahoua.
 - ✓ Sable de ravin de la région de Metlili.
 - ✓ Sable de dune de "Brizina".
 - ✓ Sable de dune d'El-Atteuf.

Et cela a pris un temps de 30 minutes.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les différents matériaux utilisés dans cette étude passant du sable à l'eau épurée utilisés. Ensuite nous avons présenté la méthode suivie dans cette étude en détail.

Le chapitre suivant, comprend une présentation des résultats d'étude en détail, ou on va les discuterons.



Chapitre IV

Résultats et discussion

Introduction

Dans le but de choisir les matériaux filtrants adéquats et leur empilement idéal pour la filtration de l'eau épurée de la STEP de Keff- Edoukhan, nous avons déterminé cinq scénarios d'essais. Chacun est caractérisé par une modification de matériau filtrant et un volume d'eau bien définis. Les scénarios sont divisé en 4 expérience, chacune respecte une certaine logique .Nous avons arrangé les expériences de la plus petite hauteur de sable à la plus haute, le cinquième scénario c'est des expériences ou on a utilisé un arrangement des sables utilisé dans l'étude.

Il est important de signaler qu'une dizaine d'expériences peuvent être proposées, mais le manque de temps ne nous a pas permis de tout tester.

IV.1 Résultats de mesure et d'analyse

Dans cette partie, nous rapportons les résultats des mesures de différentes analyses que nous avons effectuées sur les eaux brutes et filtrées et sur les sables échantillonnés aux différents sites de prélèvement. Sous forme des tableaux, les valeurs des différents paramètres sont présentées pour chaque scénario et expérience avant et après filtration.

IV.1.1 Résultats de l'analyse granulométrique du sable

Quatre échantillons ont été prélevés dans les sites de prélèvement. L'analyse des échantillons ont été effectuée au laboratoire. L'analyse granulométrique porte sur les fractions (meubles) sableuses. Celles-ci après conditionnement (lavage et séparation de la fraction sableuse, séchage à l'étuve) sont tamisées dans une colonne de huit tamis vibrants de mailles comprises entre 0,08 et 2mm.

Tableau IV.5 Classes Granulométriques des sables pour les quatre sites de prélèvement

| Site de prélèvement | Sg (%) | Sm (%) | Sf (%) | Stf (%) |
|--------------------------|--------|--------|--------|---------|
| El-Atteuf | 0.03 | 63.79 | 35.92 | 0.26 |
| Ravin de Metlili | 0 | 14.28 | 83.60 | 2.12 |
| Brizina | 0 | 36.65 | 61 | 2.35 |
| Dayet Ben-Dhahoua | 0.27 | 28.13 | 51.03 | 20.57 |

Classes granulométriques (%) : **Sg** (sables grossiers), **Sm** (sables moyens), **Sf** (sables fins), **Stf** (sable très fin)

Tableau IV.6 Paramètres physiques pour les quatre sites de prélèvement

| Site de prélèvement | Cc | Cu | Granulométrie |
|--------------------------|-------------|-------------|-----------------|
| El-Atteuf | 0.88 | 2.2 | uniforme |
| Ravin de Metlili | 0.80 | 2.33 | uniforme |
| Brizina | 0.67 | 3.30 | uniforme |
| Dayet Ben-Dhahoua | 4.5 | / | uniforme |

IV.1.2 Résultats et interprétation du rendement épuratoire

A. Scénario 1

Le tableau 7 représente les résultats d'analyse d'eau filtré pour le scénario 1 " le sable utilisé est de dune de zone d'El-Atteuf". Nous avons effectué différents débits de filtration, du plus faible au plus fort, c'est-à-dire la quantité d'eau à traiter dans un intervalle de temps afin de déterminer le rendement de filtration correspondant à la meilleure limpidité.

Tableau IV.7 Résultats des essais du scénario 1

| | Hauteur du sable (cm) | DBO5 (mgO ₂ /l) | DCO (mgO ₂ /l) | MES (mg/l) | Turbidité NTU |
|-------------------------------|-----------------------|----------------------------|---------------------------|------------|---------------|
| Avant filtration | 00 | 22 | 28,6 | 70 | 59.7 |
| Après filtration Exop1 | 27.5 | 20 | 25 | 36 | 37.5 |
| Après filtration Exop2 | 55 | 17,3 | 21,63 | 27 | 32.4 |
| Après filtration Exop3 | 82.5 | 13,1 | 16,38 | 14 | 25.3 |
| Après filtration Exop4 | 110 | 7,8 | 9,75 | 7 | 6.81 |

B.Scénario 2

Les résultats de rendement épuratoire du deuxième scénario sont représentés dans le tableau 8, ou on a utilisé "le sable du Ravin de Metlili" comme matériau filtrant.

Tableau IV.8 Résultats des essais du scénario 2

| | Hauteur du sable (cm) | DBO5 (mgO ₂ /l) | DCO (mgO ₂ /l) | MES (mg/l) | Turbidité NTU |
|-------------------------------|-----------------------|----------------------------|---------------------------|------------|---------------|
| Avant filtration | / | 22 | 28,6 | 70 | 59,7 |
| Après filtration Exop1 | 27.5 | 13 | 16,25 | 34,3 | 7,2 |
| Après filtration Exop2 | 55 | 8,9 | 14,13 | 20,1 | 4,61 |
| Après filtration Exop3 | 82.5 | 5,2 | 6,5 | 14 | 5,81 |
| Après filtration Exop4 | 110 | 0,8 | 1 | 4,5 | 2.50 |

C. Scénario 3

Dans le tableau 9 sont rassemblées les données concernant le rendement épuratoire du 3ème scénario ou on a utilisé le matériau filtrant "Sable de dune de Brizina".

Tableau IV.9 Résultats des essais du scénario 3

| | Hauteur du sable (cm) | DBO5 (mgO ₂ /l) | DCO (mgO ₂ /l) | MES (mg/l) | Turbidité NTU |
|-------------------------------|-----------------------|----------------------------|---------------------------|------------|---------------|
| Avant filtration | / | 22 | 28,6 | 70 | 59,7 |
| Après filtration Exop1 | 27.5 | 8,4 | 10,5 | 7 | 11,9 |
| Après filtration Exop2 | 55 | 5,1 | 6,38 | 4,2 | 9,49 |
| Après filtration Exop3 | 82.5 | 2,3 | 2,9 | 4 | 5,81 |
| Après filtration Exop4 | 110 | 1,6 | 2 | 1,06 | 3,49 |

D. Scénario 4

Les résultats de rendement épuratoire du quatrième scénario sont représentés dans le tableau 10, ou on a utilisé "le sable de Dhayet Ben-Dahoua" comme matériau filtrant.

Tableau IV.10 Résultats des essais du scénario 4

| | Hauteur du sable (cm) | DBO5 (mgO ₂ /l) | DCO (mgO ₂ /l) | MES (mg/l) | Turbidité NTU |
|-------------------------------|-----------------------|----------------------------|---------------------------|------------|---------------|
| Avant filtration | / | 22 | 28,6 | 70 | 59,7 |
| Après filtration Exop1 | 27.5 | 21,3 | 26,6 | 45 | 38,5 |
| Après filtration Exop2 | 55 | 19,2 | 24 | 38,7 | 31,3 |
| Après filtration Exop3 | 82.5 | 15,4 | 19,25 | 30 | 24,8 |
| Après filtration Exop4 | 110 | 12 | 15 | 27 | 16,1 |

E. Scénario 5

Nous avons réalisé une série de couches filtrantes de 10 cm d'épaisseur pour chaque couche et 2L de volume d'eau versé. Le tableau au-dessous représente la variation des paramètres du rendement épuratoire.

Tableau IV.11 Résultats des essais du scénario 5

| | Hauteur du sable (cm) | DBO5 (mgO ₂ /l) | DCO (mgO ₂ /l) | MES (mg/l) | Turbidité NTU |
|-------------------------------|-----------------------|----------------------------|---------------------------|------------|---------------|
| Avant filtration | / | 22 | 28,6 | 70 | 59,7 |
| Après filtration Exop1 | 40 | 11,3 | 9,04 | 20,1 | 9,99 |
| Après filtration Exop2 | 40 | 4,2 | 5,25 | 18 | 11,7 |
| Après filtration Exop3 | 40 | 14,3 | 17,9 | 30 | 20,3 |
| Après filtration Exop4 | 40 | 0,6 | 0,75 | 2,3 | 6.8 |

IV.2 Interprétations et discussions des résultats

IV.2.1 Caractéristiques granulométriques du sol

A. Classes Granulométriques

L'étude granulométrique des sables pour les quatre sites, a permis de déterminer quatre classes granulométriques. Il s'agit des sables très fins, des sables fins, des sables moyens, des sables grossiers (**Tableau IV.5** et **Figure IV.66**).

- Les sables très fins sont peu abondants pour les sites (El-Atteuf; Metlili et Brizina). Ils ont une proportion maximale de 2,35% au sable de Brizina, par contre au sable de Dhayet Ben Dhahoua il a une proportion de 20,57%.
- Les sables fins sont très abondants. Ils présentent la proportion la plus élevée au sable de Metlili, soit 83,60%; par contre au sable de El-Atteuf il présente la plus faible proportion de 35,92%.
- Les sables moyens sont abondants par rapport aux sables fins dont la proportion maximale 36,65 % sauf au sable d'El-Atteuf où il présente avec une proportion importante de 63,79%.
- Les sables grossiers sont très peu abondants et ont une proportion maximale de 0,27%.

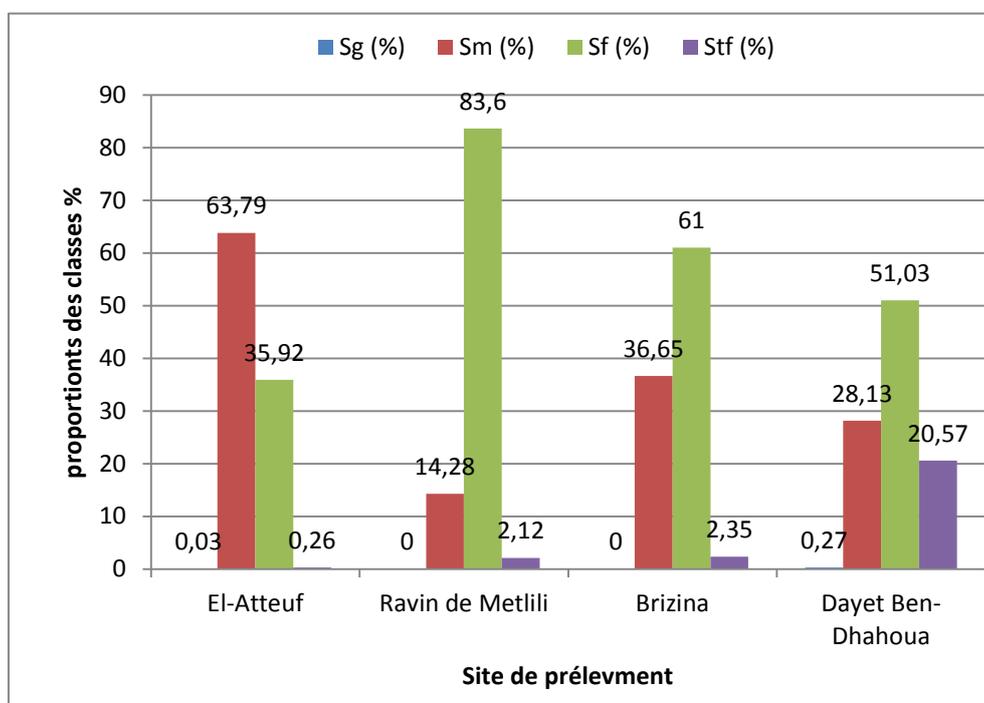


Figure IV.66 Proportions des classes granulométriques des sables aux différents sites de prélèvement

B. Faciès granulométriques

L'analyse des courbes cumulatives semi-logarithmiques des sables pour les quatre sites de prélèvement présentent un seul faciès, faciès parabolique. Ce faciès implique une dynamique sédimentaire, il caractérise les sables très fins et les sables fins. A partir de la courbe granulométrique, nous avons tiré et calculé les paramètres suivant:

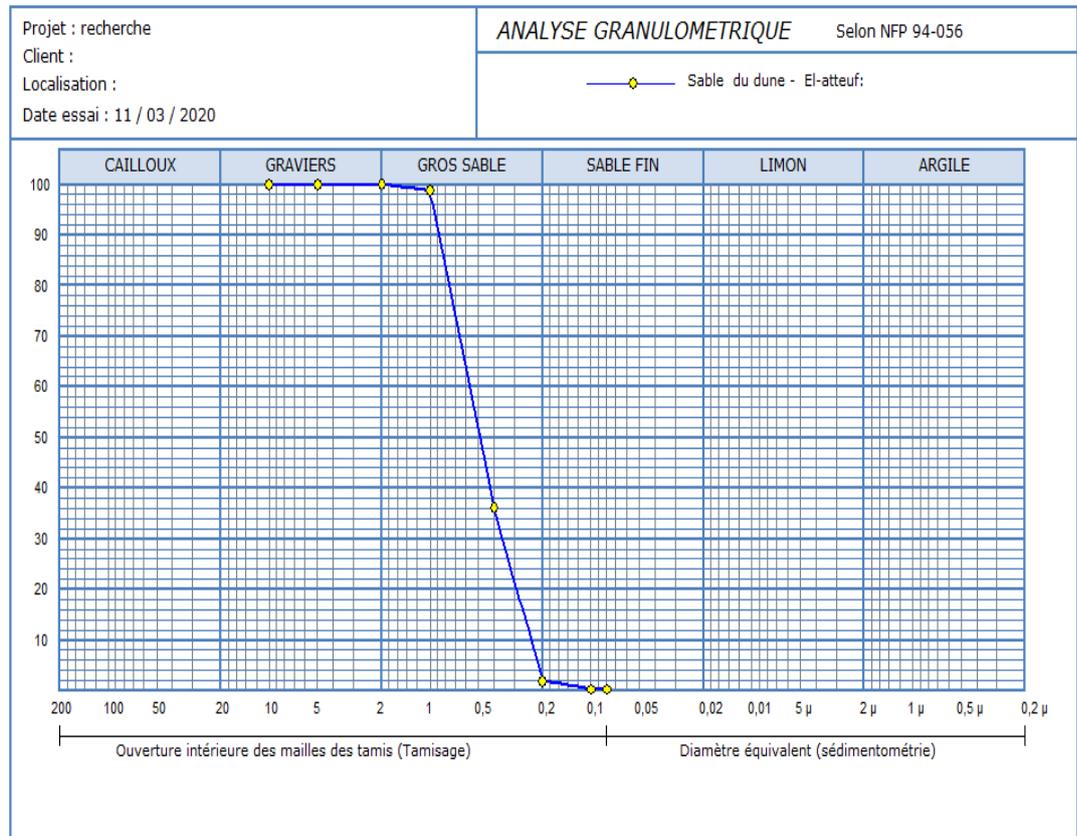
d10: Le diamètre effectif des particules qui correspond à 10% du passant.

d60: Le diamètre effectif des particules qui correspond à 60% du passant.

d25: Le diamètre effectif des particules qui correspond à 25% du passant.

d75: Le diamètre effectif des particules qui correspond à 75% du passant.

