

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Saâd Dahlab de Blida
Faculté de Technologie
Département de Chimie Industrielle



Mémoire

Présenté en vue de l'Obtention du Diplôme de

MASTER

en Génie des Procédés

Option : PTEPE

Ahmed BOUAROUA

THEME

Diagnostic de fonctionnement de la station d'épuration de la base de vie de SONATRACH de Haoud Berkaoui et essai d'amélioration du rendement épuratoire par filtration sur sable local pour la réutilisation.



Devant le Jury :

Président	Mr. BOUZIDE B.	Professeur	(U.S.D.B)
Encadreur	Mr. GHERNAOUT D.	Maître de conférences A	(U.S.D.B)
Examineur	Mr. CHEKNANE B.	Maître de conférences B	(U.S.D.B)
Examinatrice	Mme. LARIBI H.	Maître-assistante A	(U.S.D.B)

Blida, 2013

قال الله تعالى:

((وَجَعَلْنَا مِنَ الْمَاءِ كُلَّ شَيْءٍ حَيٍّ أَفَلَا يُؤْمِنُونَ))

Nous avons fait de l'eau toute chose vivante. Ne croiront-ils donc pas ?

ملخص

الهدف من هذه الدراسة، أولاً تشخيص تشغيل محطة معالجة مياه الصرف للقاعدة السكنية لسوناطراك المنتجة بمنطقة حوض بركاوي بمراقبة خصائص التلوث الفيزيائية و الكيميائية و الميكروبيولوجي لمحطة معالجة مياه الصرف . ثانياً محاولة تحسين نوعية المياه الخالية من الكلور لترشيحها بواسطة رمال محلية، للسعي إلى تحسين مردود عمل المحطة. النتائج المتحصل عليها هي إزالة معدل 99,5٪ من المواد الصلبة العالقة، معدل الحد من الطلب على الأكسجين الكيميائي والطلب على الأكسجين البيولوجي لمدة 5 أيام هي على التوالي 92,38٪ و 98,14٪. و بمقارنة نتائجنا مع معايير المنظمة العالمية للصحة، يمكن النظر في إمكانية استعمالها في الزراعة.

كلمات البحث: محطة معالجة مياه الصرف ، الترشيح، الرمال، الطلب على الأكسجين البيولوجي لمدة 5 أيام، الطلب على الأكسجين الكيميائي، مياه الصرف الصحي.

Abstract

The purpose of this study is to do, on the one hand, the diagnosis of the operation of the STEP at the live basis at Haoud Berkaoui (HBK) of SONATRACH by controlling the parameters of the physicochemical and microbiological pollution in the STEP. On the other hand, the improving test of the quality of not chlorinated effluent using sand filtration in the local region aims to improve the treatment efficiency of the STEP. The results obtained are a removal rate of 99.5% of MES, the rate of reduction of COD and BOD₅ are 92.38% and 98.14%, respectively. In comparing our results with the WHO standards, it is possible to reuse the treated wastewater using sand filtration in agriculture.

Keywords: STEP, filtration, sand, COD, BOD₅, wastewater.

Résumé

Le but de cette étude est de faire, d'une part, le diagnostic du fonctionnement de la STEP de la base de vie de SONATRACH de Haoud Berkaoui (HBK) en contrôlant les paramètres de la pollution physicochimique et microbiologique à la STEP. D'autre part, l'essai d'amélioration de la qualité des effluents non chlorés par filtration sur sable local de la région vise l'amélioration du rendement épuratoire de la STEP. Les résultats obtenus sont, les MES avec un taux d'élimination de 99,5% et la DCO et la DBO₅ avec un taux d'abattement respectivement de 92,38% et 98,14%. En comparant nos résultats avec les normes de l'OMS, il s'avère possible de réutiliser les eaux traitées avec la filtration sur sable dans le domaine agricole.

Mots clés : STEP, filtration, sable, DBO₅, DCO, eau usée.

REMERCIEMENTS

En premier lieu, nous tenons à remercier notre DIEU, notre Créateur pour nous Avoir Donné la force pour accomplir ce travail.

Ce travail a été réalisé au Laboratoire du Service de Traitement Corrosion, ainsi que sur la Station d'Épuration (STEP) des eaux usées, au sein de la Direction Régionale Haoud Berkaoui (HBK). Je remercie Monsieur LASSAKEUR S., le Directeur Régional par intérim de la SH-DP-HBK pour son accueil et son appui.

J'exprime ma profonde reconnaissance à Monsieur GHERNAOUT D., Maître de Conférences A, au Département de Chimie Industrielle à l'Université Saad Dahlab de Blida, et Madame BENKARA MOSTEFA L., Ingénieur du Labo de Traitement Corrosion, pour la confiance qu'ils m'ont témoignée en dirigeant ce travail, pour leur grand optimisme, ainsi que pour leurs larges connaissances. Je les remercie également pour leur grande disponibilité, leur immense patience et leurs précieux conseils.

Mes sincères remerciements s'adressent à Monsieur le Professeur BOUZID B., Responsable du Master PTEPE au même Département, pour le partage de son grand savoir et pour sa précieuse compréhension, ses remarquables compétences, et ses pertinentes remarques qui nous ont été précieuses, moi et mes camarades de cette promotion.

Nos remerciements et reconnaissances vont à tous les Enseignants du même Département pour leur grand savoir qu'ils nous ont transmis durant notre

formation et aux honorables Membres du Jury qui ont bien voulu accepté de juger notre travail.

Mes remerciements vont aussi aux Messieurs REDHA, AZZEDDINE, et HOSNI pour leurs précieuses aides, ainsi qu'à tous les autres membres du Laboratoire pour leur contribution directe ou indirecte. Je remercie également Messieurs FAROUK et AISSA et toute l'équipe de la STEP-HBK pour le partage de leur savoir en matière de gestion des pilotes des stations d'épuration et d'analyses.

Une partie de ce travail s'est déroulée au sein des Laboratoires : L'ADE, le C.A.C.Q.E (Centre Algérien du Contrôle de la Qualité et l'Emballage), et le L.T.P.S (Laboratoire des Travaux Publics du Sud) de Ghardaïa. Je tiens donc à remercier l'ensemble du personnel de ces Laboratoires.

Un remerciement spécial pour MOUH le chauffeur pour sa disponibilité et sa grande patience.

Nos derniers remerciements, et ce ne sont pas les moindres, vont à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'aboutissement de ce travail.

Dédicace

À vous que je ne pourrais assez exprimer mon éternel amour, respect et gratitude. Pour votre amour, vos sacrifices, votre patience et votre tendresse. Je vous dédie ce modeste travail en signe de remerciement pour votre aide précieuse, conseils et encouragements.

À mes très chers parents,

Que Dieu Le Tout Puissant vous garde pour nous.

À mes très chers frères

À mes très chères sœurs

À mon oncle Ami Aissa, et à mon cousin Toutou

À Meriem et sa chère famille

À mes très chers amis et camarades avec lesquels j'ai passé des moments inoubliables

Ayoube, Yacine, Bahmed, Hammou, Karim, et les autres.

« À toute la Promotion 2012/2013 »

Sommaire

Introduction	1
---------------------------	---

CHAPITRE 1 Description de la région de Haoud Berkaoui (HBK)

1.1 Situation géographique.....	4
1.2 Haoud Berkaoui (HBK).....	4
1.3 Champ de Benkahla (BKH).....	5
1.4 Champ de Guellala (GLA).....	5
1.5 Périphérie.....	6
1.6 Historique.....	6
1.7 Développement de la région	7
1.8 Protection de l'environnement.....	8
1.9 Données climatiques.....	8
1.9.1 Température.....	8
1.9.2 Humidité relative.....	8
1.9.3 Vent.....	8
1.9.4 Altitude.....	8

CHAPITRE 2 Station d'épuration des eaux usées de Haoud Berkaoui (HBK)

2.1 Introduction.....	11
2.2 Principe de l'épuration	11
2.3 Filière de traitement.....	12
2.3.1 Arrivée des eaux brutes.....	13
2.3.2 Dégrillage.....	13
2.3.3 Dessablage-Déshuilage.....	14
2.3.4 Traitement biologique.....	15
a) Bassin d'aération.....	15
b) Bassin de clarification (décantation secondaire).....	17
c) Poste de recirculation et d'extraction des boues.....	18
2.3.5 Désinfection des eaux.....	19
2.3.6 Epaissement des boues	20
2.3.7 Lits de séchage.....	21

CHAPITRE 3 Réutilisation des eaux usées

3.1 Historique de l'utilisation des eaux usées.....	23
3.2 Objectifs de la réutilisation des eaux usées.....	24
3.3 Domaines de la réutilisation.....	24
3.4 Réutilisation domestique et municipale.....	25
3.5 Réutilisation industrielle.....	25
3.6 Réutilisation en agriculture.....	26
3.6.1 Réutilisation des eaux usées dans la stratégie de développement de l'irrigation.....	26
3.6.2 Risques liés à l'utilisation des eaux usées pour l'irrigation.....	27
3.6.3 Risques liés à la réutilisation agricole des eaux épurées.....	28
a) Risque microbiologique.....	28
b) Risque chimique.....	28
c) Risque environnemental.....	29
d) Risques sanitaires.....	29
3.7 Avantages de la réutilisation.....	29
3.8 Aspects économiques.....	30
3.9 Précautions à prendre et mesures d'accompagnement.....	30

CHAPITRE 4 Matériels et méthodes

4.1 Paramètres physico-chimiques.....	32
4.1.1 Mesure du pH par méthode électrométrique.....	32
4.1.2 Détermination de la turbidité par diffractométrie.....	33
4.1.3 Détermination des matières en suspension (MES).....	35
4.1.4 Détermination du volume des boues (V_B).....	36
4.2 Paramètres indicateurs de pollutions.....	37
4.2.1 Détermination des nitrates par colorimétrie.....	37
4.2.2 Détermination des nitrites par colorimétrie.....	39
4.2.3 Détermination de l'azote ammoniacal par colorimétrie.....	40
4.2.4 Détermination du phosphore par colorimétrie.....	43
4.2.5 Demande chimique en oxygène (DCO).....	46
4.2.6 Demande biochimique en oxygène (DBO_5).....	48

4.3 Essai de filtration de l'eau épurée sur sable de la région de HBK.....	51
a) Principe.....	51
b) Préparation du sable de filtration.....	51
c) Dispositif de filtration.....	52

CHAPITRE 5 Résultats et discussions

Entrée.....	
5.1 Suivi du pH de l'eau usée.....	58
5.2 Matières en suspension (MES).....	58
5.3 Turbidité.....	59
5.4 Demande chimique en oxygène (DCO).....	59
5.5 Demande biochimique en oxygène (DBO ₅).....	60
Aération.....	
5.6 Suivi du pH de l'eau usée.....	61
5.7 Matières en suspensions (MES).....	61
5.8 Volume de boue V_B	62
5.9 Oxygène dissous.....	62
5.10 Température.....	63
Recirculation.....	
5.11 Suivi du pH de l'eau usée.....	64
5.12 Matières en suspensions (MES).....	64
5.13 Volume de boue V_B	65
Sortie.....	
5.14 Suivi du pH de l'eau usée.....	66
5.15 Matières en suspensions (MES).....	66
5.16 Turbidité.....	67
5.17 Demande chimique en oxygène DCO.....	68
5.18 Demande biologique en oxygène DBO ₅	68
5.19 Nitrites NO ₂ ⁻	69
5.20 Nitrates NO ₃ ⁻	69
5.21 Azote ammoniacal N-NH ₄	70
5.22 Phosphore PO ₄ ³⁻	71
5.23 Détermination du rapport de la biodégradabilité DCO/DBO_5	72
5.24 Rendement instantané de la STEP.....	73

5.25 Résultats d'analyses physico-chimiques.....	74
5.26 Résultats de filtration sur sable.....	75
a) Potentiel hydrique pH.....	75
b) Matières en suspensions MES.....	75
c) Turbidité.....	76
d) Coliformes totaux.....	76
e) Coliformes fécaux.....	77
f) Streptocoques fécaux.....	77
g) Clostridium sulfito-réductrices.....	78
h) Rendement instantané de filtre à sable.....	78
i) Résultats d'analyses physicochimiques et bactériologiques.....	79
j) Comparaison entre les analyses de la STEP et filtration sur sable.....	80
Conclusion et recommandation.....	82