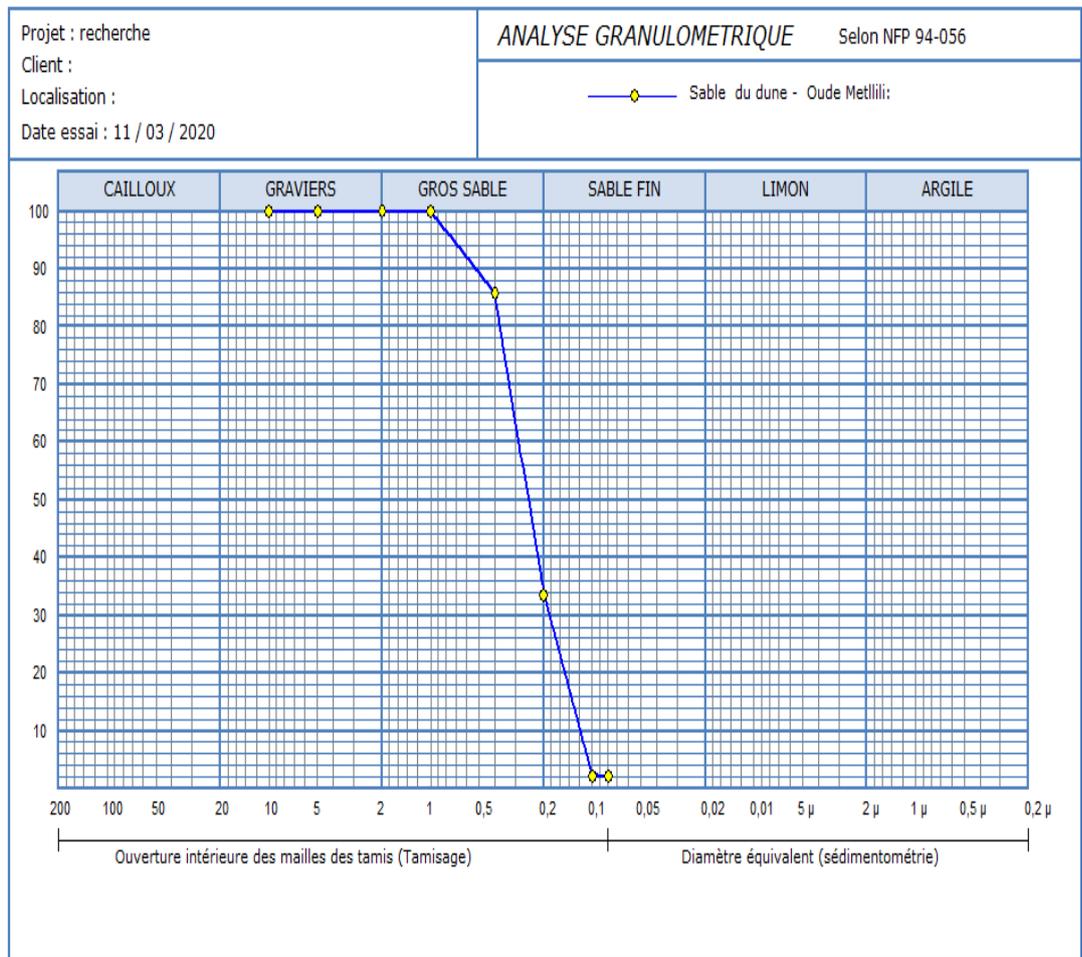
D'après les résultats représentés dans le tableau n°08, on observe que la totalité de classe de granulométrie est très serrée ($Cu < 2$).



Programme : Sollesta 2007 ©

Figure IV.67 La courbe granulométrique du "Sable de Dune de El-Atteuf"

La courbe cumulative semi-logarithmique du sable de **dune d'El-Atteuf** a une forme en 2. La granulométrie est entre 0.02 et 15 μm. La courbe montre que c'est un sable fin très propre. On remarque que la courbe traverse la verticale d'abscisse 10 % en un point correspondant à un tamis à vide de maille de 0.25 mm, c'est donc le diamètre effective de l'échantillon de sable. Le coefficient d'uniformité calcule est de 2.2. L'indice de classement présente une valeur de 0.88 (< 2,5). Donc le sable est bien classe et les grains ont des tailles homogènes.

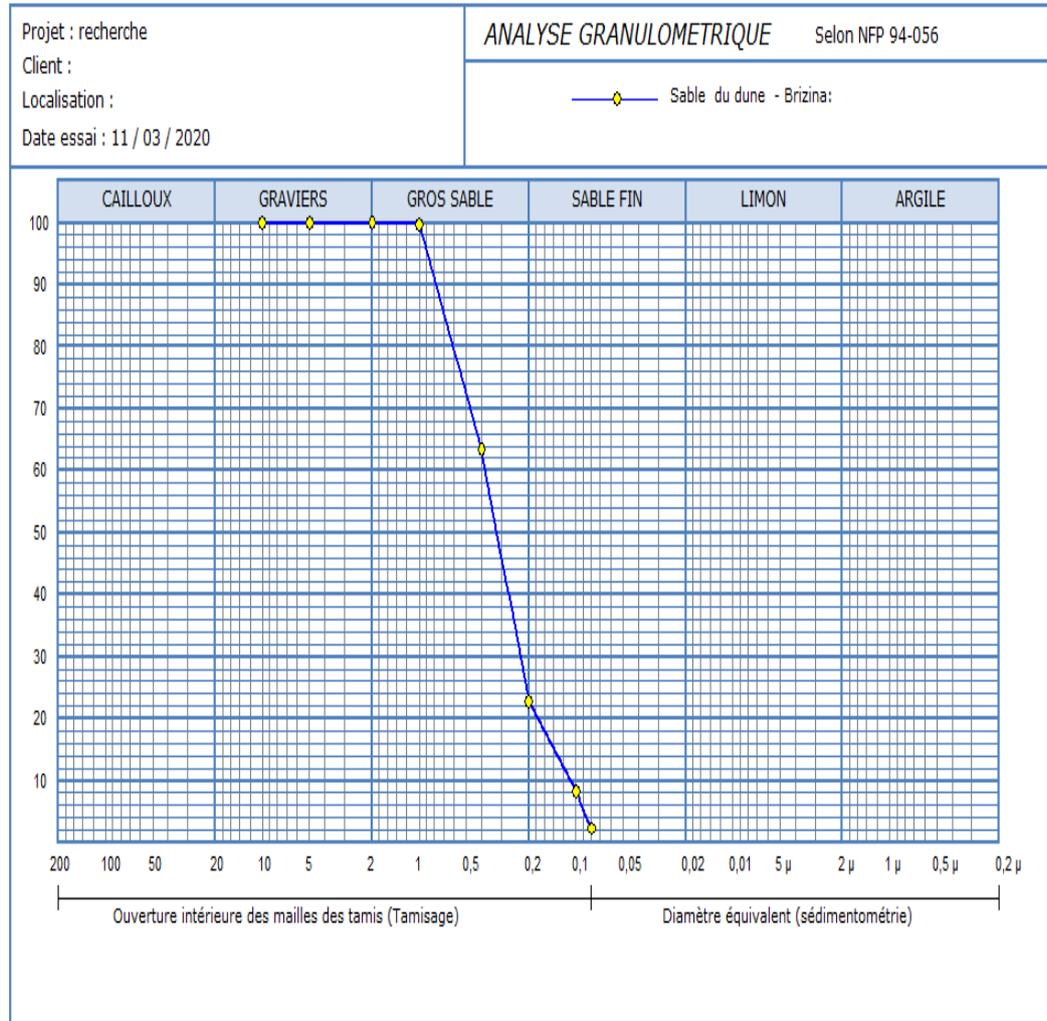


Programme : bollesis 2007 ©

Figure IV.68 La courbe granulométrique du "Sable du Ravin de Metlili"

L'échantillon représente un diamètre effectif de 0,12 mm, et un coefficient d'uniformité égale à 2.33.

L'allure générale de la courbe présente une forme en Z plus ou moins allongée. Elle montre que c'est un sable fin très propre. L'indice de classement est de 0.80 ce qui explique un bon classement des grains du sable.



Programme: Sollesta 2007 ©

Figure IV.69 La courbe granulométrique du "Sable de dune Brizina"

La courbe cumulative du sable de **dune de Brizina** représente une forte pente, Ce qui traduit un classement des grains expliqué par un indice de classement de 0.67.

La granulométrie est entre 12 et 0.08 μm , avec un diamètre effectif de 0.115mm. L'échantillon présente un coefficient d'uniformité de 3.30. La courbe montre que c'est un sable fin très propre.

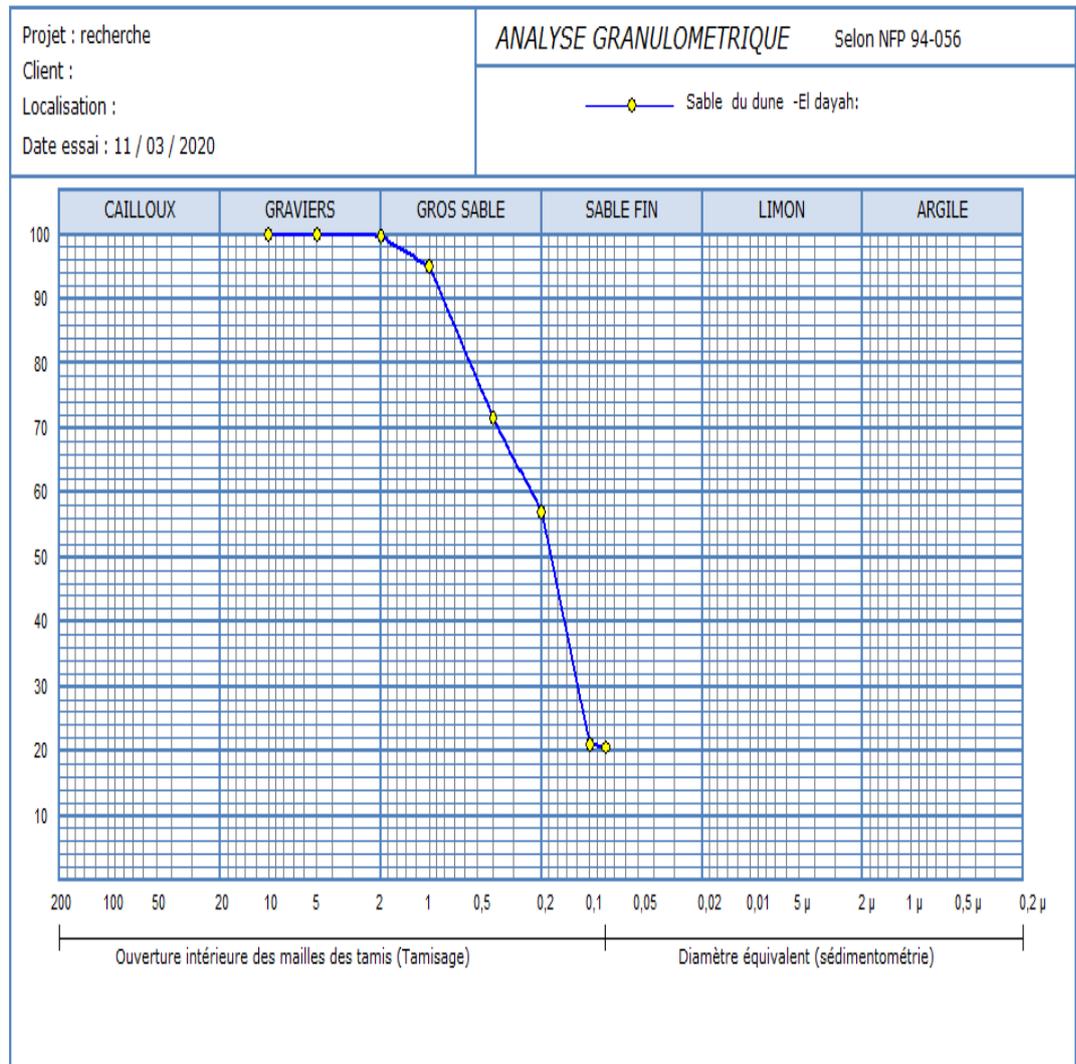


Figure IV.70 La courbe granulométrique du "Sable de dune de Dayet Ben-Dhahoua"

La courbe granulométrique du sable illustre une granulométrie entre 13 et 0.08 μm . La courbe présente un indice de classement de 4.5, ce qui s'explique par la présence de grains mûrs pas mature et non classés. Donc on peut dire que c'est un sable grossier n'est pas propre à cause des fins perdus.