Bibliographie

Annexe

Liste des Figures

Figure 1.1	Situation géographique de HBK.....	5
Figure 2.1	Station d'épuration des eaux usées.....	13
Figure 2.2	Dégrilleur.....	14
Figure 2.3	Extraction des huiles.....	15
Figure 2.4	Schéma du bassin d'aération.....	16
Figure 2.5	Bassin d'aération.....	16
Figure 2.6	Schéma du décanteur secondaire.....	17
Figure 2.7	Bassin de clarification.....	17
Figure 2.8	Fosse de recirculation des boues.....	18
Figure 2.9	Bassin de chloration.....	19
Figure 2.10	Stockage de l'hypochlorite de sodium.....	20
Figure 2.11	Epaississeur.....	21
Figure 2.12	Lits de séchage.....	21
Figure 4.1	pH-mètre.....	33
Figure 4.2	Dispositif de filtration sous vide.....	36
Figure 4.3	Cônes.....	37
Figure 4.4	Détermination des nitrates par colorimétrie.....	39
Figure 4.5	Détermination nitrites des par colorimétrie.....	40
Figure 4.6	Détermination de l'azote ammoniacal par colorimétrie.....	42
Figure 4.7	Liste de programmes du spectrophotomètre DR/2000.....	43
Figure 4.8	Spectrophotomètre DR/2000.....	43
Figure 4.9	Détermination du phosphore par colorimétrie.....	44
Figure 4.10	Colorimètre DR/850.....	45
Figure 4.11	Tube de réactifs pour la DCO.....	47
Figure 4.12	Bloc chauffant.....	47

Figure 4.13 Dispositif de la mesure de la DBO_5	49
Figure 4.14 Les différentes couches de sable local de filtre.....	53
Figure 4.15 Dispositif expérimental de la filtration sur sable.....	54
Figure 4.16 Changement de l'aspect physique après la filtration sur sable.....	55
Figure 5.1 Variation du pH des EU de l'entrée de la STEP-HBK.....	58
Figure 5.2 Variation des MES des EU de l'entrée de la STEP de HBK.....	58
Figure 5.3 Variation de la turbidité des EU de l'entrée de la STEP-HBK.....	59
Figure 5.4 Variation de la DCO des EU de l'entrée de la STEP-HBK.....	60
Figure 5.5 Variation de la DBO_5 des EU de l'entrée de la STEP-HBK.....	60
Figure 5.6 Variations du pH des EU de l'aération de la STEP-HBK.....	61
Figure 5.7 Variations des MES des EU de l'aération de la STEP-HBK.....	61
Figure 5.8 Variations du V_B des EU de l'aération de la STEP-HBK.....	62
Figure 5.9 Variations d' O_2 dissous des EU de l'aération de la STEP-HBK.....	63
Figure 5.10 Variations de la température des EU de l'aération de la STEP-HBK.....	63
Figure 5.11 Variations du pH des EU de la recirculation de la STEP-HBK.....	64
Figure 5.12 Variations des MES des EU de la recirculation de la STEP-HBK.....	65
Figure 5.13 Variations du V_B des EU de la recirculation de la STEP-HBK.....	65
Figure 5.14 Variations du pH des EU de la sortie de la STEP-HBK.....	66
Figure 5.15 Variations des MES des EU de la sortie de la STEP-HBK.....	67
Figure 5.16 Variations de la turbidité des EU de la sortie de la STEP-HBK.....	67
Figure 5.17 Variations de la DCO des EU de la sortie de la STEP-HBK.....	68
Figure 5.18 Variations de la DBO_5 des EU de la sortie de la STEP-HBK.....	68
Figure 5.19 Variations des teneurs en nitrites des EU de la STEP-HBK.....	69
Figure 5.20 Variations des teneurs en nitrates des EU de la STEP-HBK.....	70
Figure 5.21 Variations des teneurs en azote ammoniacal des EU de la STEP-HBK....	71
Figure 5.22 Variations des teneurs en phosphores des EU de la STEP-HBK.....	71
Figure 5.23 Variations du rapport DCO/DBO_5 des EU de la STEP-HBK.....	73

Liste des Tableaux

Tableau 2.1 Station d'épuration.....	12
Tableau 3.1 Développement des installations de traitement.....	23
Tableau 4.1 Détermination de la valeur de prise d'essai en fonction de la valeur de DCO.....	50
Tableau 5.1 Rendement de la station d'épuration HBK.....	73
Tableau 5.2 Moyennes des résultats d'analyses physicochimiques de l'eau épurée de la station d'épuration HBK.....	74
Tableau 5.3 Résultats obtenus pour le pH.....	75
Tableau 5.4 Résultats obtenus pour les MES.....	75
Tableau 5.5 Résultats obtenus pour la turbidité.....	76
Tableau 5.6 Moyennes des résultats d'analyses physico-chimiques et bactériologiques de l'eau épurée par filtration sur sable.....	76
Tableau 5.7 Résultats obtenus pour les coliformes fécaux.....	77
Tableau 5.8 Résultats obtenus pour les streptocoques fécaux.....	77
Tableau 5.9 Résultats obtenus pour les clostridium sulfite-réductrices.....	78
Tableau 5.10 Rendement d'élimination après filtration sur sable.....	78
Tableau 5.11 Résultats obtenus pour les coliformes totaux.....	79
Tableau 5.12 Comparaison entre les résultats d'analyses de l'eau épurée par la STEP et la filtration sur sable.....	80

Abréviations

HBK Haoud Berkaoui

BKH Benkahla

GLA Guellala

CFPA Compagnie Française du Pétrole Algérien

GLA-N.E Guellala Nord-Est

DCO Demande Chimique en Oxygène (mg/L)

DBO₅ Demande Biologique en Oxygène pendant 5 jours (mg/L)

MES Matières en Suspension (mg/L)

FTU Formazine turbidity unity (ou NTU)

V_B Volume de boue

NO₂ Nitrite (mg/L)

NO₃ Nitrate (mg/L)

PO₄ Phosphore (mg/L)

N-NH₄ Azote ammoniacal (mg/L)

pH potentiel d'Hydrogène

MRE Ministre des Ressources en Eau

FAO Food Agency Organisation

ONU Organisation des Nations Unies

OMS Organisation Mondiale de la Santé

SONATRACH Société Nationale de Transport et Commercialisation des Hydrocarbures

- SR1** Station de Relevage 1
- SR2** Station de Relevage 2
- PVC** Poly Vinyl Chloride
- EU** Eaux Usées
- UFC** Unité Formant une Colonie
- MO** Matière organique (mg/L)
- STEP** Station d'Épuration des Eaux Usées

INTRODUCTION

INTRODUCTION

L'activité humaine génère une production de déchets divers et variés de plus en plus importante : déchets industriels, déchets ménagés, eaux usées, etc. Aujourd'hui, dans le monde, la question de l'eau constitue l'une des préoccupations majeures. En Algérie, la sécheresse ainsi que l'inégalité de la répartition de l'eau rendent de plus en plus aigue la nécessité de faire face à une demande croissante en eau. Cependant pour un taux de couverture du réseau d'assainissement de l'ordre de 85%, seulement 20% des eaux usées collectées en Algérie sont traitées [1].

La problématique du traitement de l'eau s'est toujours posée au fil du temps en faisant face d'une part, à des nuisances voire même des pollutions de plus en plus diverses, et d'autre part, à chercher à utiliser des procédés de plus en plus efficaces et à moindre coût.

L'un de ces procédés est la filtration sur sable qui est considéré comme le plus ancien mode de traitement des eaux. En effet, la première installation de filtration à l'échelle industrielle date de 1829 en Angleterre. La filtration sur sable est une technique très souple, c'est la raison pour laquelle elle a été retenue par l'ONU lors de la décennie de l'eau (1980-1990) comme une technique de choix pour le traitement de l'eau dans les pays en voie de développement [2].

Le contexte climatique augmentant la tension sur la ressource en eau, l'urbanisation croissante et l'agriculture irriguée en plein essor ont conduit à la mise en œuvre des programmes de réalisation d'ouvrages destinés à la réutilisation des eaux usées épurées [3]. La généralisation de la réutilisation de ces eaux peut donc contribuer à combler en partie le déficit d'eau de première main. Le recyclage de l'eau dans les industries et l'utilisation de l'eau pour l'arrosage des espaces récréatifs peuvent, par

conséquent, contribuer à diminuer la pression exercée sur les ressources naturelles de bonne qualité.

Cette étude a pour but de :

- ✓ Effectuer une étude sur le fonctionnement de la station d'épuration (STEP) de Haoud Berkaoui (HBK) en analysant les différents paramètres physicochimiques et microbiologiques qui régissent le traitement des eaux usées à la STEP de HBK.
- ✓ Améliorer le rendement épuratoire des eaux usées par l'adhérence d'un procédé de filtration sur sable local.
- ✓ Comparer les résultats obtenus aux normes et recommandations de la réutilisation des eaux usées épurées en irrigation et vérifier une éventuelle valorisation de ces eaux traitées dans le domaine agricole.

CHAPITRE 1

DESCRIPTION DE LA REGION HAUD BERKAOUI (HBK)

CHAPITRE 1**Description de la région Haoud Berkaoui (HBK)****1.1 Situation géographique**

La région de Haoud Berkaoui (HBK) représente l'une des dix (10) principales zones productrices d'hydrocarbures du Sahara Algérien (Figure 1.1). Sur la route RN° 49, dite des pétroliers, reliant Ghardaïa à Hassi Messaoud, et à 35 km au sud-ouest d'Ouargla, un carrefour indique la présence d'un champ pétrolier, il s'agit de la région de HBK. Cette région est située à 100 km de Hassi Messaoud, à 770 km au sud de la capitale (Alger). Elle est très importante en raison de sa part de production des hydrocarbures du pays. Elle s'étend du sud-est de Ghardaïa jusqu'au champ extrême de Boukhzana, près de la route de Touggourt. A ce jour là, 100 puits sont en exploitation, répartis sur l'ensemble des champs, dont 73 puits en gaz lift et 27 éruptifs. La production cumulée depuis l'origine est de 86 millions de m³, pour des réservoirs globaux en place de 472 millions de m³. Toutes les quantités d'huiles et de gaz récupérés sont acheminées vers les différents centres de production de la région.

Il existe 3 centres principaux de production situés à HBK, Benkahla et guellala.

1.2 Haoud Berkaoui (HBK)

Sur une superficie de 175 km², ce champ a été découvert en mars 1965, par la Compagnie Française du Pétrole Algérien (CFPA), par le forage du puits OKI01 qui est situé au sommet de l'anticlinal. La mise en production de ce gisement a eu lieu en janvier 1967. La production au HBK se compose d'une unité de séparation d'huile avec

une capacité de $8000 \text{ m}^3/\text{j}$, d'une autonomie de stockage de 13000 m^3 , d'une unité de boosting gaz de 1 million m^3/j , et d'une unité de station d'injection d'eau à raison de $6000 \text{ m}^3/\text{j}$.

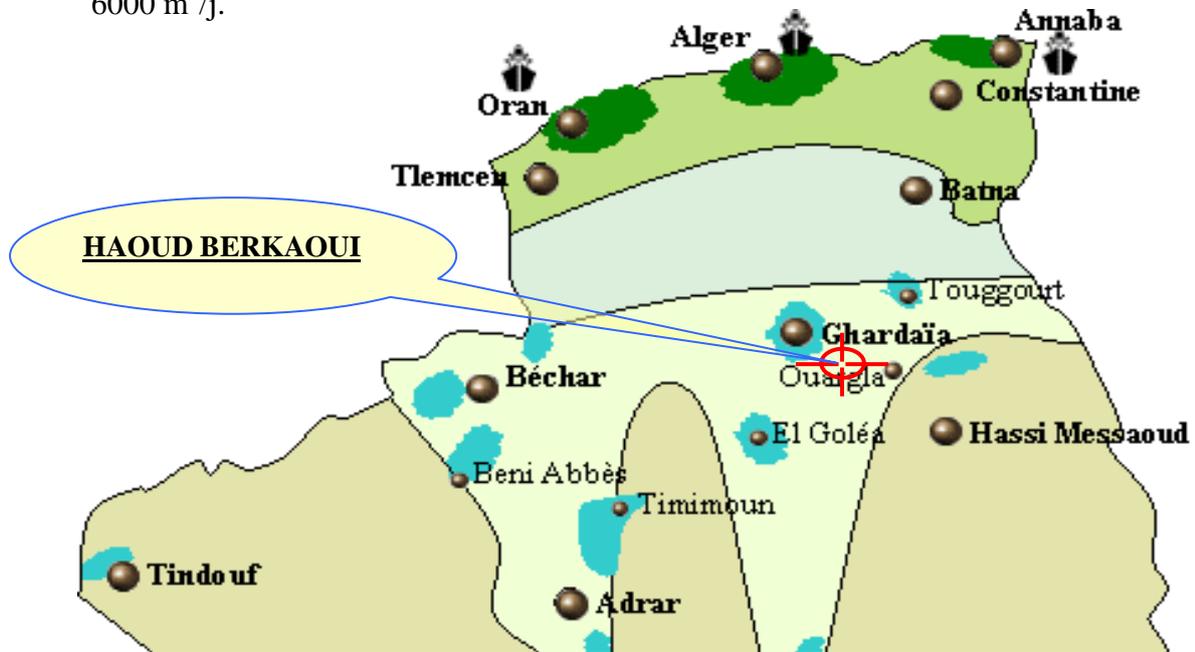


Figure 1.1 Situation géographique de HBK.

1.3 Champ de Benkahla (BKH)

Le gisement de Benkahla a été découvert en novembre 1966, par la même compagnie (FCPA), par le forage du puits OKP24. Il s'étend sur une superficie de 72 km^2 . Le centre de production de Benkahla est composé d'une unité de séparation d'huile de $5000 \text{ m}^3/\text{j}$ et d'une unité de boosting gaz de $560000 \text{ m}^3/\text{j}$. Toute la production d'huile de Benkahla est expédiée vers le centre de production de HBK.

1.4 Champ de Guellala (GLA)

Ce gisement a été découvert le 28 octobre 1969 par le forage de GLA01, sa mise en production date de février 1973. Il s'étend sur une superficie de 35 km^2 , avec une

profondeur moyenne des puits de 3500 m. Actuellement, le centre de production se compose d'une unité de séparation d'huile, d'une capacité de 7000 m³/j, d'une unité de stockage de 15000 m³/j, et d'une unité de boosting gaz de 762000 m³/j. Cette station est également dotée d'une unité de traitement de gaz d'environ 2,4 millions m³/j. Sa capacité de récupération est estimée à 500 tonnes/j pour le GPL et de 90 tonnes/j pour les condensats. Cette unité de traitement est accompagnée d'une unité de compression du gaz commercial à 75 bars et de 150 bars pour le gaz lift, sa capacité est de 1 660 000 m³/j.

1.5 Périphérie

Elle est composée de plus de 10 puits; la production de quelques puits est assurée par déplétion naturelle, et les champs de la périphérie sont : N'gaussa, Drâa Tamra, Guellala Nord-est, Haniet el Beida et Boukhzana.

1.6 Historique

Les études géologiques, réalisées à Ouargla, ont permis de connaître l'existence de deux structures appelées HBK, et Benkahla. En mars 1965, un gisement d'huile fut localisé dans la série du Trias Argilo Gréseux (TAG) plus exactement à HBK par la CFP. La zone pétrolière de HBK est constituée de près de 20 champs pétroliers, répartis sur 63 km² sur le bord oriental de la dépression d'Oued Mya; les plus importants de cette région sont ceux de HBK, BKH, GLA. Elle reforme les accumulations d'huile essentielle de cette zone. La série inférieure du TAG, située à une profondeur moyenne de 3350 m, est le principal réservoir productif d'huile du bloc 438 parmi les autres champs constituant la périphérie de cette région où figurent Drâa Tamra (DRT) et Guellala -Nord-est (GLA-N.E).

D'autre part, HBK est devenu une région autonome en 1976, alors qu'elle dépendait de la région de Hassi Massoud depuis le début de son exploitation.

1.7 Développement de la région

En espace de 30 ans, la région a connu des changements très importants au fur et à mesure de son développement dont voici les plus importants :

- **1963** : Découverte du champ Ouargla par le sondage OKA1.
- **1965** : Découverte du champ HBK par le sondage OKI01, situé au sommet de la structure.
- **1966** : Découverte du champ BKH par le sondage OKP24.
- **1967** : Mise en production d'un centre de traitement d'huile à HBK composé de deux batteries de séparation, trois bacs de stockage et deux motopompes Diesel pour l'expédition par la mise du premier puits OKI01.
- **1969** : Découverte du champ de GLA par le sondage GLA01.
- **1970** : Extension du centre de HBK pour recevoir la production de BKH.
- **1971** : Mise en service du centre de BKH.
- **1972** : Découverte du champ GLA-N.E par le sondage GLA N.E 01.
- **1976 : 10 Octobre** : Création de la Région de HBK.
- **1976 : Le 20 Novembre** : Mise en service du centre de production de GLA.
- **1977** : Mise en service du service de la production GLA-N.E.
- **1978** : Mise en service du centre de traitement de DRT.
- **1981** : Démarrage de l'injection d'eau à HBK, et BKH.
- **1984** : Extension du centre de BKH.
- **1985**: Démarrage de l'unité de traitement des gaz associés à Oued Noumer.
- **1986** : Extension du centre de GLA-N.E.
- **1989** : Passation du consigne entre la région HBK et Hassi R'mel pour les champs d'Oued -Noumer.
- **1992** : Mise en service de l'unité de récupération des gaz torchés de HBK, BKH et GLA (booster) et mise en service de l'usine de traitement de gaz à GLA.
- **1993** : Mise en service de nouvelles unités électriques d'injection d'eau à GLA et BKH.
- **1995** : Mise en service de la nouvelle unité électrique d'injection d'eau à HBK.
- **1996** : Mise en service d'une unité de dessalage au centre de HBK.
- **1999** : Découverte du champ de BKH-Est par le sondage BKHE 1.
- **2001** : Mise en service d'une station d'épuration (en mars).

1.8 Protection de l'environnement

La région de HBK est l'une des premières régions à fournir de grands efforts dans le domaine de la protection de l'environnement. Cette région est dotée d'une station de déshuilage, d'une unité de récupération des gaz torchés, d'une station d'eau potable, et d'une station d'épuration des eaux usées.

1.9 Données climatiques

1.9.1 Température

- La température maximale sous l'abri : 45°C.
- La température minimale sous l'abri : +5°C.
- La température souterraine maximale en été (à une profondeur de 1 m) : 38°C.
- La température souterraine minimale en hiver (à une profondeur de 1 m) : 18°C.

1.9.2 Humidité relative

- Humidité maximale moyenne journalière : 40%.
- Humidité minimale moyenne journalière : 15%.

1.9.3. Vent

- Vitesse maximale du vent : 180 km/h (5 m/s), et cela à 10 m au-dessus du sol.
- Direction du vent : de Nord-ouest et Sud-ouest.

1.9.4 Altitude

Le niveau du sol est défini comme point standard, l'altitude du site (niveau fini)

- HBK ; Niveau de la mer +225 m,
- STEP ; Niveau de la mer +182 m,
- BKH ; Niveau de la mer +192 m,
- GLA ; Niveau de la mer +222 m.

CHAPITRE 2

STATION D'EPURATION DES EAUX USEES DE HAUD BERKAOUI (HBK)

CHAPITRE 2**Station d'épuration STEP des eaux usées de Haoud Berkaoui (HBK)**2.1 Introduction

La Direction Régionale de Haoud Berkaoui (HBK) se souciant du volet environnement a consentis des efforts importants en investissant dans les projets de protection de l'environnement tels que :

- ✓ La station d'épuration des eaux usées.
- ✓ Les stations de déshuilages.
- ✓ Le centre d'enfouissement technique (CET).
- ✓ Le traitement des bourbiers.

2.2 Principe de l'épuration

Le principe de traitement adopté est celui d'une épuration biologique par boue activée à faible charge (Tableau 2.1). Dans ce type de traitement biologique des effluents, on fait généralement appel aux processus aérobies par lesquels les bactéries provoquent une oxydation directe des matières organiques des eaux usées à partir de l'oxygène dissous dans l'eau. Ce processus aérobie provoque le déplacement de bactéries qui, par des actions physico-chimiques, retiennent la pollution organique et s'en nourrissent. L'épuration biologique à boues activées consiste en un réacteur biologique aérobie où l'on provoque le développement d'une culture bactérienne dispersée sous forme de film.

Tableau 2.1 Station d'épuration.

<u>Station d'épuration de HBK</u>	
Site	HBK
Population raccordée	1000 habitants
Capacité	300 m ³ /j
Stations de relevage	2
Rejets	Eau épurée Boue organique
Avancement	En service

2.3 Filière de traitement

La station d'épuration de la base de vie HBK se compose de la ligne de traitement biologique ci-après (Figure 2.1) :

- Arrivée des eaux brutes.
- Dégrillage des eaux brutes (tamisage).
- Dessablage-Déshuilage.
- Aération des eaux et formation des boues activées.
- Clarification des eaux (décanteur secondaire).
- Recirculation des boues.
- Désinfection des eaux traitées.
- Épaississement des boues en excès.
- Evacuation des boues fraîches vers les lits de séchage.
- Déshydratation des boues sur les lits de séchage [4].

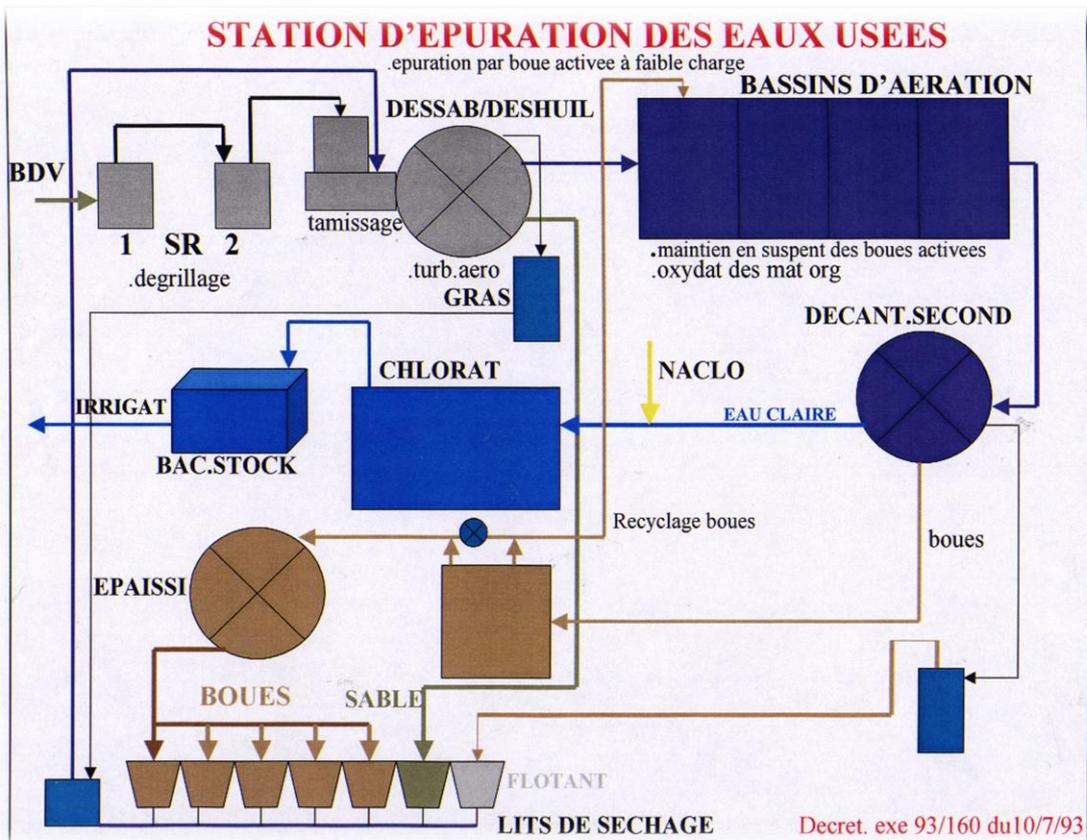


Figure 2.1 Station d'épuration des eaux usées.

2.3.1 Arrivée des eaux brutes

Les eaux brutes sont acheminées vers les ouvrages de la station par deux (02) postes de pompage en séries SR1 et SR2.

2.3.2 Dégrillage

De la station de relevage SR2, les eaux sont refoulées vers le dégrillage. Le dégrilleur comprend un tamis rotatif de 1,5 mm de passage avec une capacité hydraulique de 150 m³/h. Il est actionné par un moteur de 0,37 kW. En cas de défaillance du tamis, il y a un canal en béton armé de largeur 400 mm et équipé d'une grille fine de by-pass à nettoyage manuel. Il sera isolé par des vannes manuelles type canal (Figure 2.2).



Figure 2.2 Dégrilleur.