IV.2.2 Rendement épuratoire

A. Scénario 01

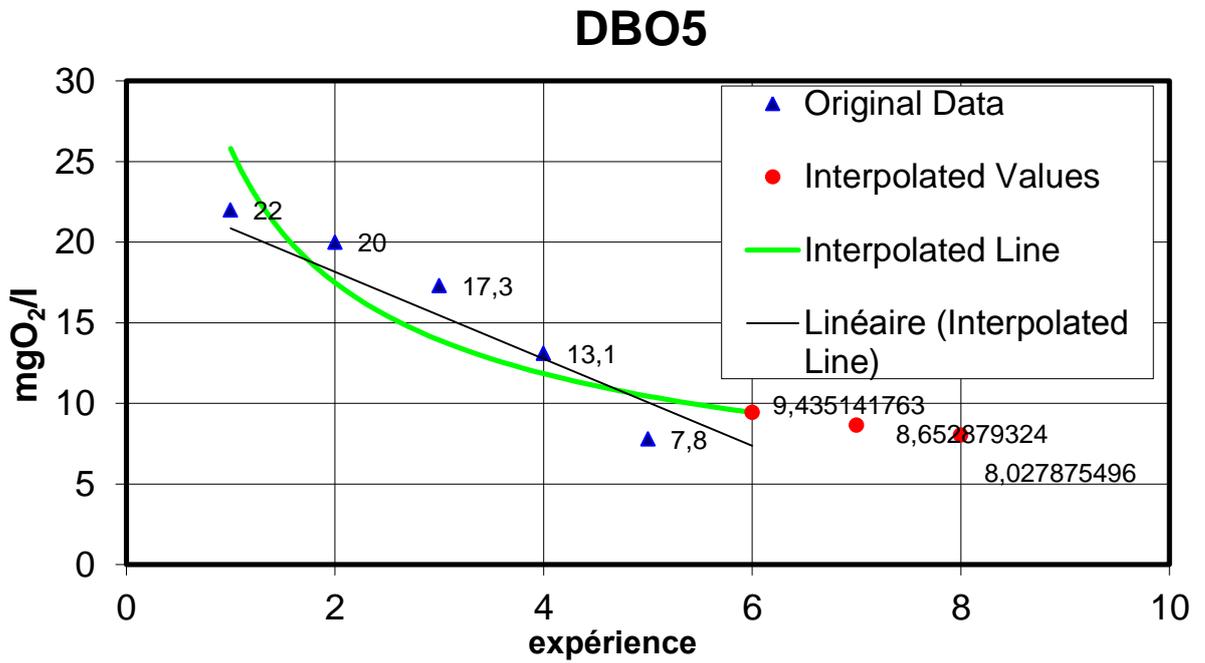


Figure IV.71 L'évolution de DBO5 des eaux filtrées du premier scénario

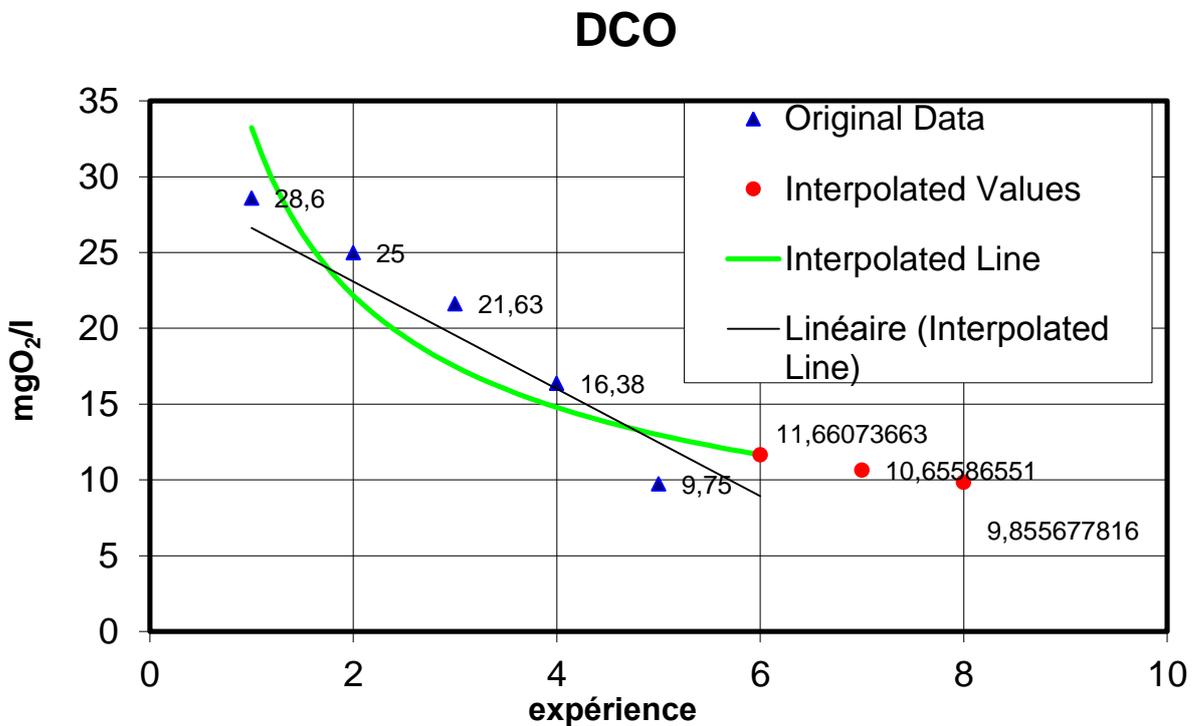


Figure IV.72 L'évolution de DCO des eaux filtrées du premier scénario

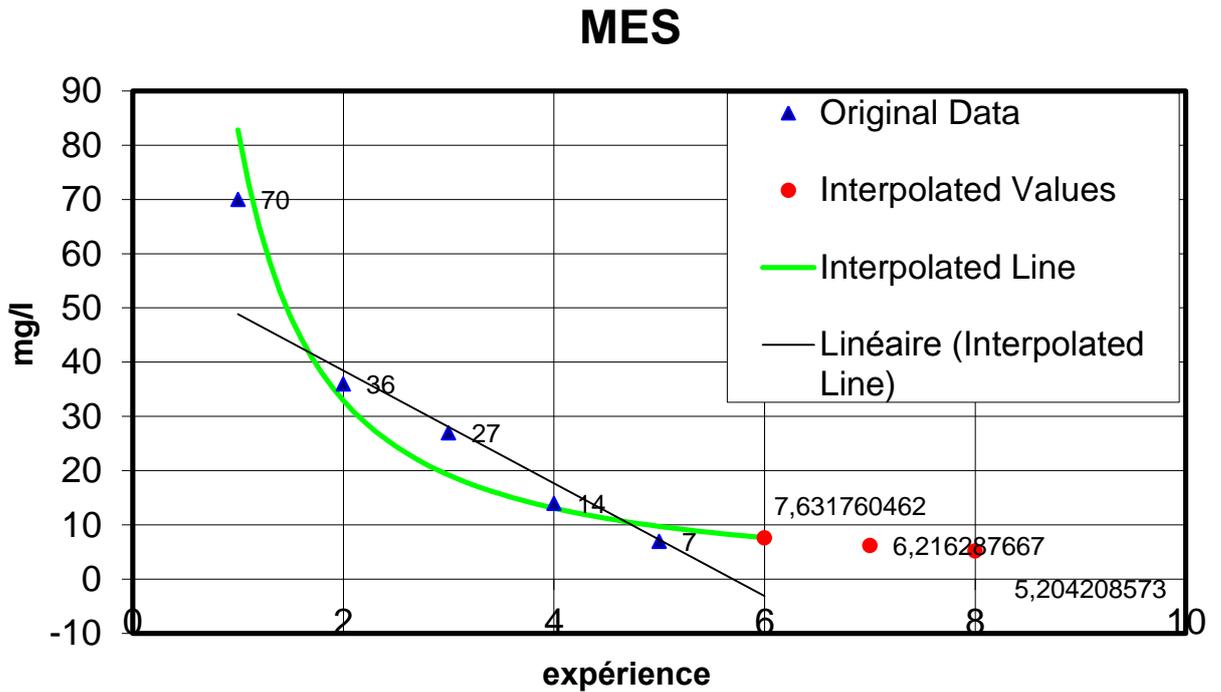


Figure IV.73 L'évolution des MES des eaux filtrées du premier scénario

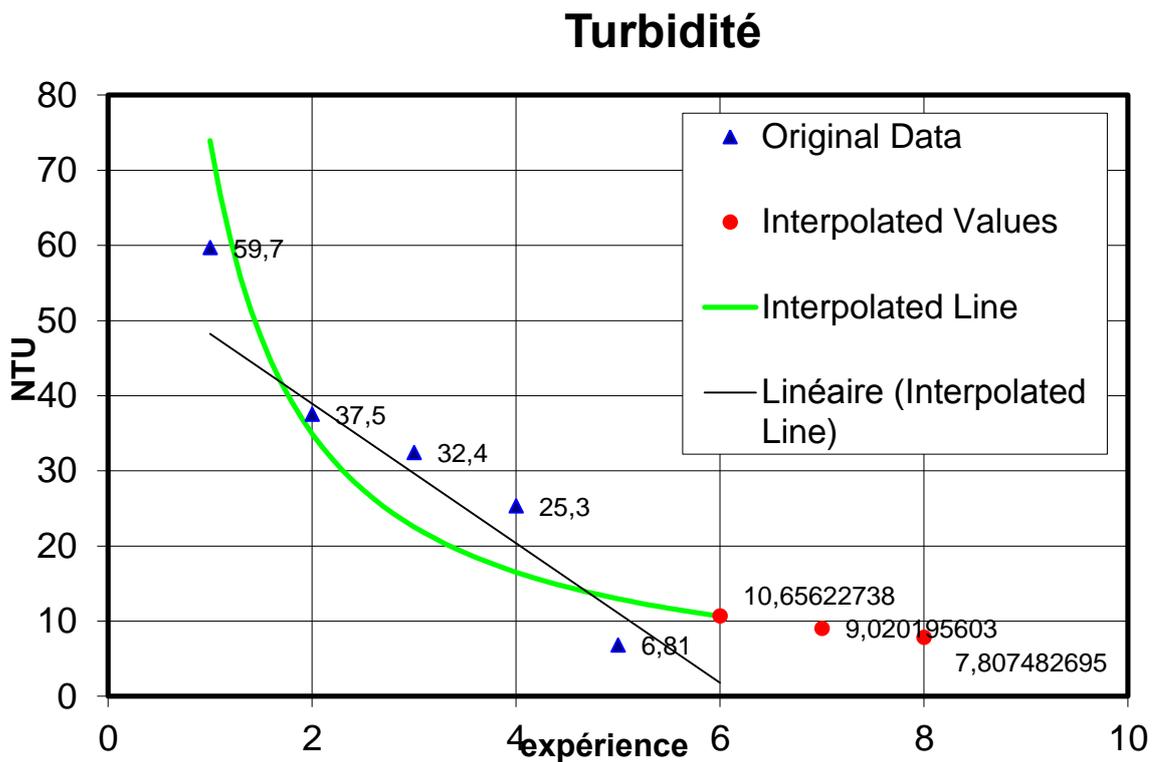


Figure IV.74 L'évolution de turbidité des eaux filtrées du premier scénario

À travers les figures (IV.71, IV.72, IV.73, IV.74), et en se référant aux analyses effectuées avant la filtration nous remarquons une diminution notable des paramètres de rendement épuratoire. La courbe qui illustre la demande chimique en oxygène qui était de 22 mgO₂/l avant la filtration, et qu'a diminué à 20mgO₂/l dans la première expérience, et qu'il a ensuite diminué à 7.8mgO₂/l dans la quatrième expérience, avec une extrapolation faite sur l'Excel en trouve que après 8 expériences et une hauteur de sable de 220cm la DBO5 sera diminuée à 6mgO₂/l .la courbe qui illustre le changement des MES à travers la filtration dans ce scénario, ce qui était de 70mg/l avant filtration et diminué à 7mg/l après la filtration dans la quatrième expérience et avec l'extrapolation on voit qu'il sera diminuée à 5.20mg/l après l'augmentation d'hauteur de sable à 220cm. La DCO qui a également diminué de 28.6 mgO₂/l avant la filtration pour devenir 9.75mgO₂/l après cela, et il va se diminuée au 9.5mgO₂/l. La turbidité a diminué aussi de 37.5NTU à 6.81NTU et avec l'extrapolation on voit qu'il va se diminuée a 6.2NTU après quand on augmente la hauteur du sable à 220cm.