2.3.3 Dessablage-Déshuilage

Il est toujours à craindre une présence importante de sable, de matières minérales en suspension, et d'huiles pouvant gêner voire-même freiner le fonctionnement de l'installation. Pour cela, une phase de prétraitement des eaux usées dégrillées est réalisée dans un dessableur-déshuileur longitudinal aéré. La vitesse d'écoulement des eaux est maintenue à environ 0,30 m/s. Moyennant un aeroflot, l'eau est aérée par insufflation d'air permettant, d'une part, la séparation aisée du sable. Les huiles sont récupérées en surface dans une zone de tranquillisation et sont déversées dans un puisard à graisses pour être acheminées par camion vers la décharge ménagère [5,6] (Figure 2.3).



Figure 2.3 Extraction des huiles.

2.3.4 Traitement biologique

Le traitement biologique est réalisé dans un ensemble complet qui comprend :

- Le bassin d'aération.
- Le bassin de clarification (décanteur secondaire).
- Le poste de recirculation et d'extraction des boues.

a) Bassin d'aération

- Le bassin d'aération est de forme rectangulaire, en béton armé, et a un volume de 290 m³; il sera alimenté en eaux usées dégrillées, dessablées et dégraissées qui seront brassées avec les boues de retour et la liqueur mixte.
- Le bassin est équipé de deux aérateurs de surface à axe vertical reposant sur une passerelle en béton armé (Figure 2.4). L'aérateur de surface a pour rôle :

1 - D'apporter l'oxygène nécessaire aux bactéries épuratrices.

2 - De provoquer une intense turbulence qui permet, d'une part, le maintien en suspension des boues activées, et d'autre part, de renforcer le contact intime de l'eau brute avec les bactéries épuratrices.

- Le bassin d'aération est équipé aussi d'un oxymètre permettant de contrôler en continu la teneur en oxygène dissous et la vitesse des aérateurs (Figure 2.5).

Après un temps de contact suffisant, le mélange eau/boue activée est évacué par l'intermédiaire d'un déversoir vers le clarificateur [4].

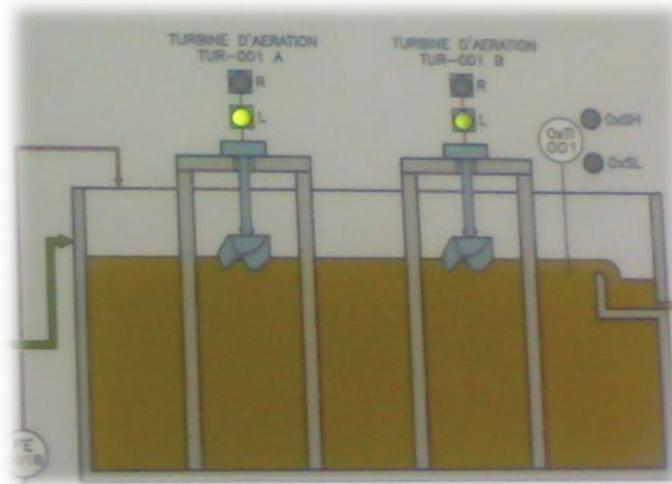


Figure 2.4 Schéma du bassin d'aération.



Figure 2.5 Bassin d'aération.

b) Bassin de clarification (décantation secondaire)

Les performances d'épuration biologique résultent de l'action d'aération et de clarification qui, sur le plan technique, forment une seule unité (Figure 2.6). La liqueur mixte, maintenue en suspension dans le bassin d'aération, passe dans un bassin de clarification de forme circulaire pour y être clarifiée (Figure 2.7). L'alimentation se fait au moyen d'une conduite en siphon surmontée, au centre du bassin, d'une jupe de répartition. Le floc se sépare dans l'eau interstitielle et se dépose sur le radier de l'ouvrage de clarification, tandis que l'eau clarifiée est évacuée par surverse dans une rigole périphérique. Le bassin de décantation de 6 m de diamètre est équipé d'un pont muni d'un racleur de fond ramenant les boues sédimentaires sur le radier de l'ouvrage vers la fosse de recirculation des boues, et d'un racleur de surface pour l'élimination des flottants [4].

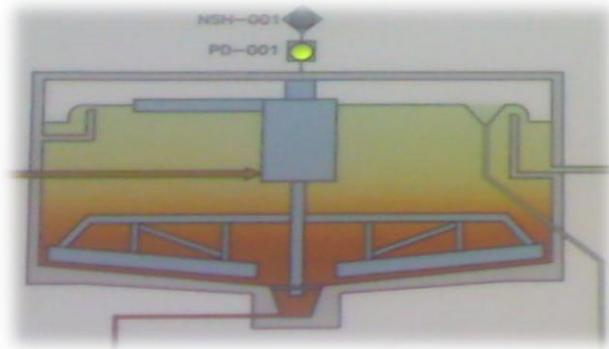


Figure 2.6 Schéma du décanteur secondaire.



Figure 2.7 Bassin de clarification.

c) Poste de recirculation et d'extraction des boues

Les boues reprises au centre du décanteur sont transférées gravitairement vers le poste de pompage des boues pour y être recirculées ou dirigées vers le traitement des boues en fonction de la destination des boues produites.

- Boues de recirculation :

L'efficacité des procédés du traitement biologique par boues activées est basée sur une recirculation importante des boues provenant de la clarification. La concentration nécessaire en boues activées dans le bassin d'aération est assurée par deux groupes électropompes (Figure 2.8).



Figure 2.8 Fosse de recirculation des boues.

- Boues en excès :

Les boues en excès sont extraites du poste de pompage, par un groupe d'électropompes, et envoyées à l'épaisseur où elles subiront une stabilisation et une concentration avant l'expédition vers les lits de séchage [4].

2.3.5 Désinfection des eaux

Les eaux décantées s'écoulent gravitairement dans un bassin final de désinfection à l'hypochlorite de sodium avant le rejet vers l'exutoire. La désinfection est obtenue par l'injection d'une solution d'hypochlorite de sodium. L'eau clarifiée en provenance du bassin de clarification alimente un bassin de contact rectangulaire (serpentin) permettant d'assurer un bon mélange de la solution désinfectante avec l'eau clarifiée. Ce bassin est dimensionné pour un temps de séjour qui assure une bonne efficacité de l'action du chlore actif (Figure 2.9).



Figure 2.9 Bassin de chloration.

La solution d'hypochlorite de sodium est distribuée par un groupe de dosage comprenant une pompe doseuse (avec une autre de secours) et une cuve de stockage placée dans un local indépendant en béton armé (Figure 2.10). L'eau traitée et après la désinfection sera pompée au bassin de stockage par deux pompes. Il y a un système de sur-presseur pour l'expédition de l'eau traitée [7].



Figure 2.10 Stockage de l'hypochlorite de sodium.

2.3.6 Epaissement des boues

L'épaississement des boues a pour but de concentrer au maximum les boues à envoyer sur les lits de séchage. L'ouvrage se présente sous forme d'un cylindre à fond conique, en béton armé, à faible pente et de diamètre 3m. L'équipement se compose essentiellement (Figure 2.11) :

- D'un groupe de commande sur une passerelle;
- D'un arbre vertical tournant à faible vitesse et portant des herse;
- D'épaississement et des raclettes de fond;
- D'un tube central solidaire de la passerelle qui permet l'alimentation en boues l'épaississement.

Le surnageant passe dans une goulotte périphérique d'où il est retourné en tête du poste de relevage, tandis que les boues épaissies sont ramenées par raclettes du fond dans une fosse centrale, d'où elles sont envoyées vers les lits de séchage [8,9].



Figure 2.11 Epaisseur.

2.3.7 Lits de séchage

Les boues épaissies sont épandues sur les (05) lits de séchage pour y être déshydratées naturellement (Figure 2.12). Les lits sont formés d'aires délimitées par des murettes en béton armé et d'une couche de sable disposée sur une couche support de gravier. Les conduites de drainage disposées sous la couche support recueillent les eaux drainées pour les ramener gravitairement vers la fosse de drainage [4,9].



Figure 2.12 Lits de séchage.

CHAPITRE 3

REUTILISATION DES EAUX USEES

CHAPITRE 3 Réutilisation des eaux usées

3.1 Historique de l'utilisation des eaux usées

Historiquement, l'utilisation des eaux usées est très ancienne et se faisait à l'origine sans traitement. Deux exemples peuvent être cités, en France et en Australie :

- Après la construction du réseau d'égouts de Paris commencée en 1856, il a été décidé, pour éviter les rejets en Seine, d'adopter un programme d'épandage étudié de 1868 à 1872 sur des champs d'épandage à Clichy et Gennevilliers mais réalisé seulement en 1895 en raison du délai nécessaire pour faire adopter la loi qui en définissait tous les aspects techniques, administratifs et financiers. Les champs d'épandage de Gennevilliers (900 ha) et d'Achères (3 zones pour 4360 ha) recevaient 160 Mm³/an (250 Mm³/an continuant à être rejetés en Seine). L'irrigation des légumes consommés crus était interdite. Les doses d'arrosage étaient de 40 000 m³/ha/an pour les légumes et de 60 000 m³/ha/an pour les herbages. Si le risque sanitaire a été signalé dès les débuts, le risque entraîné par l'accumulation des métaux lourds dans le sol et les plantes n'a été perçu que récemment. Le développement des installations de traitement (première installation réalisée entre 1935 et 1940) et de la réglementation (lois sur l'eau de 1964 et 1992) ont conduit à un abandon progressif depuis 1950 (Tableau 3.1).

Tableau 3.1 Développement des installations de traitement.

Année	Surface	Volume d'eaux usées
1904	5 100 ha	200 Mm ³ /an
1950	5 000 ha	100 Mm ³ /an
1980	2 010 ha	40 Mm ³ /an
2000	En voie de Disparition	

- L'épuration et la réutilisation des eaux usées ont été pratiquées en Australie depuis 1880 avec l'adoption pour des raisons sanitaires à Adélaïde (Australie du Sud) de l'épandage des eaux usées sur des pâturages et des cultures maraîchères. En 1936 cette pratique a été arrêtée à la suite de maladies. Dans les années 1950 et 1960,

la réutilisation des eaux usées traitées pour l'arrosage des golfs et espaces verts s'est développée suivant les opportunités et en 1993 elle a été encouragée par le gouvernement de l'Etat qui l'a réglementée dans la loi pour la Protection de l'Environnement de 1995 [10].

3.2 Objectifs de la réutilisation des eaux usées

Plus la demande en eau croît, plus les ressources en eau disponibles se raréfient alors que simultanément et par voie de conséquence le volume d'eau usée rejeté s'accroît. Dans ce contexte, la réutilisation de l'eau usée devient un moyen intéressant pour, à la fois :

- 1) Satisfaire la demande en eau.
- 2) Protéger le milieu récepteur (littoral, zones sensibles) et préservation quantitative des ressources.

La réutilisation des eaux usées permet donc de minimiser, mais aussi de valoriser la pollution produite par les agglomérations [11].

3.3 Domaines de la réutilisation

Après utilisation, les eaux potables, devenues eaux usées, sont éliminées par une des filières suivantes :

- Rejet direct dans le milieu naturel quand le pouvoir auto-épurateur de celui-ci est suffisant ;
- Traitement en station d'épuration et rejet dans le milieu naturel ;
- Traitement en station d'épuration et réutilisation pour divers usages :
 - ✓ soit directement, après traitement, généralement tertiaire ;
 - ✓ soit indirectement, après passage, par les milieux naturels, qui apporte souvent un complément d'épuration (recharge de nappes, stockage dans des réservoirs artificiels ou des lacs, rejets en rivière avec transport jusqu'au point d'utilisation).
- Épandage, éventuellement après traitement ou prétraitement, pour l'évacuation et l'épuration par le sol.

3.4 Réutilisation domestique et municipale

La réutilisation des eaux usées traitées au domicile de l'habitant ou à l'échelle de la ville est possible à différents niveaux de qualité et suivant plusieurs schémas :

- Recyclage partiel à l'intérieur d'immeuble (alimentation des chasses de toilettes) ;
- Alimentation de réseaux municipaux de lavage (rues, camions) ;
- Réalimentation partielle des nappes d'eaux souterraines [12].

3.5 Réutilisation industrielle

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 l'industrie du papier, les stations de lavage de voiture, la production d'acier, de textiles, les industries d'électroniques, et le domaine d'hydrocarbure « réinjection dans les puits producteurs de pétrole pour maintenir la pression de gisement », etc.

Cette réutilisation est importante en raison du recyclage fréquent des eaux de process qui est souvent justifiée par la réduction des consommations mais aussi par la récupération des sous-produits. Mais elle peut aussi concerner les eaux de refroidissement. La réutilisation est plus difficile à envisager pour des eaux de chaudière qui doivent être fortement déminéralisées et pour les eaux des industries agroalimentaires qui doivent avoir la qualité des eaux potables [12].

Exemples de réutilisation industrielle dans le monde

- En France, les volumes consommés par l'industrie sont de 25% du total, dont 22% pour la production d'énergie à partir des eaux usées traitées.
- Aux États-Unis, la centrale nucléaire de Palo Verde (4 millions de kW) est aujourd'hui l'exemple dans le monde d'une centrale nucléaire qui utilise des eaux épurées pour ses tours de refroidissement et produire de la vapeur (pour faire tourner les turbines). Elle consomme environ 6400 m³/j.

3.6 Réutilisation en agriculture

Pour l'irrigation des cultures et des espaces verts, la réutilisation en agriculture reste le mode le plus répandu de réutilisation; cette dernière soulève différents problèmes d'ordre agronomique et sanitaire. 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 [12].

Exemple de réutilisation agricole dans le monde

- Pour le Mexique, en 1996, les eaux usées brutes (non traitées) de Mexico étaient utilisées pour irriguer 85 000 hectares de maïs, d'orge et de tomates, dans ce qui constituait le plus grand plan d'irrigation au monde. Les critères sanitaires de la réglementation ont depuis changé après l'étude épidémiologique réalisée dans cette région.

3.6.1 Réutilisation des eaux usées dans la stratégie de développement de l'irrigation

Les eaux usées sont peu récupérées en France où l'on dispose généralement de ressources naturelles suffisantes. Leur utilisation se justifie habituellement plus par le souhait de ne pas rejeter dans un milieu particulièrement sensible. Mais il n'en est pas de même dans des pays voisins, notamment du sud de la Méditerranée (par exemple Egypte, Tunisie), qui veulent disposer de ressources plus importantes pour l'irrigation et ne pas utiliser à cette fin les rares ressources d'eau de qualité provenant des nappes. Un programme de réalisation et de modernisation d'ouvrages de traitement destinés à la réutilisation des eaux usées en irrigation est actuellement mis en œuvre [12].

Les besoins en eau, l'affectation prévue à l'horizon 2015 en ressources et la part de l'eau réutilisée traitée sont indiqués par région hydrographique et par périmètre d'irrigation. Notons tout d'abord qu'une grande partie des besoins en eau sera théoriquement satisfaite puisque les affectations sont proches des besoins. Ainsi, près de 227 millions m³ doivent être mobilisés d'ici à 2015, ce qui correspond environ à deux fois le stock d'eau emmagasiné par un barrage moyen en Algérie. Cette perspective offre un flux de ressources permanent avec des débits maîtrisés immédiatement disponibles et permet de limiter les coûts élevés des aménagements de régularisation. Le ratio entre la réutilisation des eaux usées et l'affectation des ressources permet d'estimer la contribution de la réutilisation des eaux usées en irrigation. Cette contribution est

de 13,37% dans le cas de la région hydrographique Chélif Zaher, de 21,4% dans la région hydrographique Constantine-Seybouse-Mellegue, et de 34,92% dans la région hydrographique Oranie-Chott-Chergui; cette dernière étant nettement déficitaire en pluviométrie par rapport aux autres régions du Nord algérien (400 mm/an) [13].

La réutilisation des eaux usées pour l'irrigation agricole présente trois défis majeurs:

- a) **Les exigences de qualité** : à respecter afin de limiter tous les impacts négatifs possibles sur la santé humaine et sur l'environnement, le cycle hydrique, demandant un traitement approprié de l'eau et l'application de techniques d'irrigation sûres.
- b) **La demande saisonnière** : lorsque l'eau usée est produite constamment, mais l'irrigation seulement saisonnière, exigeant des infrastructures intermédiaires de stockage.
- c) **Le site de production** : le plus grand volume d'eau usée est produit dans les grandes agglomérations urbaines bien que les zones agricoles soient en majorité situées en zone rurale, exigeant des réseaux de transfert à grande distance [14].

3.6.2 Risques liés à l'utilisation des eaux usées pour l'irrigation

Il convient de souligner que l'utilisation d'eaux usées pour l'irrigation de terrains peut représenter des risques non microbiens. Ces eaux d'irrigation offrent un fort potentiel en matières fertilisantes (exemple: azote, phosphore). Un excès d'apport de ces fertilisants dans l'environnement pourrait contribuer à l'eutrophisation des plans et cours d'eau localisés à proximité. Cette eutrophisation pourrait accroître les risques de formation de fleurs d'eau par les cyanobactéries (bloom d'algue) et représenter ainsi un risque à la santé.

Cet apport en éléments fertilisants peut également contribuer à une augmentation du taux de nitrates dans la nappe phréatique. En présence de puits d'alimentation en eau potable près des endroits d'irrigation, il pourrait y avoir risque de méthémoglobinémie chez le nourrisson allaité avec du lait reconstitué, si la concentration de l'eau potable utilisée dépasse 10 mg/L de nitrate (exprimé en azote).

Enfin, l'utilisation d'eaux usées en quantités importantes peut, dans certaines conditions, être responsable d'odeur (exemple : stagnation de l'eau usée). Des directives

afin de limiter la présence de ces odeurs devront être formulées aux responsables des opérations d'irrigation [15].

3.6.3 Risques liés à la réutilisation agricole des eaux épurées

Les risques liés à une réutilisation des eaux épurées agricoles sont :

- le risque microbiologique ;
- le risque chimique ;
- le risque environnemental ;
- les risques sanitaires [16].

a) Risque microbiologique

Dans le cas de l'agriculture, il est prouvé depuis longtemps que les micro-organismes pathogènes des animaux ne peuvent ni pénétrer ni survivre à l'intérieur des plantes. Les micro-organismes se retrouvent donc à la surface des plantes et sur le sol. Les feuilles et la plante créent un environnement frais, humide (évaporation), et à l'abri du soleil. Il peut donc y avoir une contamination pendant la croissance des plantes ou la récolte. Les pathogènes survivent plus longtemps sur le sol que sur les plantes.

Le mode d'irrigation a une influence directe sur le risque : ainsi, l'irrigation souterraine ou gravitaire peut nuire à la qualité des eaux souterraines et de surface. Des contaminations directes peuvent avoir lieu lors de la maintenance du système d'irrigation. L'irrigation par aspersion crée des aérosols qui peuvent être contaminants [17].

b) Risque chimique

La seule voie de contamination vraiment préoccupante pour les éléments traces est la consommation de plantes cultivées, dans lesquelles ils s'accumulent. Les modes de réutilisation autres que l'agriculture ne semblent pas dangereux et ceci pour deux raisons : premièrement, les quantités d'eau potentiellement ingérables par les utilisateurs sont extrêmement faibles (« boire la tasse » en natation par exemple) et deuxièmement les concentrations en micropolluants sont infinitésimales dans les eaux épurées [18].

c) Risque environnemental

La contamination des eaux souterraines dépend de trois paramètres : le sol, les roches sous-jacentes et la nappe. Deux caractéristiques sont essentielles pour les sols : la capacité de rétention et la capacité d'épuration. Les sols qui ont une bonne capacité de rétention sont les sols argilo-sableux, ceux ayant une mauvaise qualité sont les roches fissurées. Une bonne capacité de rétention assure une bonne assimilation par les plantes et un étalement de la pollution dans le temps. La capacité d'épuration est assurée par la fixation des substances polluantes (adsorption, précipitation), la transformation des molécules organiques par des micro-organismes et l'exportation par les végétaux.

Colmatage du sol, accroissement de salinité, apport de toxique : Les propriétés physiques du sol peuvent être modifiées par les pratiques d'épandage. La structure de sol argileux peut, en particulier, être détruite par un apport excessif de sodium et une absence de lessivage (en particulier dans les zones à trop faible pluviométrie) [19].

d) Risques sanitaires

Le principal risque à la santé, lié à l'utilisation des eaux usées municipales pour l'irrigation, est sans contredit la contamination microbienne. Les eaux usées contiennent une multitude d'organismes pathogènes pour l'humain tels que des bactéries, des virus ainsi que des parasites. Ces micro-organismes pathogènes peuvent survivre quelques jours, semaines, ou mois dans le sol ou sur des terres en culture sur lesquels des eaux usées auraient été déversées. Les risques à la santé liés à ces agents sont principalement des infections entériques. Certains agents microbiens peuvent causer des infections respiratoires, cutanées, oculaires ou encore plus sévèrement, occasionner une hépatite [20].

Certaines personnes vulnérables sont particulièrement susceptibles aux infections soit : les enfants de moins de 5 ans, les personnes âgées et les personnes immunodéprimées. En plus d'être plus sensibles aux infections par les micro-organismes pathogènes, ces personnes vulnérables peuvent développer des maladies suite à l'exposition à des organismes qui ne représentent habituellement pas de risque pour les individus en bonne santé [21].

3.7 Avantages de la réutilisation

- ✓ Réduire la demande pour les eaux conventionnelles,

- ✓ Eviter des investissements coûteux pour la capture et l'entreposage des eaux de ruissellement,
- ✓ Améliorer la qualité des eaux en aval des sites où les eaux usées étaient déversées (cours d'eau, lacs et eaux littorales),
- ✓ Permettre d'accroître les activités touristiques,
- ✓ Etablir un lien additionnel entre espaces urbain et rural,
- ✓ Augmenter la production agricole,
- ✓ Réduire le besoin en fertilisants commerciaux,
- ✓ Réduire les coûts de traitement des eaux pour les utilisateurs en aval.

3.8 Aspects économiques

Les aspects économiques des projets de réutilisation des eaux usées dépendent des conditions cadre locales/régionales et peuvent différer considérablement. Les critères les plus décisifs sont, par exemple : les ressources en eau disponibles, leur accès, la distance entre les sites de production et de la réutilisation des eaux usées traitées ainsi que leurs infrastructures de traitement disponibles. D'autres critères majeurs incluent l'infrastructure générale, les conditions climatiques, la production agricole, d'autres secteurs économiques (tels que l'industrie, le tourisme, etc.), du cadre institutionnel (gouvernemental et privé), de la politique et de la stratégie en place dans le secteur de l'eau, de l'application de la législation, du niveau général de revenu de la population, des agriculteurs, des structures de tarification de l'eau existantes ou des subventions gouvernementales.

3.9 Précautions à prendre et mesures d'accompagnement

Les précautions d'usage classiques sont :

- le marquage du réseau et l'information du consommateur;
- la maintenance est à assurer par des professionnels : on doit limiter au maximum l'accès du public au réseau;
- l'accès aux conduites et aux canalisations doit être strictement réservé au personnel qualifié;
- dans le cas de l'irrigation, les zones accessibles au public doivent être arrosées la nuit, ou en dehors des heures d'ouverture;
- sensibilisation des citoyens et l'agriculteur sur ce projet;

- éducation sur l'hygiène;
- compléter le traitement classique par un traitement tertiaire (bassin de stabilisation, chloration);
- enfin, il faut éviter les connexions accidentelles entre le réseau d'eau potable et le réseau de la réutilisation de l'eau. La ségrégation entre les deux réseaux doit être complète;
- des contrôles réguliers de la qualité de l'eau doivent être faits pour détecter ces connexions accidentelles;
- dans certains Etats Américains, les réseaux d'eau réutilisée sont peints systématiquement en violet. On peut également colorer l'eau elle-même. Il faut avertir le public de la non-potabilité de l'eau par des panneaux.

CHAPITRE 4

MATERIELS ET METHODES

CHAPITRE 4**Matériels et méthodes****4.1 Paramètres physico-chimiques*****4.1.1 Mesure du pH par méthode électrométrique******a) Référence***

Cette mesure est adaptée à la norme NFT 90008.

b) Objet et domaine d'application

Ce mode opératoire décrit la méthode de détermination du pH par électrométrie. Elle s'applique au moyen d'une électrode en verre à tout type d'eau ou de solution dont le pH est compris entre 1 et 11 et la température entre 0 et 60°C.

c) Principe

La différence de potentiel existant entre une électrode en verre et une électrode de référence (calomel-KCL saturé) plongées dans une même solution est une fonction linéaire du pH de cette solution. Elle s'effectue à l'aide d'un dispositif potentiométrique.

d) Réactif

- Néant.

e) Appareillage

- pH-mètre (CRISON ; GLP22).

- Pipette de précision de 50 mL de volume.

f) Mode opératoire

- Prélever à l'aide d'une pipette une prise d'essai de 50 mL et l'introduire dans un bécher propre.
- Rincer abondamment l'électrode avec l'eau distillée.
- Introduire l'électrode dans la solution à analyser.
- Mettre en marche le pH-mètre.
- Lire la valeur affichée pour le pH-mètre. Après utilisation, rincer abondamment la sonde à l'eau distillée (Figure 4.1).