B. Scénario 02

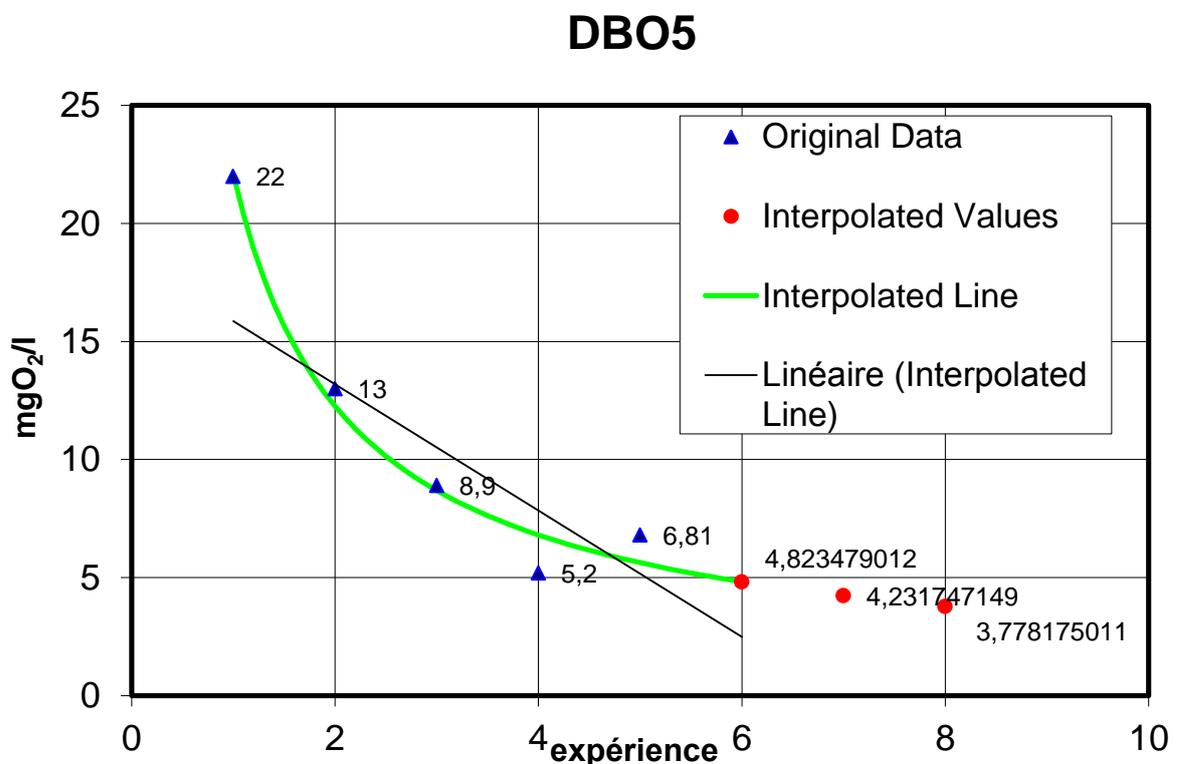


Figure IV.75 L'évolution de DBO5 des eaux filtrées du deuxième scénario

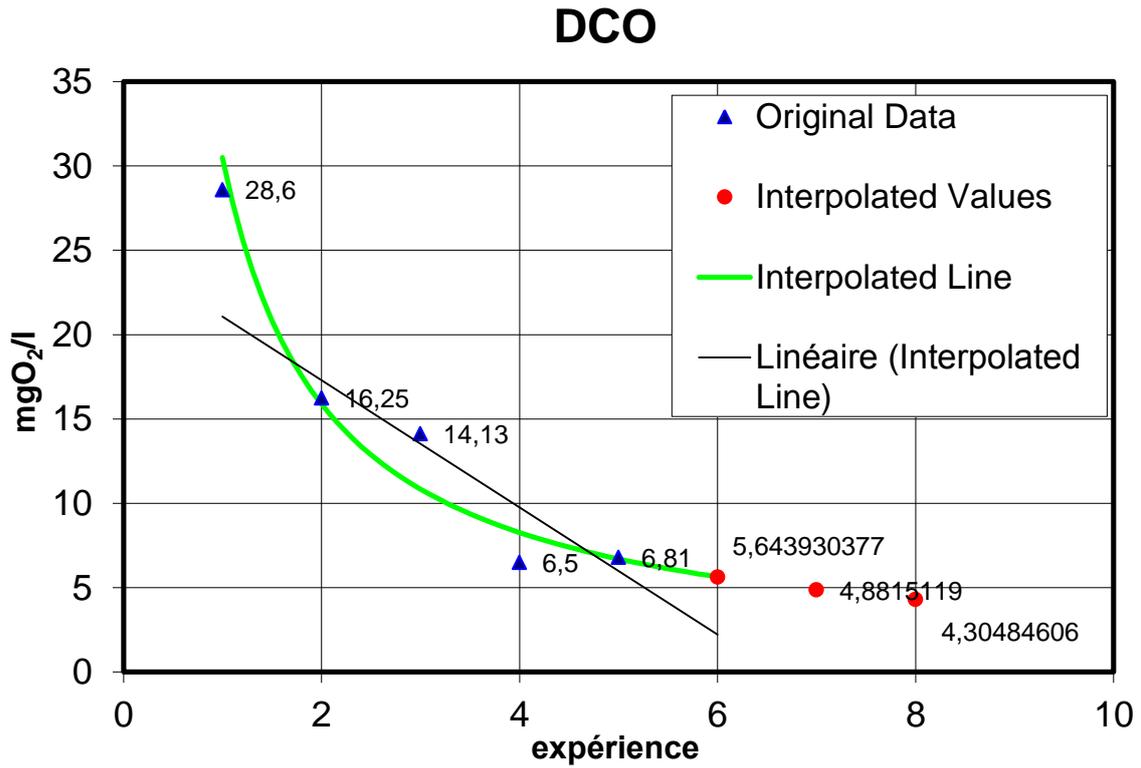


Figure IV.76 L'évolution de DCO des eaux filtrées du deuxième scénario

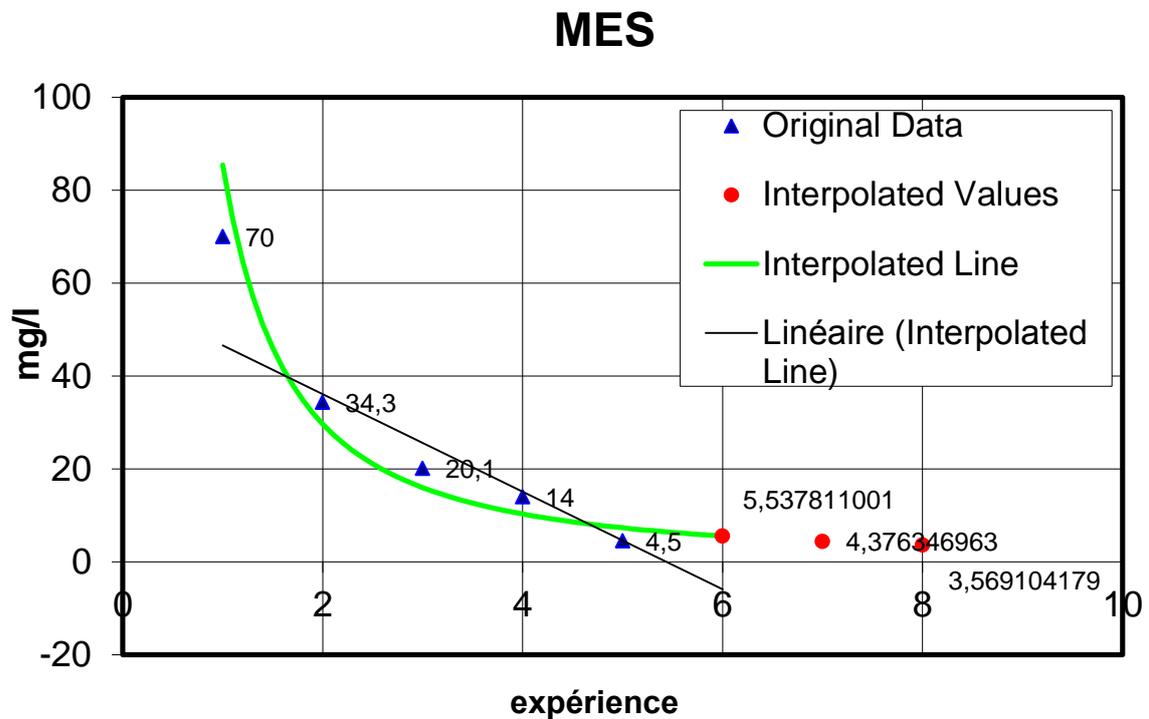


Figure IV.77 L'évolution des MES des eaux filtrées du deuxième scénario

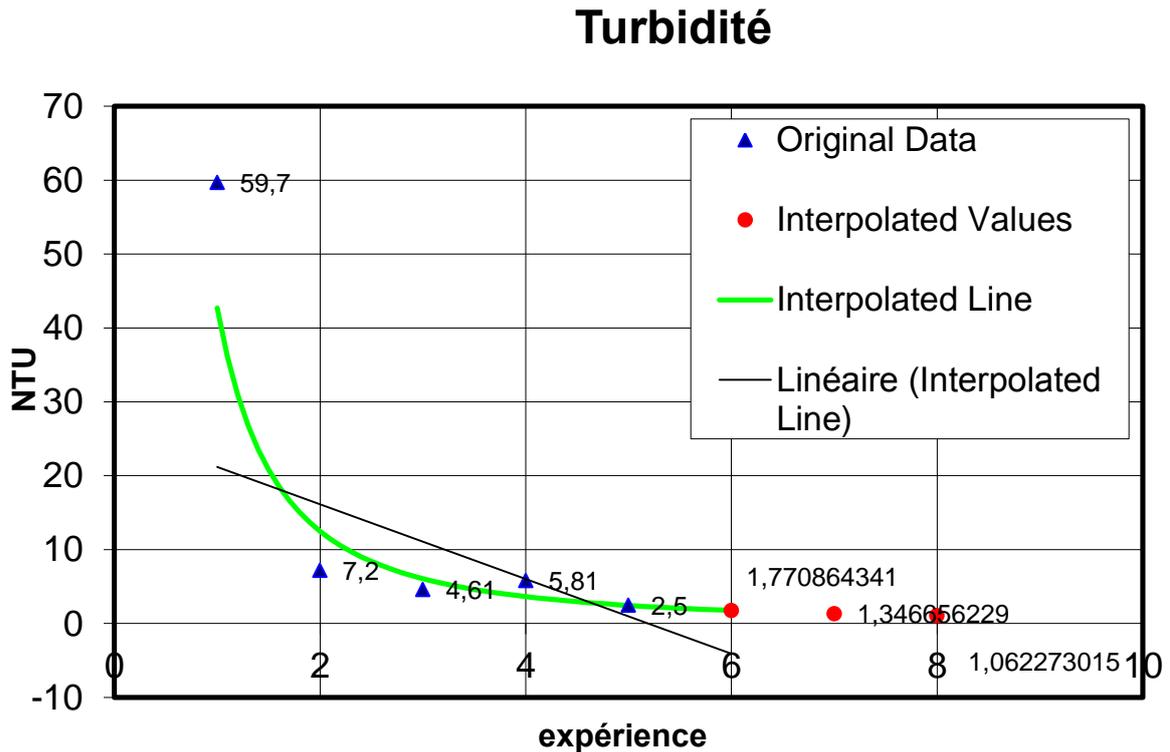


Figure IV.78 L'évolution de turbidité des eaux filtrées du deuxième scénario

Dans le but de mieux expliquer les résultats des essais dans le tableau (IV.7), nous avons représenté dans les figures (IV.75, IV.76, IV.77, IV.78), l'évolution des paramètres épuratoire en fonction d'hauteur de sable. Nous remarquons que l'allure générale des courbes illustre une baisse de ces paramètres quand la hauteur du sable augmente. La première courbe représente une diminution de DBO5 qui était avant la filtration $22\text{mgO}_2/\text{l}$, pour devenir après $0,8\text{mgO}_2/\text{l}$ et avec l'extrapolation et après 8 expériences (hauteur de 220cm) sera diminuée au $0,6\text{mgO}_2/\text{l}$. La deuxième courbe met en évidence une baisse de la DCO en faisant varier la hauteur du sable de $25,5$ à 110cm qui avec l'extrapolation après 8 expériences et une augmentation d'hauteur de sable à 220cm sera diminuée au $0,5\text{mgO}_2/\text{l}$ après qu'il était de $28,6\text{mgO}_2/\text{l}$. Les MES sont également diminués de 70mg/l avant la filtration à $4,5\text{mg/l}$ après. Et avec une extrapolation après une augmentation d'hauteur du sable à 220cm la valeur sera diminuée à $0,9\text{mg/l}$. L'eau après la filtration dans ce scénario est devenue trop claire, nous avons observé ce résultat à travers les changements de turbidité illustrés en dernière courbe, qui étaient avant la filtration 70NTU pour devenir après $2,5\text{NTU}$ et qu'il sera devenir $0,9\text{NTU}$ à la hauteur du sable de 220cm .

C. Scénario 03

DBO5

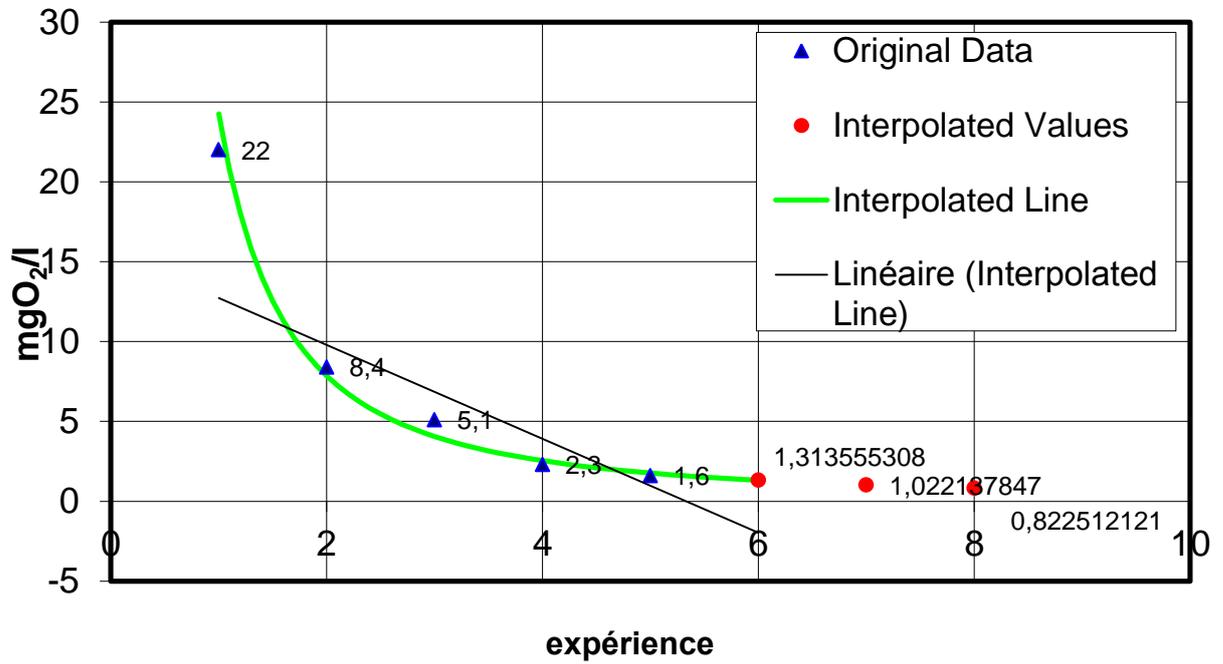


Figure IV.79 L'évolution de DBO5 des eaux filtrées du troisième scénario

DCO

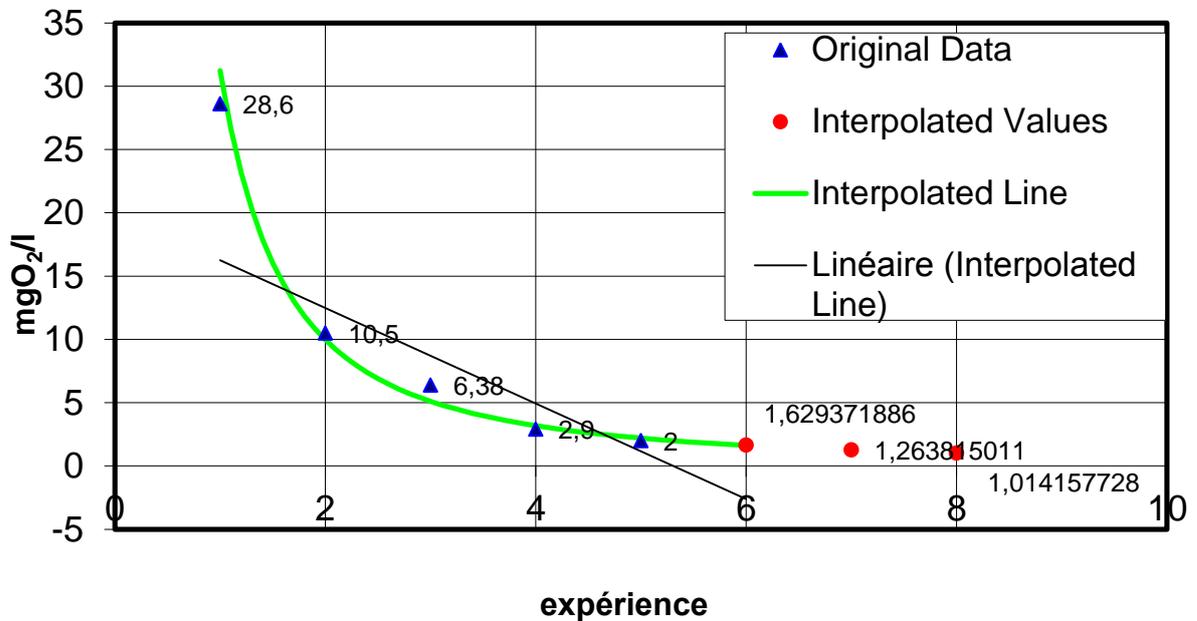


Figure IV.80 L'évolution de DCO des eaux filtrées du troisième scénario

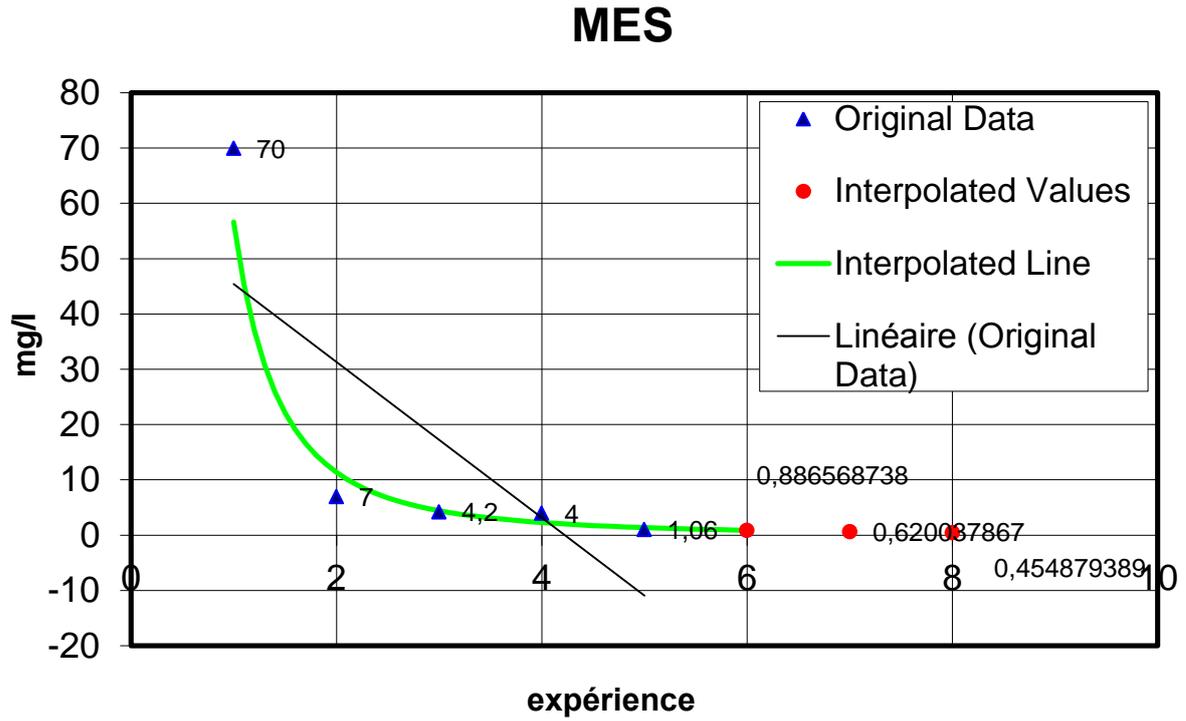


Figure IV.81 L'évolution des MES des eaux filtrées du troisième scénario

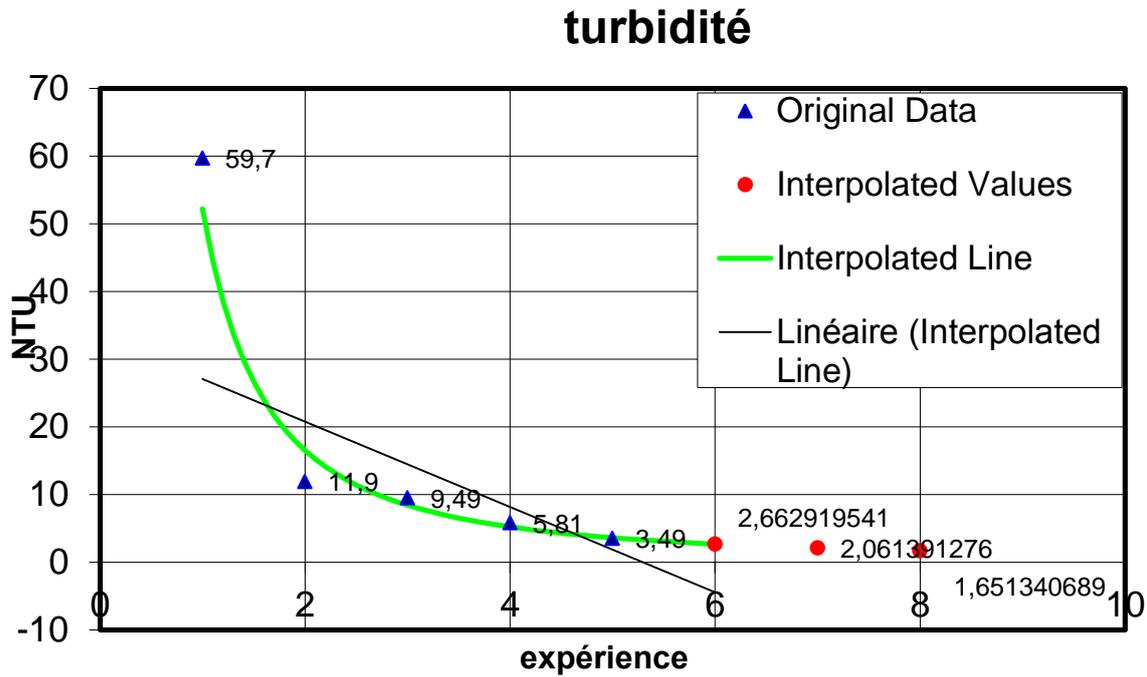


Figure IV.82 L'évolution de turbidité des eaux filtrées du troisième scénario

Dans ce scénario la courbe (IV.79) illustre le changement de DBO5, qui a diminué à travers la filtration et l'augmentation d'hauteur de sable de 22 mgO₂/l à 1.6mgO₂/l dans la