Figure 4.1 pH-mètre.

4.1.2 Détermination de la turbidité par diffractométrie

a) Référence

C'est la méthode de la Compagnie HACH. Elle est adaptée de "FWPCA method of chemical analysis of water and wastes 275 (1969)".

b) Objectif et domaine d'application

C'est une méthode qui s'appuie sur l'absorption de la lumière pour la détermination de la turbidité mesurée en unité *formazine turbidity unit* (FTU) (ou NTU) dans la gamme variant de 0 à 450 FTU.

c) Principe

La détermination de la turbidité est la mesure d'une propriété optique de l'échantillon d'eau à savoir la dispersion de la lumière par des particules de matières en suspension (MES) présentes dans l'échantillon. La grandeur de la turbidité mesurée dépend d'un certain nombre de variables telles que la taille, la forme, et les propriétés de réfraction des particules. Il n'existe pas, cependant, de relation directe entre la turbidité d'une eau et sa teneur en MES.

d) Réactif

- Néant.

e) Appareillages

- Spectrophotomètre DR850.
- Cellule en verre de 25 mL de volume.

f) Mode opératoire

- Mettre en marche le spectrophotomètre DR850 en appuyant sur la touche "Power".
- Introduire le numéro du programme mémorisé, pour la turbidité presser 95.
- Presser "Enter", l'affichage indique "FTU".
- Remplir une cellule avec 25 mL d'eau distillée (le blanc). Placer le blanc dans le puits de mesure et fermer le capot.
- Presser "Zéro", l'affichage indique "0 FTU".
- Verser 25 mL d'eau à analyser dans la seconde cellule et la placer dans le puits de mesure, fermer le capot.
- Presser "Enter", l'affichage indique le résultat en FTU.

4.1.3 Détermination des matières en suspension (MES)

a) Objectif et application

Ce qui suit décrit une méthode de la détermination des matières sèches (MES) par filtration et évaporation.

b) Principe

C'est le résultat d'une filtration sous vide et séchage à 105°C. Le poids des matières retenues est déterminé par différence des pesées.

c) Réactifs

- Eau distillée.
- Filtre.

d) Appareillage

- Dispositif de filtration (Figure 4.2).

e) Mode opératoire

- Avant la pesée du filtre à vide, le laver à l'eau distillée puis le sécher à 105°C; ce filtre est séché dans un dessiccateur puis pesé, soit $\rightarrow P_1$.
- Mettre en marche le dispositif de filtration sous pression.
- Verser la prise d'essai (100 mL) sur le filtre.
- Laver le récipient et le filtre avec l'eau distillée.
- Sécher le filtre à l'étuve à 105°C pendant 30 min.
- Sécher le filtre au dessiccateur puis peser, soit $\rightarrow P_2$.

f) Expression des résultats

Le taux des MES, exprimé en mg/L, est donné par la formule (4.1).

$$MES = \frac{P_2 - P_1}{V_e} \quad (4.1)$$

où P_1 : masse du filtre à vide (mg)

P_2 : masse du filtre plein (mg)

V_e : volume de la prise d'essai en L (0,1 L).



Figure 4.2 Dispositif de filtration sous vide.

4.1.4 Détermination du volume des boues (V_B)

a) Principe

C'est le volume des boues (V_B) occupé dans un litre d'eau après une décantation de 30 min.

b) Réactif

- Néant.

c) Appareillage

- Cône.
- Support du cône.

d) Mode opératoire

- Prendre un volume de 1000 mL d'eau à analyser.
 - Remplir le cône avec les 1000 mL ou en %.
 - Après 30 min de décantation, lire le volume en mL ou %.
- Exemple* : le volume de la boue : 500 mL → 50% (Figure 4.3).



Figure 4.3 Cônes.

4.2 Paramètres indicateurs de la pollution

4.2.1 Détermination des nitrates par colorimétrie

a) Référence

Méthode HACH.

b) Object et domaine d'application

Ce qui suit décrit une méthode colorimétrique pour la détermination des nitrates pour la gamme forte comprise entre 10 et 30 mg/L; elle s'applique aux eaux de surface et eaux usées.

c) Principe

Le cadmium métallique, contenu dans les gélules de réactifs, réduit les nitrates présents dans l'échantillon en nitrite réagissant en milieu acide avec l'acide sulfurique pour former un sel. Ce sel réagit avec l'acide pour former un complexe coloré ambre. L'intensité de la coloration est proportionnellement liée à la concentration en nitrates (Figure 4.4).

d) Réactif

- Gélules de nitra ver 5 (réactif HACH).

e) Appareillage

- Spectrophotomètre type DR850.
- Cellules en verre de 25 mL de capacité.

f) Mode opératoire

- Mettre en marche le DR850 en appuyant sur la touche "Power".
- Entrer le numéro de programme pour la mesure du nitrate.
- Presser 50 puis la touche Enter.
- Remplir un flacon de 25 mL avec l'échantillon à analyser.
- Ajouter le contenu d'une gélule de réactif nitra ver 5.
- Remplir un 2^{ème} flacon avec l'eau à analyser (sans réactif, le blanc).
- Agiter les deux flacons pendant 1 min.
- Presser la touche "Time" pour avoir le temps de réaction.
- Lorsque le minuteur sonne, placer le blanc dans le puits de mesure et fermer le capot ; appuyer sur la touche "Zéro".
- L'affichage indique "0 mg/L" de NO_3^- ;
- Mettre le 1^{er} flacon dans le puits de mesure et fermer le capot ; appuyer sur la touche "Read" pour lire la concentration des nitrates (NO_3) en mg/L (Figure 4.4).



Figure 4.4 Détermination des nitrates par colorimétrie.

4.2.2 Détermination des nitrites par colorimétrie

a) Référence

Méthode HACH.

b) Object et domaine d'application

Ce qui suit décrit une méthode pour la détermination des nitrites pour de faibles teneurs comprises entre 0 et 0,3 mg/L.

c) Principe

Pour les faibles teneurs, le principe consiste en la réaction des nitrites présents dans l'échantillon avec l'acide sulfurique pour former un sel de diazomium. Ce sel réagit avec l'acide chromatique pour produire un complexe coloré rose dont la coloration est proportionnelle à la quantité des nitrites présents (Figure 4.5).

d) Réactif

- Gélules de nitra ver 2.

e) Appareillage

- Spectrophotomètre type DR850.
- Cellules en verre de 25 mL de capacité.

f) *Mode opératoire*

- Mettre en marche le DR850 en appuyant sur la touche "Power".
- Entrer le numéro de programme pour la mesure des nitrites.
- Presser 60 puis la touche "Enter".
- Remplir un flacon de 25 mL avec l'échantillon à analyser.
- Ajouter le contenu d'une gélule de réactif nitra ver 2.
- Agiter le flacon pendant 1 min.
- Presser la touche "Time" pour avoir le temps de réaction.
- Lorsque le minuteur sonne, placer le blanc dans le puits de mesure et fermer le capot ; appuyer sur la touche "Zéro".
- L'affichage indique 0 mg/L de NO_2^- .
- Mettre le flacon de l'analyse dans le puits de mesure et fermer le capot.
- Appuyer sur la touche "Read" pour lire la concentration des nitrites (NO_2^-) en mg/L.

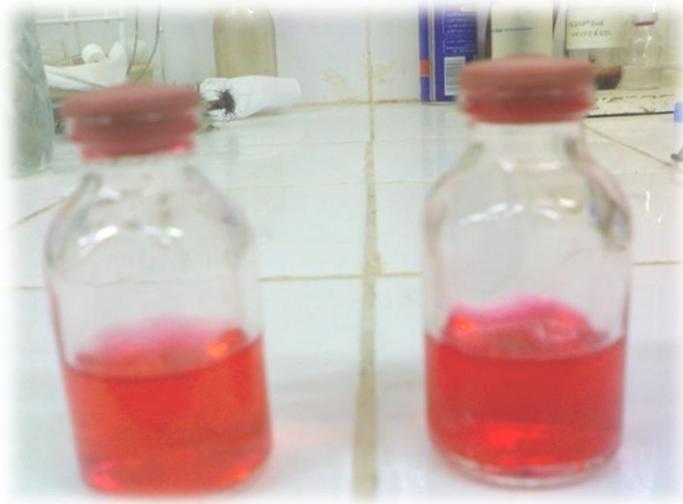


Figure 4.5 Détermination des nitrites par colorimétrie.

4.2.3 Détermination de l'azote ammoniacal par colorimétrie

a) *Référence*

Méthode HACH.

b) Principe

Les composés ammoniacaux se combinent avec le chlore pour former le monochloroamine; ce dernier réagit avec le salicylate pour former l'aminosalicylate. Ce composé est oxydé en présence d'un catalyseur en nitroprussiate pour former un complexe de couleur bleu. La coloration bleue est masquée par la coloration jaune du réactif en excès pour obtenir la solution finale colorée en vert dont l'intensité est proportionnelle à la concentration en azote ammoniacal présent dans l'eau (Figure 4.6).

c) Réactifs

- Réactif salicylate en gélules.
- Réactif cyanurate alcalins en gélules.
- Eau distillée.

d) Appareillage

- Spectrophotomètre type DR2000 (Figures 4.7 et 8).
- Cellules en verre de 25 mL de capacité.

e) Mode opératoire

- Mettre en marche le DR2000 en appuyant sur la touche "Power".
- Introduire le numéro de programme mémorisé pour l'azote ammoniacal.
- Presser 385 "Read/Enter", l'affichage indique "régler nm à 655", tourner le bouton de réglage des longueurs d'ondes jusqu'à ce que l'affichage indique "655 nm".
- Presser "Read/Enter", l'affichage indique "mg/L N-NH₃ Salic".
- Prendre deux cellules en verre et remplir l'une d'elle de 25 mL d'eau à analyser (l'échantillon préparé) et l'autre de 25 mL d'eau distillée (le blanc). Ajouter le contenu d'une gélule de réactif salicylate dans chacune des cellules, boucher et agiter pour dissoudre.
- Presser alors "Shift/Timer", une période de réaction de 3 min commence.

- Lorsque le minuteur sonne, ajouter le contenu d'une gélule de cyanurate alcalin dans les deux cellules, fermer et agiter pour dissoudre le réactif.
- Presser à nouveau "*Shift/Timer*", une période de réaction de 15 min commence.
- Lorsque le minuteur sonne, l'affichage indique "*mg/L N-NH₃ Salic*".
- Introduire le flacon servant de blanc dans le puits de mesure et presser "*Zéro*", l'affichage indique "*Attendre*" puis "*0,00 mg/L N-NH₃ Salic*".
- Placer l'échantillon préparé dans le puits de mesure après avoir retiré le bouchon, fermer le capot.
- Presser "*Read/Enter*"; l'affichage indique "*Attendre*" puis le résultat en mg/L d'azote (N-NH₃) s'affiche.



Figure 4.6 Détermination de l'azote ammoniacal par colorimétrie.

44863-00 DR/2000 STORED PROGRAM NUMBERS Version 3.1

prog	test	prog	test	prog	test	prog	test	prog	test
0	Absorbance, %T	195	F ⁻ (ampule)	353	N, NO ₃ ⁻ MR	455	O ₃ Indigo MR	630	Suspended Solids
9	Al ECR	200	Formaldehyde	355	N, NO ₃ ⁻ HR	456	O ₃ Indigo HR	640	Se
10	Al	220	CaCO ₃ , Ca	359	N, NO ₃ ⁻ MR AV	460	Pd	645	SiO ₂ ULR
20	Ba	221	Ca	361	N, NO ₃ ⁻ HR AV	470	Phenols	651	SiO ₂ LR
25	Ba AV	225	CaCO ₃ , Mg	363	N, NO ₃ ⁻ (plant)	480	PO ₄ ³⁻ molybdovanadate	656	SiO ₂ HR
30	Benzotriazole	226	Mg	366	N, NO ₃ ⁻ (soil) (ppm)	481	P molybdovanadate	660	Ag
40	B	231	N ₂ H ₄	367	N, NO ₃ ⁻ (soil) (Lbs/Ac)	485	PO ₄ ³⁻ amino acid	670	N ₂ CrO ₄
50	Br ₂	240	I ₂	368	N, NO ₃ ⁻ (soil) (kg/ha)	487	P amino acid	680	SO ₄ ²⁻
55	Br ₂ AV	242	I ₂ AV	371	N, NO ₃ ⁻ LR	490	PO ₄ ³⁻ PV	685	SO ₄ ²⁻ AV
60	Cd	250	Fe (soil)	373	NO ₂ ⁻ HR	492	PO ₄ ³⁻ PV AV	690	S ²⁻
70	Cl ⁻	255	Fe ²⁺	375	N, NO ₂ ⁻ LR AV	494	P PV AV	700	S, SO ₄ ²⁻ (plant)
72	ClO ₂ LR	257	Fe ²⁺ AV	380	N, NH ₃ (Nessler)	496	P PV	705	S, SO ₄ ²⁻ (soil)
75	ClO ₂ HR	260	Fe FZ	385	N, NH ₃ (Salic)	501	Phosphonates	710	Surfactant, anionic
80	Cl ₂ F&T	265	Fe FV	391	N, NH ₃ (soil) A/F (ppm)	510	P, PO ₄ ³⁻ (plant)	720	Tannic Acid
85	Cl ₂ F&T AV	267	Fe FV AV	392	N, NH ₃ (soil) A/F (Lbs/Ac)	521	P (soil) A/F (ppm)	730	Tolyltriazole
90	Cr ⁶⁺	270	Fe TPTZ AV	393	N, NH ₃ (soil) A/F (kg/ha)	522	P (soil) A/F (Lbs/Ac)	750	FTU Turbidity
95	Cr ⁶⁺ AV	272	Fe TPTZ AV	399	TKN	523	P (soil) A/F (kg/ha)	770	Volatile Acids
100	Cr	275	Fe FM	401	Quaternary Ammonium	531	P (soil) Bic (ppm)	780	Zn
105	Cr ³⁺	280	Pb	410	Oil in Water	532	P (soil) Bic (Lbs/Ac)	790	Zn (soil)
110	Co	283	Pb FC (LEADTRAK™)	420	Organics (soil)	533	P (soil) Bic (kg/ha)		
120	Color (PtCo)	290	Mn LR (PAN)	430	COD LR	550	pAA LMW-10		Abbreviations
130	Cu (soil)	295	Mn HR	435	COD HR	555	pAA LMW-20	AF	Acid Fluoride
135	Cu Bionchinate	300	Mn (soil)	440	COD (Reflux)	560	pAA LMW-45	AV	AccuVac™
140	Cu Bionchinate AV	315	Mo ⁶⁺ LR	445	O ₂ HRDO	581	K (soil) A/F (ppm)	Bic	Bicarbonate
145	Cu Porph	320	Mo ⁶⁺ HR	446	O ₂ LRDO	582	K (soil) A/F (Lbs/Ac)	F&T	Free & Total
160	CN ⁻	330	Ni autocatalytic	448	O ₂ SHRDO	583	K (soil) A/F (kg/ha)	FC	Fast Column
170	Cyanuric Acid	335	Ni heptoisime	450	O ₂ DPD	591	K (soil) Bic (ppm)	FM	Famole™
180	DEHA	340	Ni PAN	452	O ₃ DPD AV	592	K (soil) Bic (Lbs/Ac)	FV	Famole™ ULR
190	F ⁻	351	N, NO ₃ ⁻ LR	454	O ₃ Indigo LR	593	K (soil) Bic (kg/ha)		

Figure 4.7 Liste des programmes du spectrophotomètre DR/2000.



Figure 4.8 Spectrophotomètre DR/2000.

4.2.4 Détermination du phosphore par colorimétrie

a) Référence

Méthode HACH standard for examination of water and wastewater.

b) Objet et domaine d'application

Ce qui suit décrit une méthode colorimétrique pour la détermination du phosphore réactif contenu dans les eaux de surface ou eaux usées.

c) Principe

Le phosphore dans les eaux naturelles et usées se trouve uniquement sous forme de phosphore. La seule forme de phosphore susceptible d'être déterminée directement est l'orthophosphate. Toutes les autres formes requièrent un prétraitement pour les transformer en orthophosphate et les analyser. L'orthophosphate réagit avec le molybdate en milieu acide pour produire un complexe phosphomolybdate, l'acide ascorbique réduit le complexe donnant une coloration intense de bleu de molybdène (Figure 4.9).

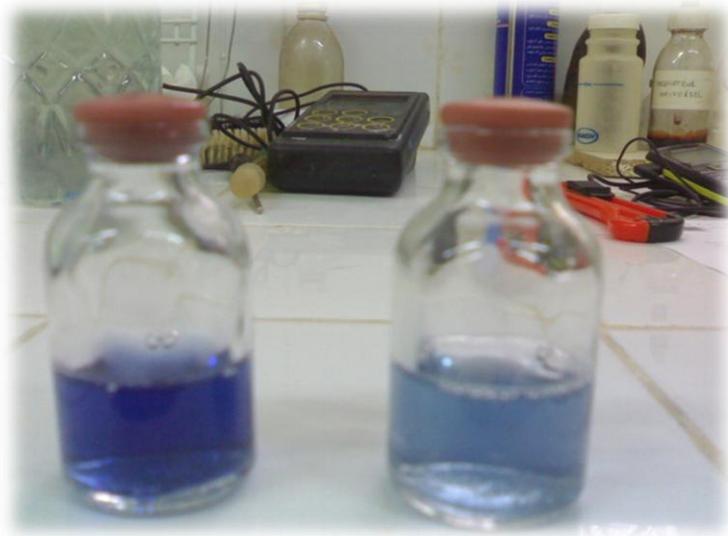


Figure 4.9 Détermination du phosphore par colorimétrie.

d) Réactif

- Gélules phos ver 3 (réactif HACH).
- Eau distillée.

e) Appareillage

- Spectrophotomètre type DR850 (Figure 4.10).

- Cellules en verre de 25 mL de capacité.

f) *Mode opératoire*

- Mettre en marche le DR850 en appuyant sur la touche "Power".
- Entrer le numéro de programme mémorisé pour le phosphore, presser 79 puis "Enter", l'affichage indique "PRG79 mg/L PO₄".



Figure 4.10 Colorimètre DR/850.

- Ensuite remplir un flacon avec l'eau à analyser.
- Ajouter le contenu d'une gélule de réactif phos ver3.
- Agiter pour bien mélanger.
- Un signal sonore est émis enfin de cette durée, le temps de réaction de 2 min s'affiche et doit être confirmé par pression sur la touche "Enter".
- Remplir un 2^{ème} flacon avec l'eau à analyser sans réactif (le blanc).
- Placer dans le puits de mesure le blanc, fermer le capot.

- Lorsque le signal sonore est émis, placer les échantillons préparés dans le puits de mesure et fermer le capot.
- Presser "Read", attendre l'affichage puis le résultat en "mg/L de PO₄".

4.2.5 Demande chimique en oxygène (DCO)

a) Référence

Méthode HACH adaptée de Jirka A.M., Carter M.J., Analytical Chemistry 47 (8) 1397 (1975).

b) Principe

La demande chimique en oxygène (DCO) est la concentration d'oxygène équivalente à la quantité d'un oxydant (dichromate) consommée par les matières oxydables dans un échantillon d'eau. La matière est oxydée, en milieu acide (H₂SO₄) et en présence d'un catalyseur (sulfate d'argent), par le dichromate de potassium (K₂Cr₂O₇) introduit en excès. L'oxydation s'effectue à une température de 148°C pendant 2 h, la lecture se fait par colorimétrie.

c) Réactifs

- Tube de réactifs pour la DCO (Figure 4.11).
- Eau distillée.

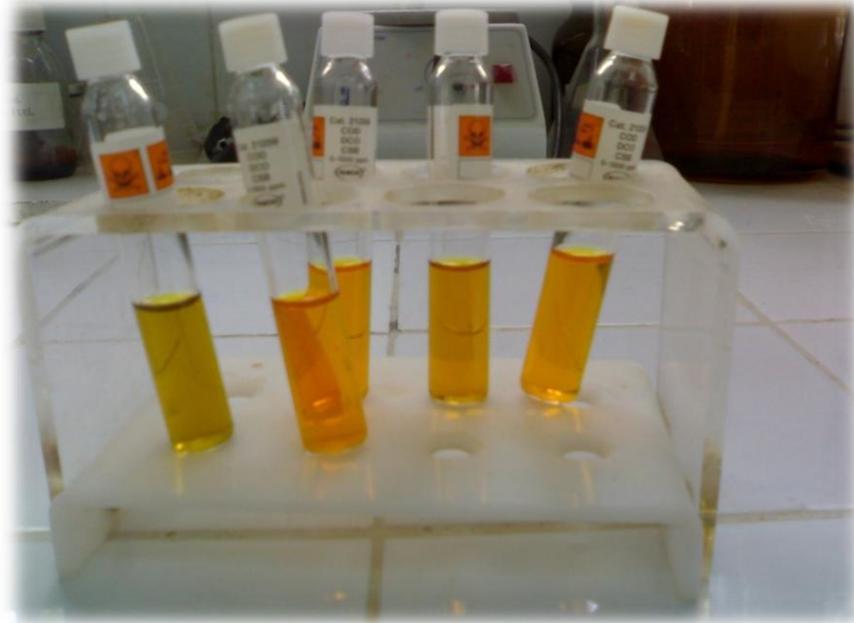


Figure 4.11 Tube de réactifs pour la DCO.

d) Appareillage

- Bloc chauffant à 148°C à 14 postes (Figure 4.12).
- Tubes bouchés avec joint téflon.
- Spectrophotomètre DR850.
- Pipette jaugée à 2 mL.



Figure 4.12 Bloc chauffant.

e) Mode opératoire

- Homogénéiser l'eau à analyser en agitant pendant 2 min.
- Allumer le bloc chauffant et préchauffer à 148°C.
- Retirer le bouchon d'un tube de réactif.
- Tenir le tube incliné à 45°, prélever 2 mL d'eau à analyser (ou d'eau distillée pour le blanc) et les introduire dans le tube.
- Après fermeture hermétique et homogénéisation, le tube est placé dans le réacteur (bloc chauffant) pendant 2 h à 148°C. Le tube est ensuite retiré du réacteur et refroidi à l'air libre.
- Entrer le numéro du programme mémorisé, pour la DCO c'est le programme 17; placer le blanc dans l'adaptateur, presser la touche "Zéro"; après le blanc placer le tube à analyser, presser la touche "Read" et l'affichage indique le résultat en mg/L.

*4.2.6 Demande biochimique en oxygène (DBO₅)**a) Référence*

Méthode HACH.

b) Objet et domaine d'application

Ce qui suit décrit une méthode manométrique (respirométrique) d'évaluation de la demande biochimique en oxygène pendant 5 jours (DBO₅) à l'obscurité et à l'aide d'un système de mesure OxiTop. Elle est appliquée eaux usées industrielles et domestiques (Figure 4.13).



Figure 4.13 Dispositif expérimental de la mesure de la DBO₅.

c) Principe

En fonction de la valeur de la DCO mesurée et de la valeur de DBO₅ suspectée, elle est introduite une quantité d'eau dans un flacon de mesure qui est relié au système manométrique. L'oxygène qui est absorbé par les microorganismes pour dégrader la matière organique (MO) est remplacé par l'air au-dessus de l'échantillon dans le flacon, le CO₂ produit est absorbé par la soude, la différence de pression est directement affichée à l'échelle manométrique en mg/L de DBO.

d) Réactifs

- Pastilles de soude caustique (NaOH).
- Eau distillée.

e) Appareillage

- Incubateur.
- Flacons d'échantillons bruns en verre de 500 mL de capacité.
- Barreaux magnétiques d'agitation.
- Dispositif d'agitation.
- Bouchons munis d'une carte électronique OxiTop (Figure 4.13).

f) *Mode opératoire*

Mettre en marche l'incubateur et fixer la température à 20°C. En fonction de la valeur de la DCO (de l'échantillon), choisir le volume de la prise d'essai à partir du Tableau 4.1.

Tableau 4.1 Détermination de la valeur de prise d'essai en fonction de la valeur de DCO (mg/L).

Marge de la DCO (mg/L)	Volume d'échantillon (mL)	Coefficient de conversion
0 – 40	432	1
40 – 80	365	2
80 – 200	250	5
200 – 400	164	10
400 – 800	97	20
800 – 2000	43,5	50

- Mesurer la prise d'essai et l'introduire dans le flacon brun.
- Introduire un barreau magnétique dans le flacon.
- Placer dans le col de la bouteille le support en caoutchouc qui contiendra deux pastilles en NaOH.
- Mettre le bouchon sans le serrer.
- Enclencher l'agitation pendant 1 h.
- Fermer la tête du flacon.
- Lancer l'analyse avec la télécommande.
- Noter le numéro de l'échantillon.
- Enregistrer quotidiennement la valeur de la DBO₅.
- Après le cinquième jour, lire la nouvelle valeur de la DBO₅. Le résultat correspond à la consommation d'oxygène en mg/L multipliée par le coefficient de conversion.