dernière expérience et avec l'extrapolation après 8 expériences (une hauteur de sable de 220cm) on voit qu'il sera diminuée a 0.7mgO₂/l. Nous avons également remarqué une diminution relative du changement de DCO, qui était de 28.6 mgO₂/l pour devenir après la filtration dans la quatrième expérience 2mgO₂/l et qu'il sera devenir après l'augmentation d'hauteur de sable à 220cm a 0.9mgO₂/l. La valeur des MES a également diminué d'un pourcentage important, qui étaient de 70 mg/l avant la filtration, pour devenir au dernier niveau de changement de hauteur de sable 1.07 mg/l et qu'ils seront devenir après une hauteur de sable de 220cm 0.3mg/l. la courbe (IV.82) illustre le changement de turbidité à travers la filtration dans ce scénario, avant la filtration était 59.7 NTU ensuite elle é diminué à travers les expériences, de 11.9 NTU dans la première expérience à 9.49 NTU dans la deuxième expérience à 3.49 NTU dans la dernière et après 8 expériences avec une augmentation de hauteur du sable à 220cm doivent êtres 1.5NTU.

D. Scénario 04

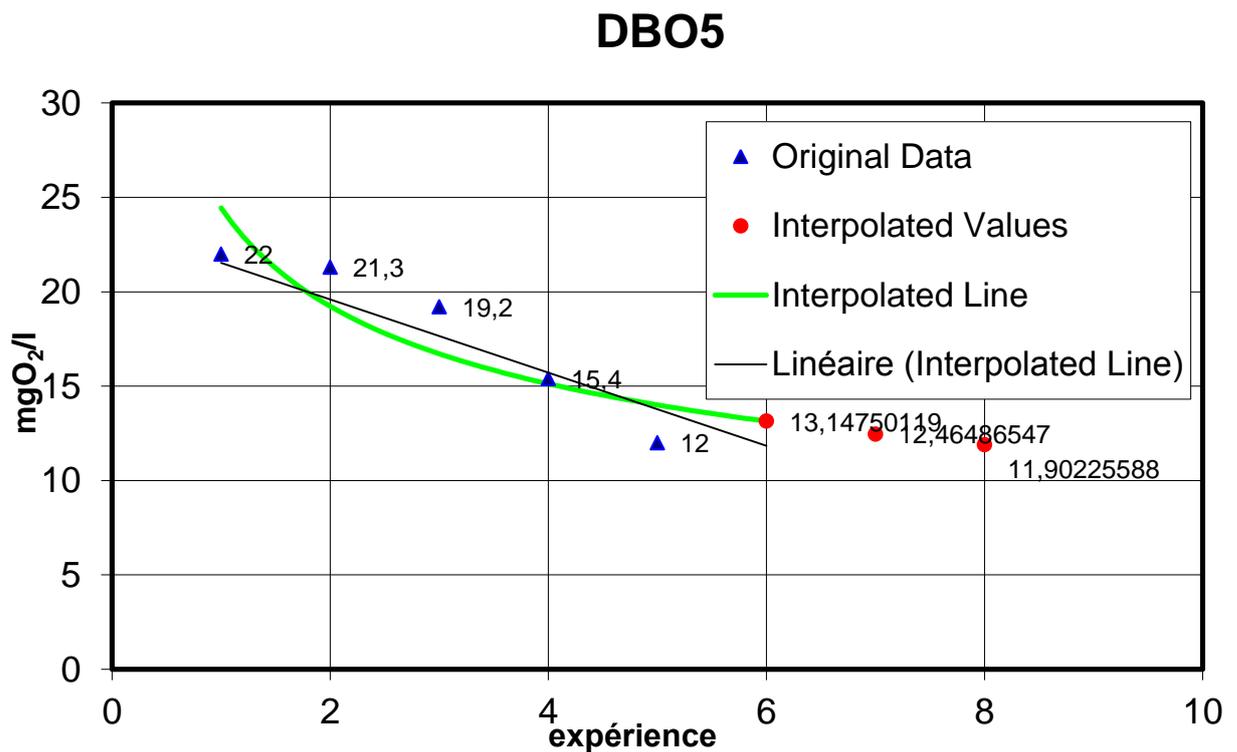


Figure IV.83 L'évolution de DBO5 des eaux filtrées du quatrième scénario

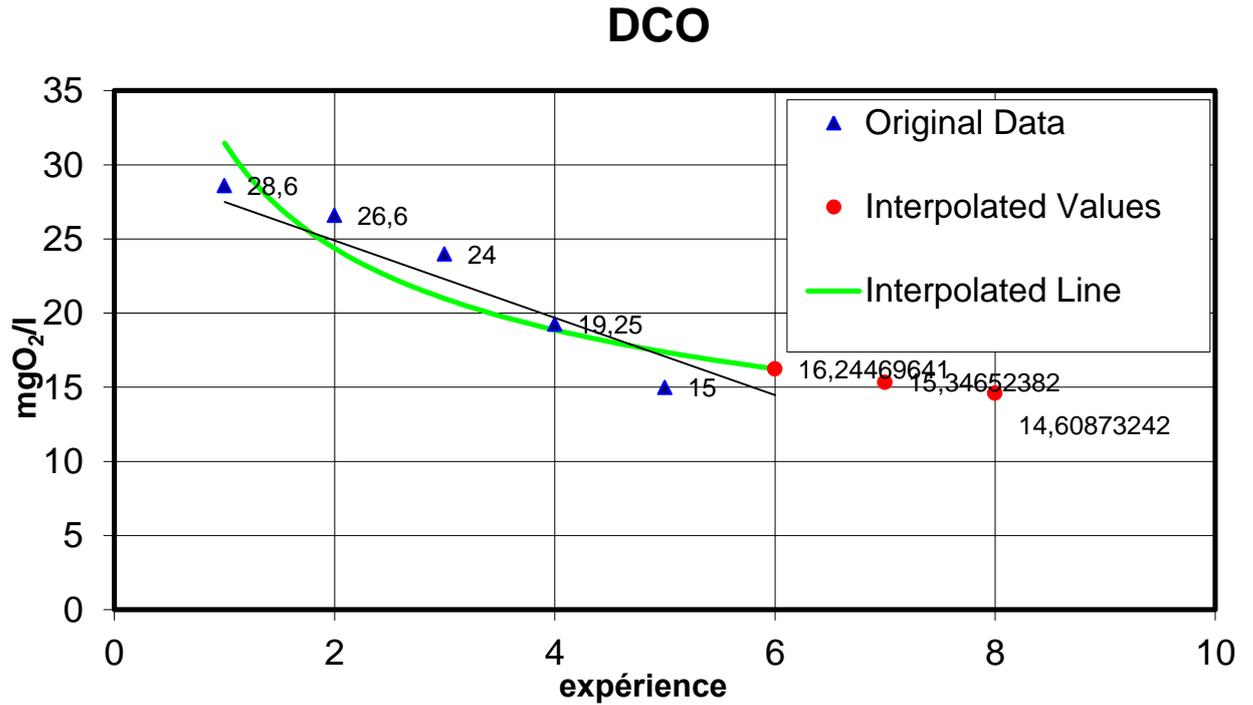


Figure IV.84 L'évolution de DCO des eaux filtrées du quatrième scénario

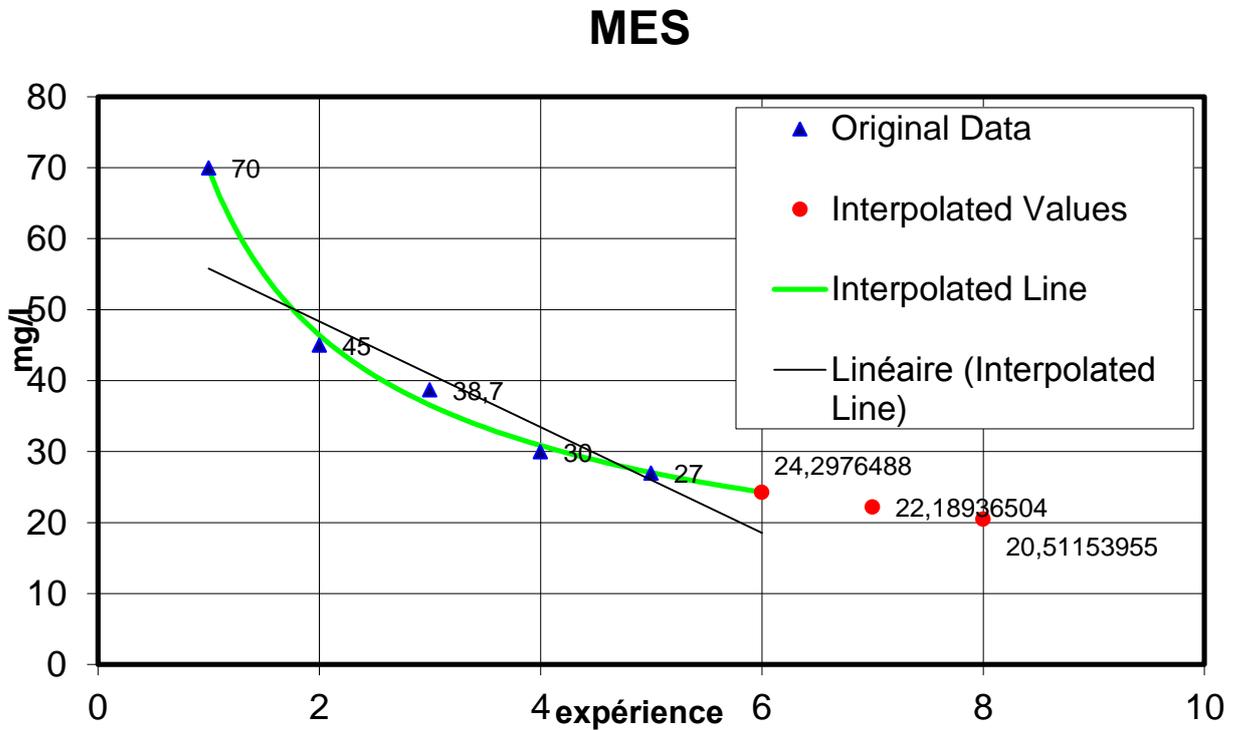


Figure IV.85 L'évolution des MES des eaux filtrées du quatrième scénario

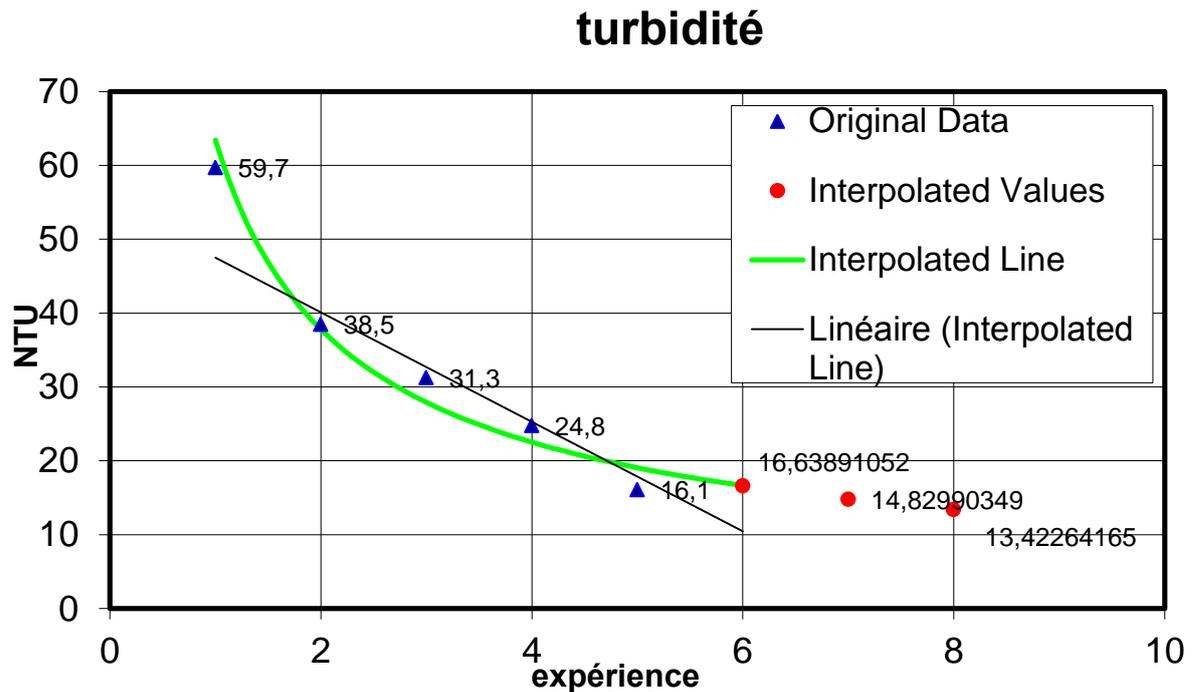


Figure IV.86 L'évolution de turbidité des eaux filtrées du quatrième scénario

La courbe (IV.85) illustre le changement des MES, qui a légèrement diminué, passant de 70 mg/l avant la filtration à 27mg/l lors de la dernière expérience et avec une interpolation on voit qu'il sera diminuée a 20.5mg/l après l'augmentation du hauteur du sable à 220cm. La DCO représenté dans la courbe (IV.85) a également diminué largement de 28.6mgO₂/l à 24mgO₂/l dans la deuxième expérience puis à 15mgO₂/l dans la dernière expérience et elle sera diminuée à 14.3 mgO₂/l avec une hauteur de sable de 220cm ça veut dire après 8 expériences. Le changement de DBO5 illustré dans la courbe (IV.83) représentait également une légère diminution de 22 mgO₂/l avant filtration à 12mgO₂/l dans la dernière expérience de filtration et à l'aide de l'extrapolation quand on augmente la hauteur du sable à 220cm elle doit être 11.7mgO₂/l. On remarque de la courbe (IV.86) que l'eau est encore trouble, car avant la filtration la valeur de turbidité était de 59.7 NTU et il est devenu après toutes les expériences 16.1 NTU, même si on augmente la hauteur du sable l'eau restera trouble avec une valeur de turbidité de 12.4NTU.

E. Scénario 05

Dans ce scénario, nous n'avons pas pu réaliser l'extrapolation car nous dépendions dans ce scénario d'une seule hauteur de sable.

E.1 Expérience 01

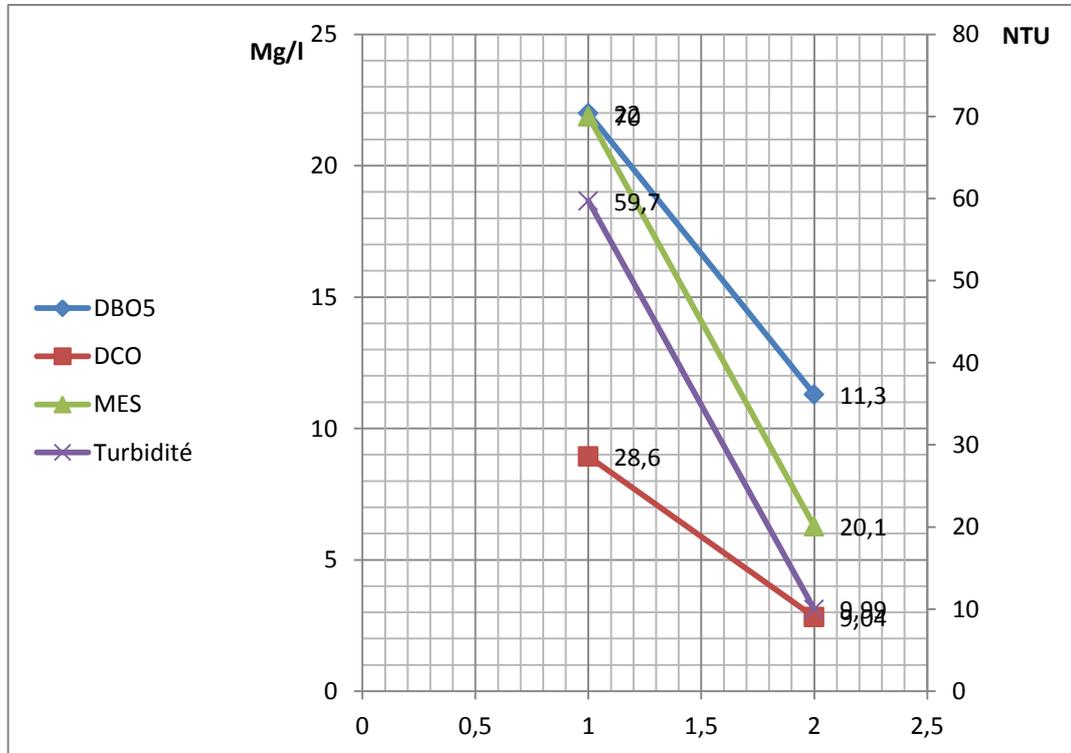


Figure IV.87 L'évolution de rendement épuratoire des eaux filtrées de 1ère expérience du cinquième scénario

Dans cette expérience, on note une diminution significative des changements des MES représentés par la courbe verte, où avant la filtration il était 70 mg/l pour devenir après 20.1mg/l. Nous avons également remarqué que la valeur du DCO, représentée en courbe rouge, était de 28.36mgO₂/l avant le filtre, pour devenir 9.04mgO₂/l après lui. La courbe en bleu représente les changements de DBO5, où l'on voit une diminution relative de 22 mgO₂/l avant la filtration à 11.03mgO₂/l après. La turbidité de l'eau ne peut pas dire qu'elle est idéale car elle a diminué à seulement 9.99NTU.

E.2 Expériences02

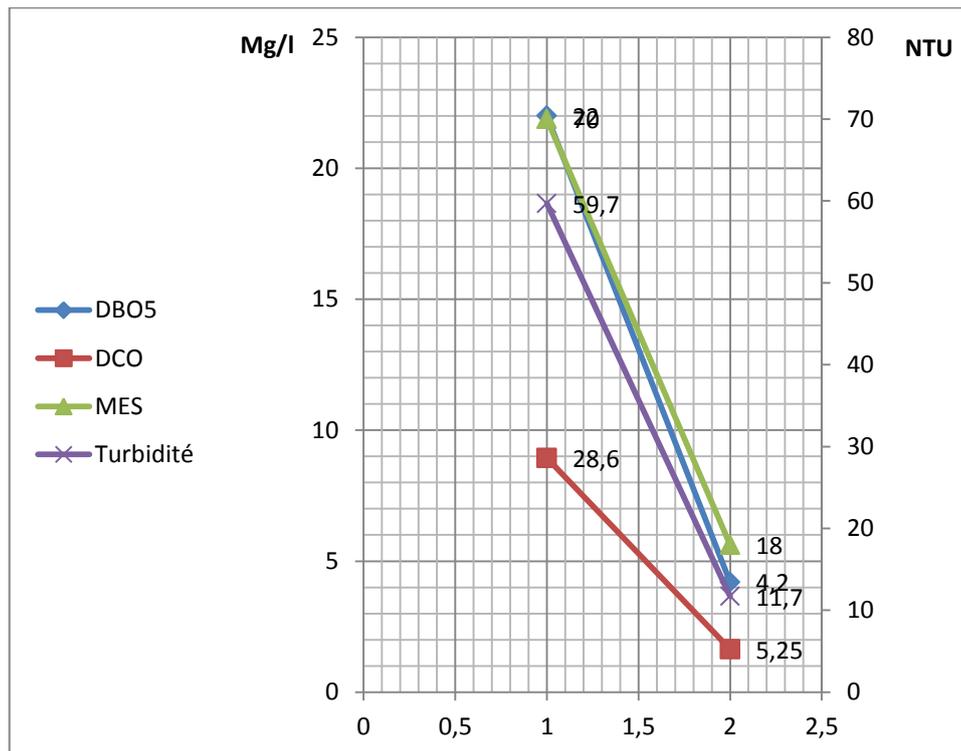


Figure IV.88 L'évolution de rendement épuratoire des eaux filtrées de 2ème expérience du cinquième scénario

La figure ci-dessus illustre les résultats de rendement épuratoire pour la deuxième expérience. La courbe en vert représente l'évolution des matières en suspension, qui est passée de 70mg/l avant le début de la filtration à 18mg/l après filtration. Le changement de DBO5 est représenté par la courbe bleue, qui était de 22mgO₂/l avant la filtration, 4.2mgO₂/l après. La courbe en rouge montre les changements de DCO, qui ont également diminué de 28.6mgO₂/l à 5.25 mgO₂/l après la filtration. La valeur de la turbidité de l'eau a également diminué de 59.7NTU à 11.7NTU.

E.3 Expériences03

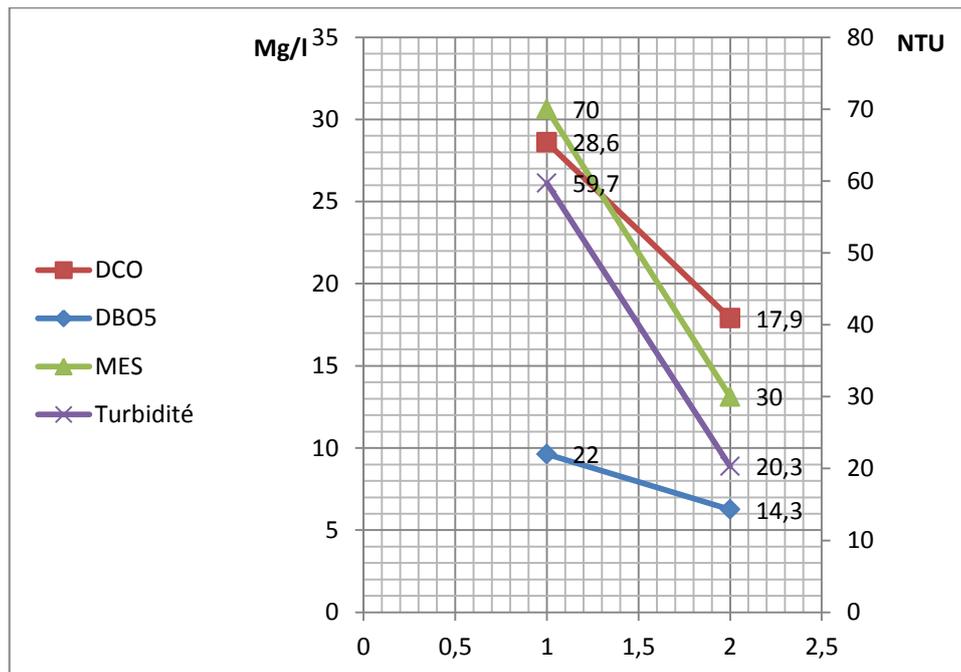


Figure IV.89 L'évolution de rendement épuratoire des eaux filtré de 3éme expérience du cinquième scénario

Les changements du rendement épuratoire pour la troisième expérience sont indiqués dans la courbe (IV.89). Où l'on remarque une légère diminution de la quantité de DBO5 de 22 mgO₂/l à 14.3mgO₂/l, représentée dans la courbe bleue. Et le changement des MES de 70 mg/l à 30mg/l dans la courbe verte. Tandis que la courbe rouge représente les changements de DCO qui étaient de 28.6mgO₂/l avant la filtration pour devenir à la fin de l'expérience 17.9mgO₂/l.

La courbe violette correspond à la variation de turbidité. Elle présente une hausse de la turbidité par rapport au deux premier expérience. Ceci explique que la filtration pour la 3éme expérience produit une eau plus turbide.

E.4 Expériences04

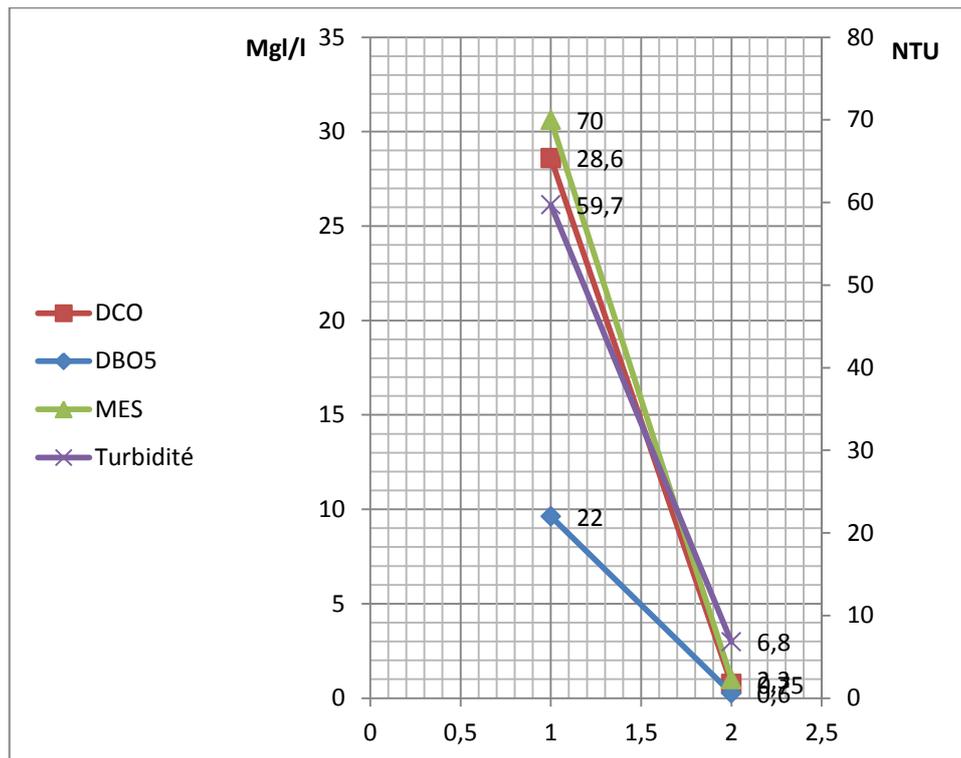


Figure IV.90 L'évolution de rendement épuratoire des eaux filtré de 4éme expérience du cinquième scénario

Dans la dernière expérience, l'efficacité de rendement épuratoire était très élevée, car la DBO5 a diminué de 22 mgO₂/l à 0.6 mgO₂/l. Et les MES représentées dans la courbe verte ont diminué de 70 mg/l à 2.3 mg/l. De plus, la DCO a diminué de 28.6 mgO₂/l à 0.75 mgO₂/l, comme le montre la courbe rouge. La turbidité de l'eau a également diminué de manière significative, à 6.8NTU, là où elle a été avant la filtration, 59.6NTU.

IV.3 Proposition

Nous avons adoptés sur la quantité d'eau épurée par la STEP, estimée à 200m³/j. Le nombre des filtres requis sont en fonction du débit de filtration et du dimensionnement du filtre choisit. Nous avons suggéré l'installation de 3 filtres en parallèle, ainsi l'installation d'une deuxième chaîne en série composée de 3 filtres pour assurer une bonne qualité de filtration. Dans le cas d'un débit plus grand, nous avons proposé d'aménager 2 filtres en parallèle chacun pour réponde aux besoins en eaux et une deuxième série composée de 2 autres filtres permettant l'amélioration de la qualité de l'eau produite.

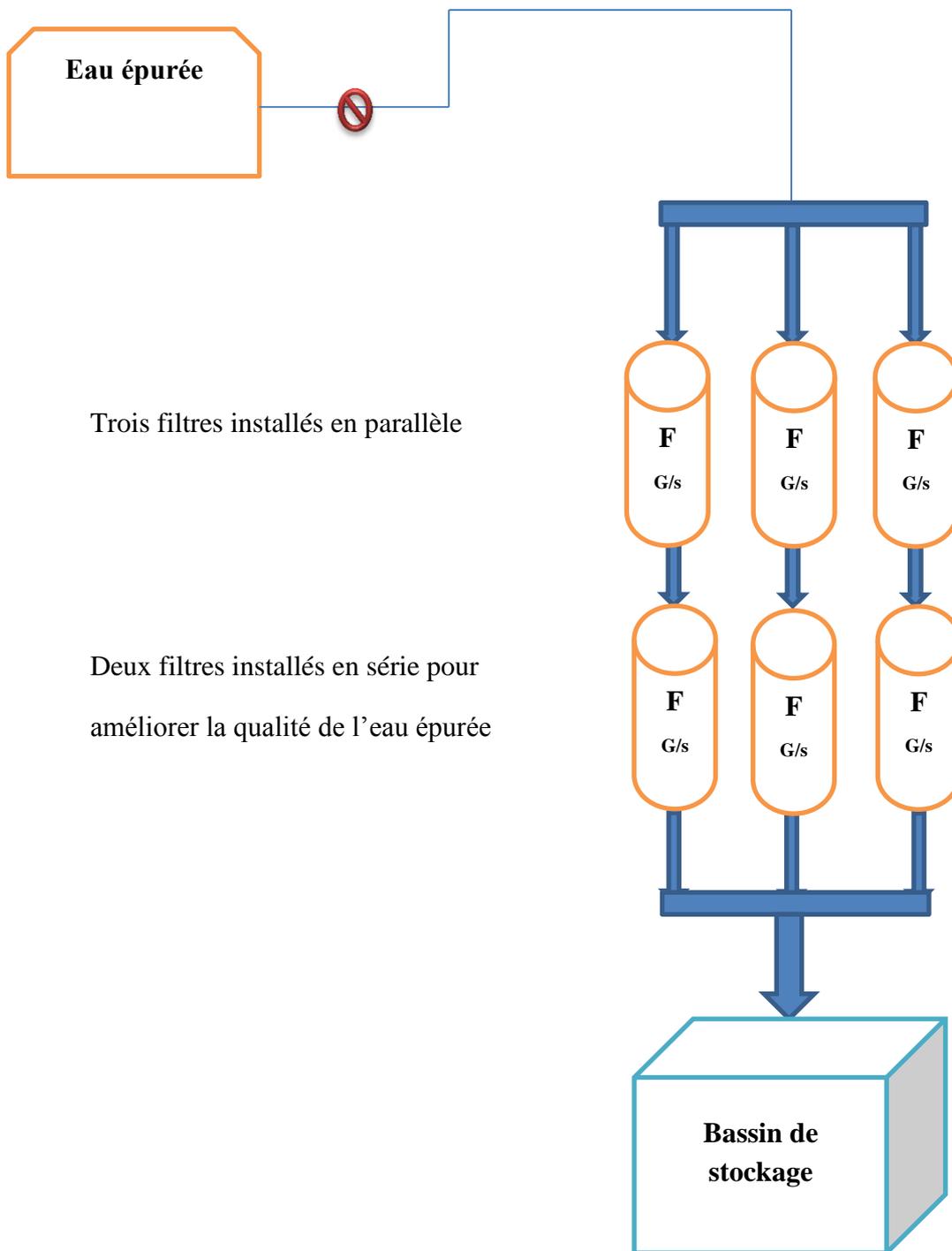


Figure IV.91 Schéma de la première solution proposée pour l'optimisation de la filtration

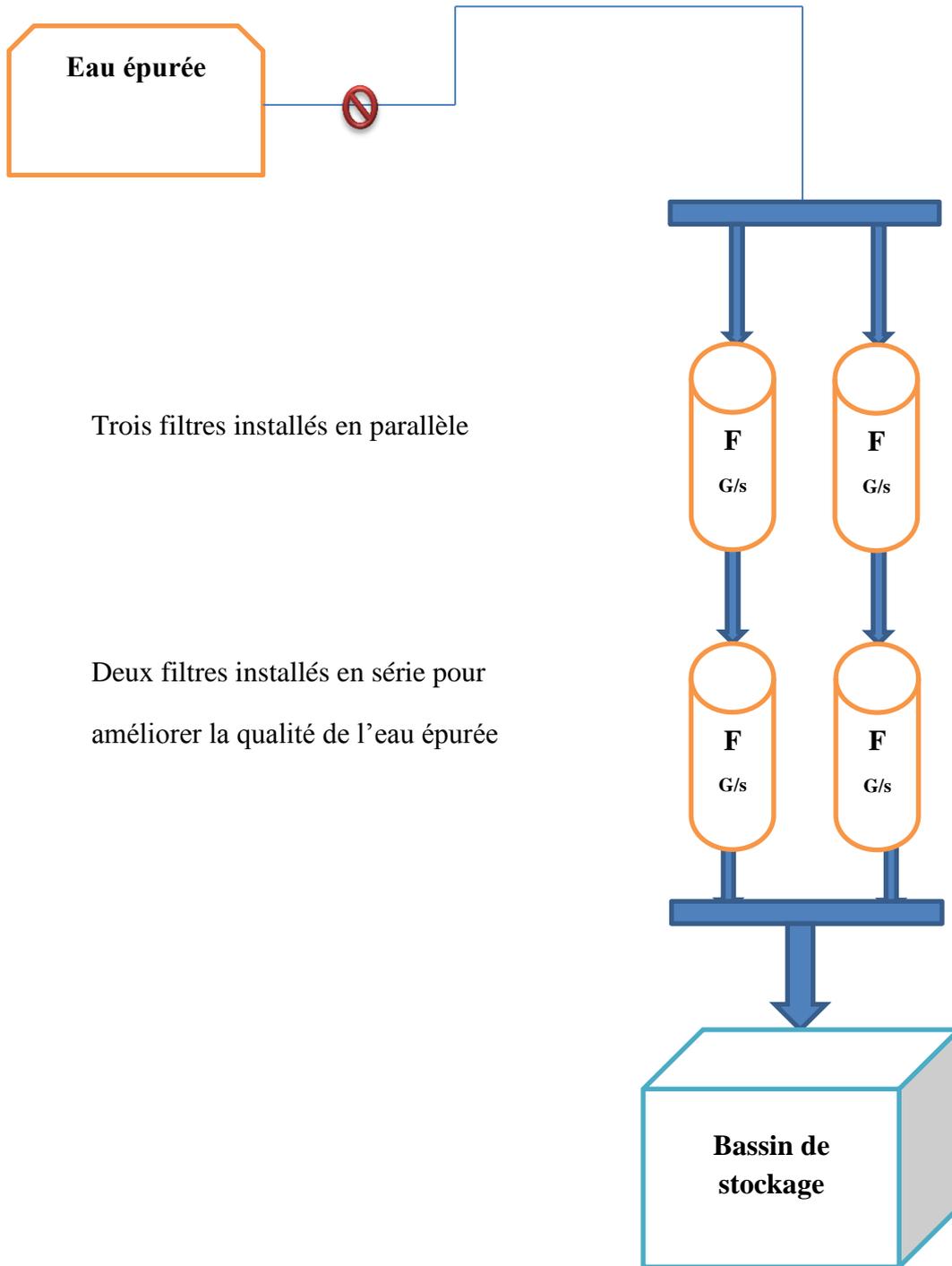


Figure IV.92 Schéma de la deuxième solution proposée pour l'optimisation de la filtration

Conclusion

Ces expériences nous ont permis de confirmer que la filtration est un procédé réussi pour augmenter la bonne qualité d'eau, ainsi elle a permis de choisir trois types de filtrations, chacune est caractérisée par une qualité de sable. Le sable qui convient à la filtration et donne des bons résultats est le sable de **Dune de Metlili**, car la filtration à l'aide de cet échantillon de sable a permis d'améliorer le rendement épuratoire de 87%. Aussi le sable de **Dune de Brizina** a permis d'améliorer le rendement épuratoire de 70%. Ainsi les solutions proposées sont l'utilisation des couches filtrantes des scénarios 2.3. Et la 4ème expérience du cinquième scénario.



Conclusion générale

Au cours de notre période de réalisation de cet mémoire, nous avons étudié le processus de filtration sur sable adopté pour le traitement des eaux épurée de la station d'épuration de **Kef-Edoukhan Ghardaïa**, dans l'objectif de produire une eau de bonne qualité conforme à la réutilisation. En se basant sur l'ensemble des missions effectuées dans ce projet, Nous avons constaté que :

- L'analyse granulométrique permettent de déceler des paramètres importants pour le choix des échantillons de sables les mieux adoptés au processus de filtration. En se basant sur le diamètre effectif, le coefficient d'uniformité et l'indice de classement nous avons pu retirer les différents comportements des échantillons de sable au cours de la filtration. Cette analyse montre que le sable de **dune de Mtelili** et de **dune de Brizina** sont de bonne qualité pour la filtration.
- Les essais au laboratoire constituent le contrôle de l'efficacité des colonnes filtrantes proposées.
- La proposition d'optimisation d'un filtre à sable à l'aval de la STEP **Kef-Edoukhan** est réussite et peut réduire les paramètres de pollution.
- Les scénarios 1, 4 et les 3 premières expériences du 5ème scénario sont éliminés, vu qu'ils produisent une médiocre qualité d'eau filtrée.
- les scénarios 2 et 3 présentent une bonne qualité de filtration. Parce que l'eau traitée a montré une diminution significative des paramètres de pollution.
- L'adoption de plusieurs types de sable dans un ordre approprié permet de donner la meilleure filtration possible. C'est ce que nous avons représenté dans la dernière expérience du cinquième scénario.

La possibilité de la réutilisation des eaux épurées sont multiples. Elles dépendent de nombreux facteurs que l'on peut regrouper en cinq classes:

- Le contexte socio-économique: le type d'activité industrielle, le nombre et la densité de l'habitat, l'importance de l'agriculture, la présence d'usines de production d'énergie, etc.
- Le contexte écologique: la quantité des ressources disponibles, la qualité des eaux de surface et des eaux souterraines, la sensibilité du milieu récepteur à l'eutrophisation et aux autres pollutions, le contexte hydro-géographique, etc.
- Le niveau de traitement des eaux: à chaque niveau de traitement, on peut appliquer un usage différent.

- La réglementation: elle limite les usages en fonction de la qualité de l'eau utilisée et donc de son niveau de traitement. Plus le niveau sanitaire est bon, plus les applications autorisées seront nombreuses.
- L'acceptation par la population: ce dernier aspect n'est pas à négliger. L'idée de réutiliser des eaux usées peut avoir un impact psychologique négatif sur la population. On peut faire le parallèle avec le problème des boues de stations d'épuration, qui crispe actuellement l'opinion. Il faut donc bien informer la population des risques et des avantages de la réutilisation des eaux épurées.

Dans notre étude nous avons proposé qu'on puisse réutiliser les eaux épurées produite par la station d'épuration après un traitement de finition (filtration lente, mais pratiquement la réalisation d'un projet de REUE nécessite une étude détaillée prenant en compte tous les risques sanitaires liés à la réutilisation.

Au terme de conclusion, nous souhaitons que cette étude apportera une base de données pour approfondir les recherches dans ce sujet, et ouvre des nouvelles perspectives de recherches pour d'autres proposition avec d'autre procédé de traitement de finition pour les eaux épurées, et servira comme un guide consistant pour des futures travaux de recherche.



Bibliographie

Bibliographie

- **Alain Botta - Laurence Bellon.** "Pollution de l'eau et santé humaine". Laboratoire de biogénotoxicologie et mutagenèse environnementale. Université Euro Méditerranée Tehys. 2001.
- **Amir. S.** "contribution à la valorisation de boue de station d'épuration par compostage". thèse de doctorat à l'institut polytechnique Toulouz. 2005.
- **Aoulmi Sofiane.** "Conception de la station d'épuration dans la ville d'Eddine (W. Ain Defla)". thèse de l'école nationale supérieure de l'hydraulique. 2007.
- **Castany G.** "Principes et méthodes de l'hydrogéologie". Edition Bordas. Paris. 1982.
- **Centre d'information sur l'eau. 2013.**
- **Cherki F - Hesses H.** "étude de l'abattement de la charge polluante azotée en station d'épuration à boues activées ". mémoire pour l'obtention de diplôme de DEUA. Option traitement et épuration de l'eau. département hydraulique université Tlemcen.
- **Colomb R.** "Hydraulique urbaine". Edition Eyrolles. Paris. 1989.
- **De Marsily G.** "Hydrogéologie : comprendre et estimer les écoulements souterrains et le transport des polluants". Edition Ecole de mines de Paris. 1994.
- **Dégremont.** "Mémento technique de l'eau". Edition de cinquanteaire. 1989.
- **Desjardins Raymands.** "Traitement des eaux". deuxième édition. Montréal. Canda. 1997.
- **Djedidi N.** "Propriété physiques des sols et pouvoir colmatant des eaux usées en fonction de leur degré de traitement". Cah. ORSTOM. Sér. Pédo. vol XXVI. 1991. P3-10.
- **DPSB (DIRECTION DE PLANIFICATION ET DE SUIVIE DE BUDGET).**
- **Duguet J-P - Bernazeau F - Cleret D - Gaid A - Laplanche A - Moles J - Monteil A - Riou G - Simon P.** "Réglementation et traitement des eaux destinées à la consommation humaine". 1 ère édition. ASTEE (Association Scientifique et Technique pour L'environnement). 2006.
- **Elaggoune Abdelghani - Grini Abdelaali,** "Optimisation De La Filtration Sur Sable : Cas De La Station De Traitement De l'Eau Potable De Hammam Debagh Guelma", Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de Master en Hydraulique, Option: Hydraulique Et Techniques Des Eaux, Université 08 Mai 1945 Guelma, Juin 2016

Bibliographie

- **Faiza Mekhalif.** "Réutilisation des eaux résiduaires industrielles épurées comme eau d'appoint dans un circuit de refroidissement". 2009.
- **Feray C.** " Nitrification en sédiment d'eau douce : incidence de rejets de station d'épuration sur la dynamique de communautés nitrifiantes ". Thèse de doctorat sciences naturelles. Écologie microbienne. Université Claude Bernard-Lyon. Lyon. France. 2000. 204 p.
- **Franck R.** "Analyse des eaux, Aspects réglementaires et techniques". Edition Scérén CRDP AQUITAINE. Bordeaux. 2002. P165-239.
- **Gaid A.** "Épuration biologique des eaux usées urbaines". tome 1. édition OPU. Alger. 1984.
- **Gérard Calvat.** " les réseaux et l'assainissement".24 septembre 2009.
- **Gougoussis C.** "Assainissement individuel et aptitude des sols à l'élimination et à l'épuration des effluents domestiques". Edition Institut national polytechnique de Lorraine. 1979.
- **Gros Claude G.** "L'eau usage et pollution" (tome 2). Institut National de la Recherche Agronomique. 1999.
- **Guide Technique de l'assainissement 2eme édition.**
- **HadjouBelaid Z.** "Contribution à l'étude des dysfonctionnements relevés dans une station d'épuration, étude du cas : STEP d'Ain El Houtz ". Mémoire de Master en Hydraulique. Université Abou-Bakr Belkaid de Tlemcen. 2013.
- **Josep P.** "station d'épuration : dispositions constructives pour améliorer leur fonctionnement et faciliter leur exploitation".2002.
- **K. Miller.** Nov 19903 "US Water Reuse: current status and future trends"3 Wat. Env. Technology.
- **Kendoussi Mouhamed Amin,** "Étude De Risque De Pollution Des Eaux Souterraines De La Ville De Béchar Et Valorisation Du Sable En Vue De Son Utilisation En Traitement Des Eaux Usées", Thèse en vue de l'obtention du diplôme de Doctorat en Science, Université Des Sciences Et De La Technologies d'Oran – Mouhamed Boudiaf', 2017-2018.
- **Khattabi.** "Evaluation de l'impact des lixiviats d'une décharge d'ordures ménagères sur la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux d'un ruisseau de Franche-Comté". Edition Bordas. Paris. 2002.

Bibliographie

- **Kouidri Nee Belala Zohra**, " Etude Et Traitement De L'eau Du Barrage Djorf-EITorba De La Wilaya De Béchar Par Filtration Sur Sable", Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de Magister en Hydraulique, Option: Eau Et Environnement, Université Hassiba Ben Bouali, Chlef, Février 2006.
- **Lagardette J.** "l'eau potable et l'assainissement". édition Johanat. 2004-2005.
- **Maet B – Aamy Z.** "les eaux usées urbaines règlementation des rejets urbaines traitement de définition par géo-épuration".1990.
- **Mizi A.** "Traitement des eaux de rejets d'une raffinerie des corps gras région de BEJAIA et valorisation des déchets oléicoles". Thèse de doctorat. Université de Badji Mokhtar. Annaba. 2006.
- **Musy A - Soutter M.** "Physique du sol, Presse polytechnique et universitaires romandes".1991.
- **Notice d'exploitation de la STEP de Zemmori.**
- **Nur M.** Optimization of slow sand filtration. 22nd WEDC Conference Reaching the Unreached. Challenges For 21st Century. New Delh., India. 1996.
- **P. Renaud.** Sept.1997 "Wastewater reuse ". "International Report - 21st World Congress". Madrid. Espagne.
- **Pierre J - Lienard A - Hedit A - P Duchene.** "Traitement de l'azote dans les stations d'épuration biologique des petites collectivités". Document technique. 1990.
- **Rejsek F.** "Analyse des eaux aspects réglementaires et techniques". Edition Centre régional de documentation pédagogique d'aquitaine France. 2002.
- **Richarde C.** "les eaux; les bactéries, les hommes et les animaux" Edition Elsevier. Paris. 1996. P138.
- **Rodgers M.** 2004. "Surface clogging in an intermittent stratified sand filter Soil". Sci. Soc. Am. 1827-1832. P 68
- **Rodier J.** "analyse de l'eau". Edition Doin. 1996.
- **Rodier J.** "L'analyse de l'eau naturelle, eaux résiduaires, eaux de mer". 8ème Edition. DUNOD technique. Paris. 2005. P 1008-1043.
- **Saggai M M.** "Contribution à l'étude d'un System d'épuration à plantes macrophytes pour les eaux usées de la ville de Ouargla". Mémoire Magister. Univ d'Ouargla. 2004. 64p.

Bibliographie

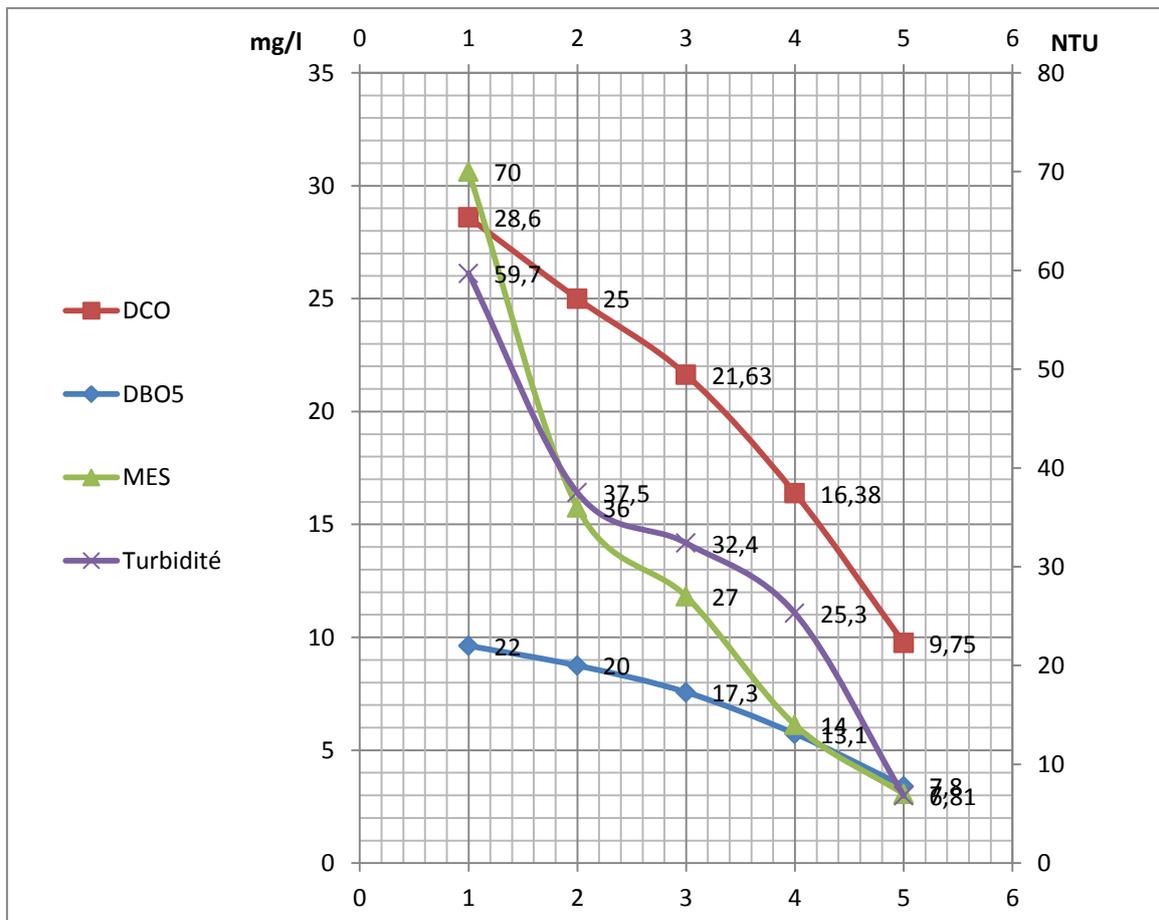
- **Satin M. - Selmi B.** "Guide technique de l'assainissement". Edition le Moniteur Paris. 1999.
- **Sebih Wahiba**, "Prétraitement des eaux moyennement saumâtre par filtration sur sable et filtration sur support", Mémoire en vue de l'obtention du diplôme du Master en Hydraulique, Option: Technologie De Traitement Des Eaux, Université Abou Bker Belkaid, Tlemcen, Octobre 2013.
- **Site internet.** www.technique-science.net "boue activée définition et exploitation".
- **Station d'épuration des eaux usées. Ghardaïa.** 2013.
- **Station météorologique. Ghardaïa.** 2019.
- **Suschka J - Ferreira E.** "Activated sludge respirometric measurements". Water research. 1986. P137-144.
- **Telli Sidi Mohamed.** "Etude sur la valorisation par séchage solaire Des boues d'épuration des Eaux urbaines –cas de la station d'Office Nationale d'Assainissement (ONA)-Tlemcen". Mémoire Master Génie Energétique. université de Tlemcen. 2013.
- **V. Lazarova.** Mai 1998. " La réutilisation des eaux usées : un enjeu de l'an 2000". " L'eau, l'industrie, les nuisances ". CIRSEE - Lyonnaise des Eaux) et al n°212. pp.39-46.
- **Vaillant J R.** "Perfectionnement et nouveautés pour l'épuration des eaux résiduaires: eaux usées urbaines et eaux résiduaires industrielles. Edition Eyrolles. Paris. 1974.
- **Yahlatene S - Tahirim El Tladj.** " Réflexion sur la caractérisation physicochimique, des effluents Liquides rejetés dans la grande sebkha d'Oran ". mémoire d'ingénieur. université des sciences et de la technologie d'Oran. 2011.
- **Ymina Gherairi**, "Contribution à l'étude de l'efficacité de la filtration biologique sur sables de dunes", Mémoire en vue de l'obtention de Magister en Hydraulique, Option: Aménagement Hydraulique En Zone Aride Université Kasdi Merbah, Ouargle, Février 2008.
- **Zouggari Kahina - Guennoun Noura**, "Conception D'un Montage De Filtration Sur Sable Appliqué Au Traitement Des Eaux Potables", Mémoire en vue de l'obtention du diplôme de Master en Génie de Procédé, Option: Sciences Et Génie De L'environnement, Université Akli, Mouhand Oulhadj, Bouira, Septembre 2016.



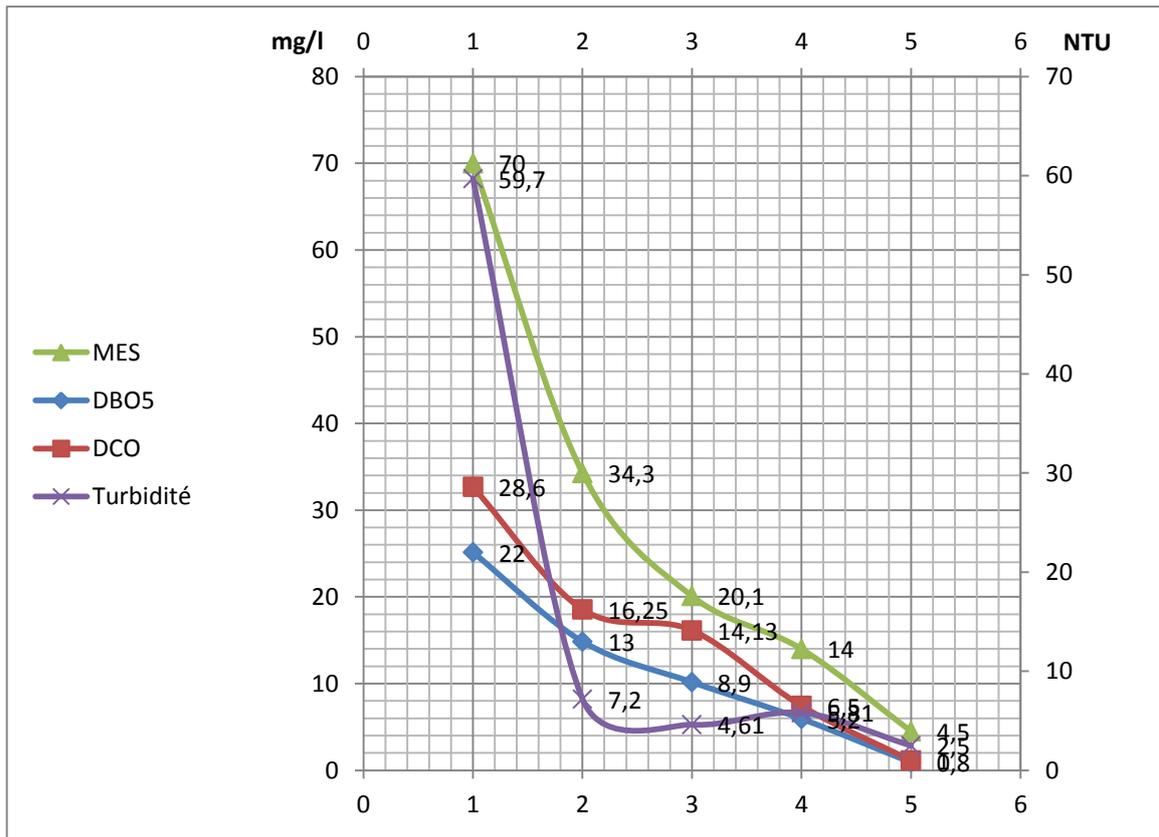
Annexe



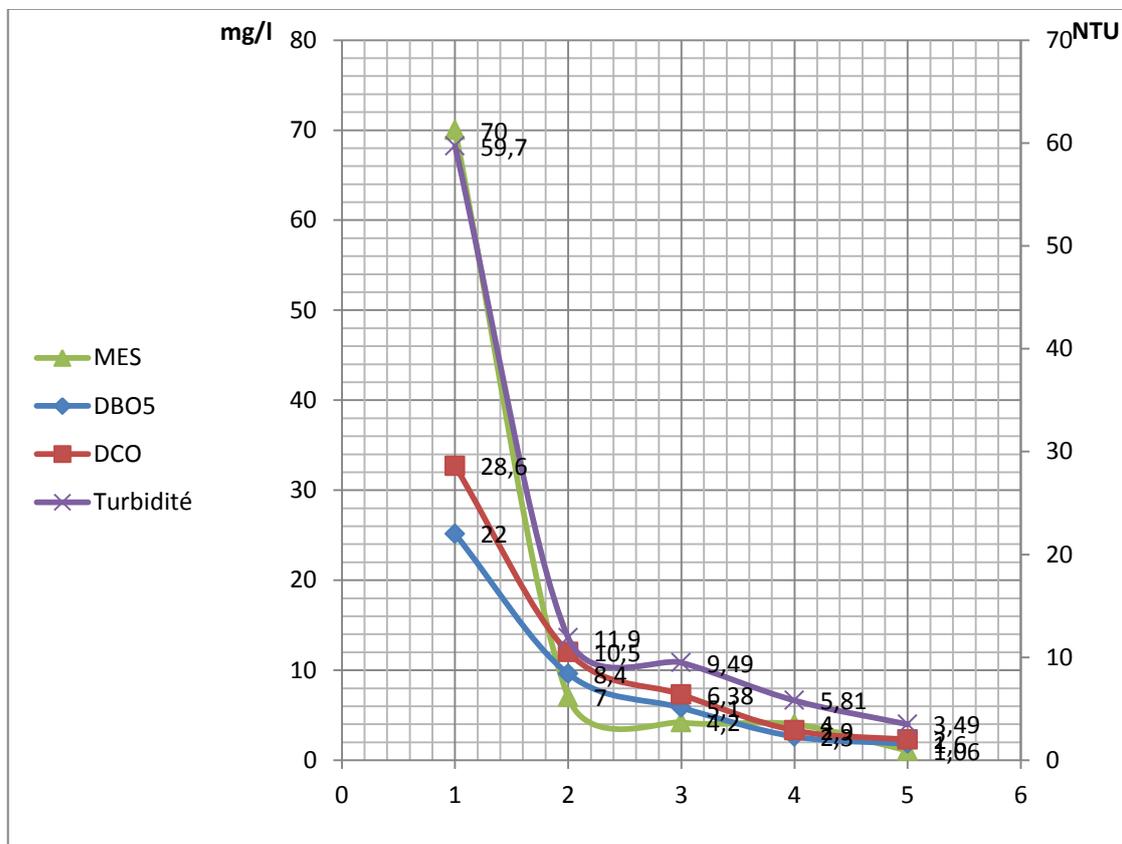
Position des lagunes de STEP Kef-Edoukhane Ghardaia



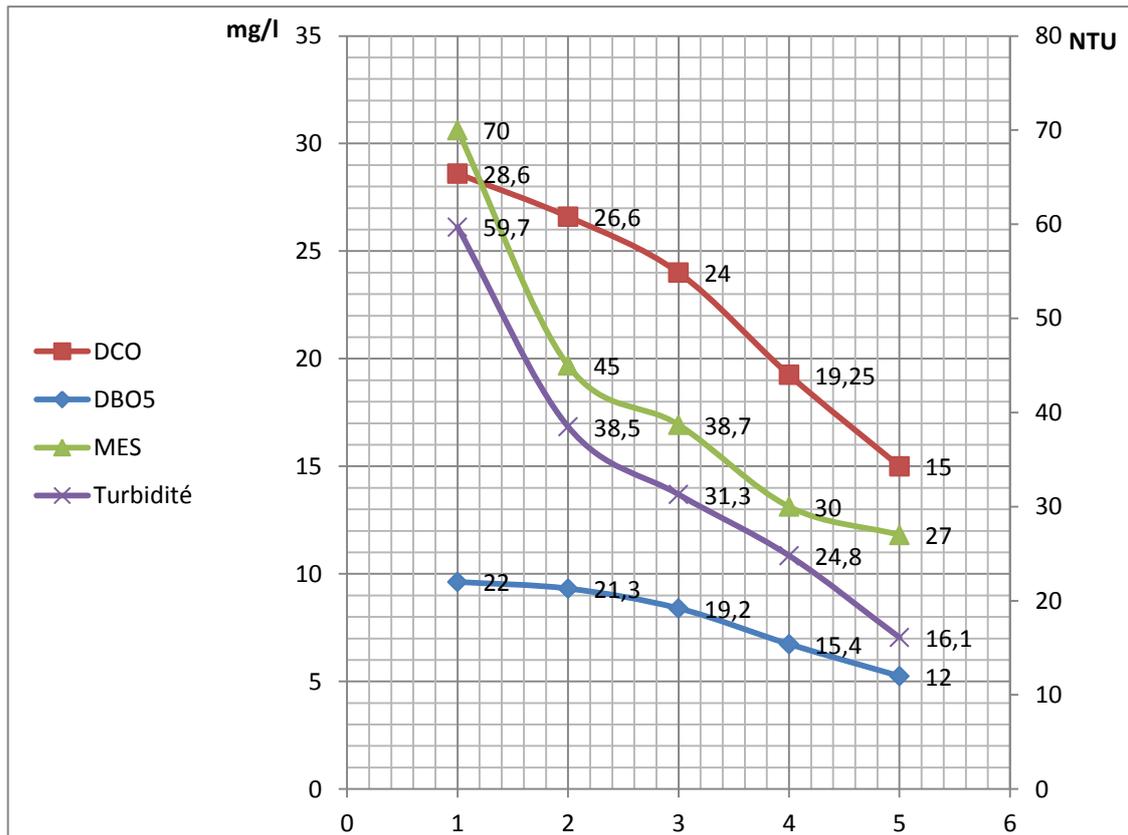
L'évolution de rendement épuratoire des eaux filtré du premier scénario



L'évolution de rendement épuratoire des eaux filtré du deuxième scénario



L'évolution de rendement épuratoire des eaux filtré du troisième scénario



L'évolution de rendement épuratoire des eaux filtré du quatrième scénario