4.3 Essai de filtration de l'eau épurée sur sable de la région de HBK

L'utilisation de filtres à sable pour traiter des eaux usées domestiques est connue depuis très longtemps. Dans cette partie, nous allons tester la méthode de filtration sur sable et voir son efficacité dans les buts de :

- Améliorer le taux d'élimination des polluants physiques ;
- Minimiser les germes microbiens ;
- Minimiser l'utilisation accrue du chlore au moment de la désinfection.

a) Principe

La rétention des particules en suspension (MES) et des colloïdes se déroule à la surface des grains, grâce à des forces physiques. La plus ou moins grande facilité de fixation particulaire dépend étroitement des conditions d'exploitation du filtre et du type de matériaux utilisés. L'espace inter granulaire définit la capacité de rétention du filtre. Au fur et à mesure du passage de l'eau, cet espace se réduit, le filtre se colmate et les pertes de charge augmentent fortement. Il faut alors déclencher le rétro-lavage. La biomasse, qui se développe sur le matériau filtrant, peut efficacement réduire le taux d'ammonium de l'eau par la nitrification. La filtration permet une élimination correcte des bactéries, de la couleur, de la turbidité, et indirectement des odeurs [22]. Les analyses suivantes seront effectuées :

✓ *Paramètres de pollution particulaire*

- MES.
- Turbidité.

✓ *Paramètres bactériologiques*

- Coliformes totaux.
- Coliformes fécaux.
- Streptocoques fécaux.
- Clostridia sulfito-réductrices.

b) Préparation du sable de filtration

La préparation du milieu filtrant nécessite deux étapes :

- *Tamissage (analyse granulométrique)*

L'analyse granulométrique permet de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différentes familles de grains constituant les échantillons du sable (Annexe V, VI, VII, VIII, IX). Le sable utilisé est un mélange entre un sable fin et un sable grossier. La quasi-totalité des grains a un diamètre inférieur à 1 mm [23]. Le sable de filtration a été constitué de 04 couches différentes comme montré dans la Figure 4.14.

- *Lavage*

Après le tamissage, les fractions du gravier et du sable sont lavées avec de l'eau distillée afin d'éliminer toutes impuretés, puis séchées à l'étuve à une température de 120°C pendant 2 h.

c) Dispositif de filtration

Le dispositif expérimental est constitué d'un tube de PVC d'une hauteur de 54 cm. Le diamètre intérieur est de 10 cm. Le tube est alimenté de façon manuelle jusqu'à remplir le réservoir (Figure 4.15). Tout filtre est composé de trois parties :

- Le fond : Il doit être solide pour supporter le poids de l'eau, du sable, et du gravier. Il doit permettre la collecte et l'évacuation de l'eau filtrée ;
- Le gravier support : Il a pour rôle de retenir le sable et d'améliorer la distribution de l'eau de lavage dans le filtre ;
- Le matériau filtrant : Les matériaux utilisés sont des granules libres non adhérents les uns aux autres, insolubles, inattaquables ni par le liquide filtré ni par les particules solides retenues [22].

<ul style="list-style-type: none"> - 23 cm de sable fin (rouge et jaune). 		
<ul style="list-style-type: none"> - 06 cm de sable moyenne. 		
<ul style="list-style-type: none"> - 06 cm de sable grosse. 		
<ul style="list-style-type: none"> - 06 cm de gravier moyenne pour la séparation. 		
<ul style="list-style-type: none"> - 06 cm de gravier grosse pour le drainage. 		

Figure 4.14 Différentes couches de sable local constituant le filtre utilisé dans les essais.



Figure 4.15 Dispositif expérimental de la filtration sur sable.

Les essais de la filtration sont faits sur des échantillons de l'effluent après le traitement biologique et avant le décanteur, provenant de la station d'épuration (STEP) de Haoud Berkaoui (HBK). L'eau est versée dans le filtre de façon intermittente. Elle passe lentement et s'infiltre en traversant les couches du sable et du gravier. L'eau filtrée s'écoule naturellement vers le tuyau d'évacuation (Figure 4.16). On prend des mesures de pH, MES, et la turbidité, ainsi que les concentrations en coliformes totaux, coliformes fécaux, streptocoques fécaux et les clostridiums sulfito-réducteurs sur l'eau brute et l'eau filtrée. Les prélèvements des échantillons d'eau sont effectués dans des flacons en verre, d'une capacité de 250 mL, préalablement stérilisés.

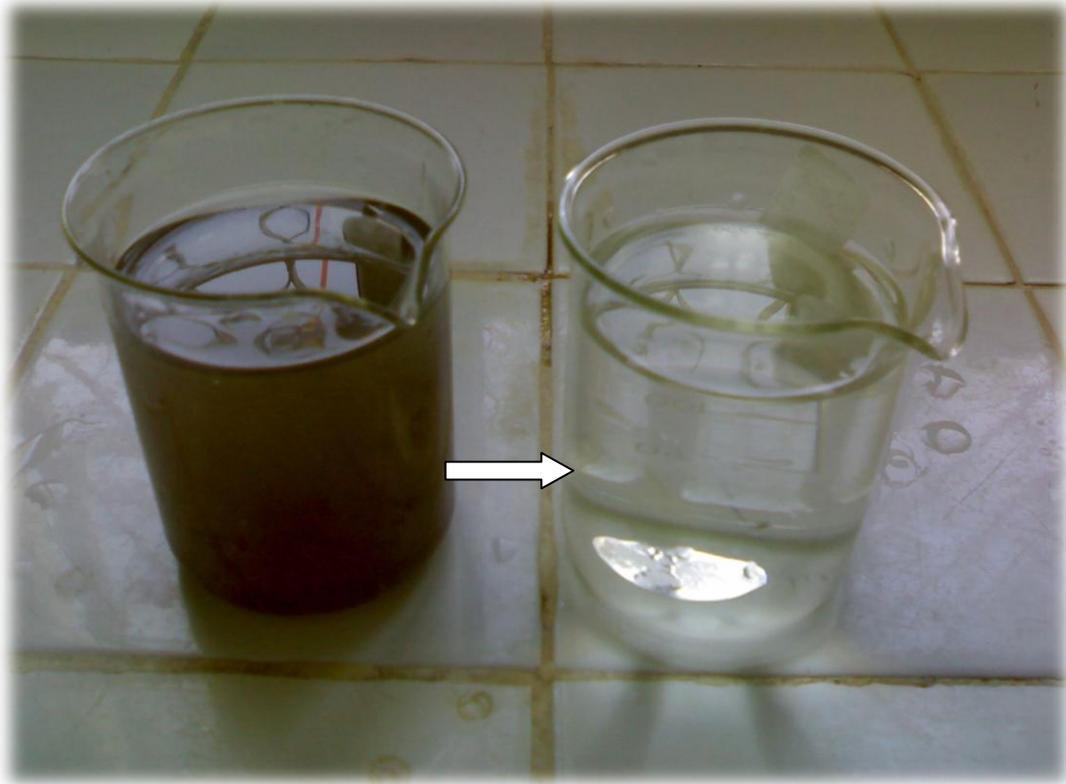
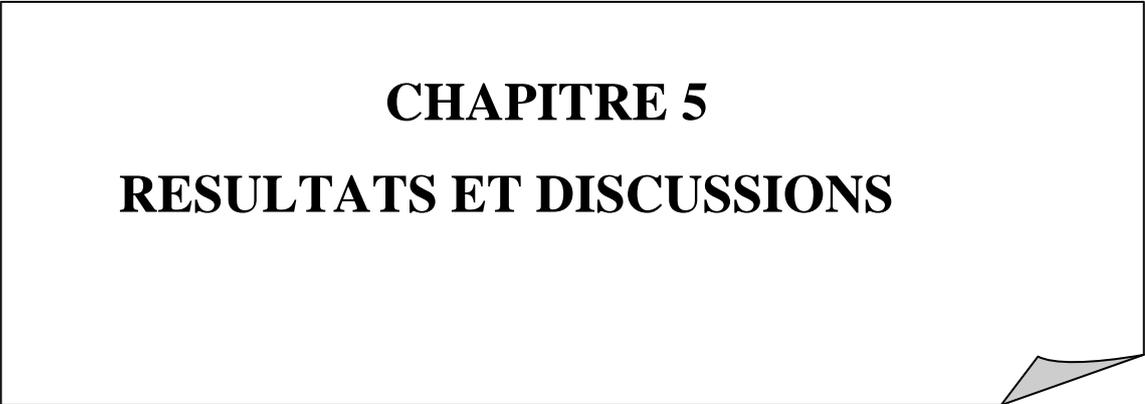


Figure 4.16 Changement de l'aspect physique de l'eau usée après la filtration sur sable.

CHAPITRE 5
RESULTATS ET DISCUSSIONS



CHAPITRE 5

Résultats et discussions

Dans ce chapitre, nous allons effectuer des analyses physicochimiques, sur les critères de pollution, et microbiologiques, sur la pollution microbienne, pour l'eau usée (EU) au niveau (Entrée, Aération, Recirculation, Sortie) de la Station d'Épuration (STEP) de la base de vie de Haoud Berkaoui (HBK) et vérifier sa fiabilité pour la réutilisation. En plus, des essais de filtration sur l'eau traitée biologiquement à la STEP seront également et leurs résultats discutés.

Les analyses physicochimiques concernent :

- Le pH,
- Les matières en suspension (MES),
- La turbidité,
- La demande chimique en oxygène (DCO),
- La demande biologique en oxygène (DBO₅),
- Les nitrites (NO₂),
- Les nitrates (NO₃),
- L'azote ammoniacal (N-NH₄),
- Les phosphates (PO₄),
- Le rapport *DCO/DBO₅*,
- Le volume de la boue (*V_B*),
- L'oxygène dissous (OD).

Les analyses microbiennes portent sur :

- Les coliformes totaux,
- Les coliformes fécaux,
- Les streptocoques fécaux,
- Les clostridium sulfite-réductrices.

5.1 Suivi du pH de l'eau usée

La Figure 5.1 présente l'évolution du pH de l'eau usée à l'entrée de la STEP de HBK.

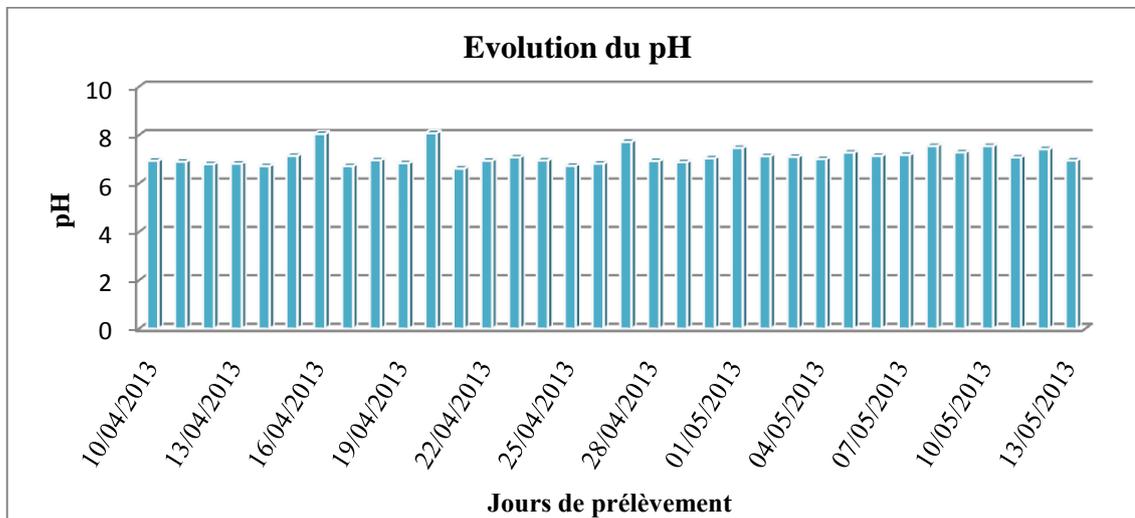


Figure 5.1 Variation du pH des EU à l'entrée de la STEP de HBK.

Les valeurs du pH mesurées sont entre 6,62 et 8,08; ceci est un fait courant dans le cas des EU urbaines. En d'autres termes, les rejets analysés dans la zone d'étude peuvent être classés comme des rejets urbains.

5.2 MES

La Figure 5.2 présente la variation des MES des EU à l'entrée de la STEP de HBK.

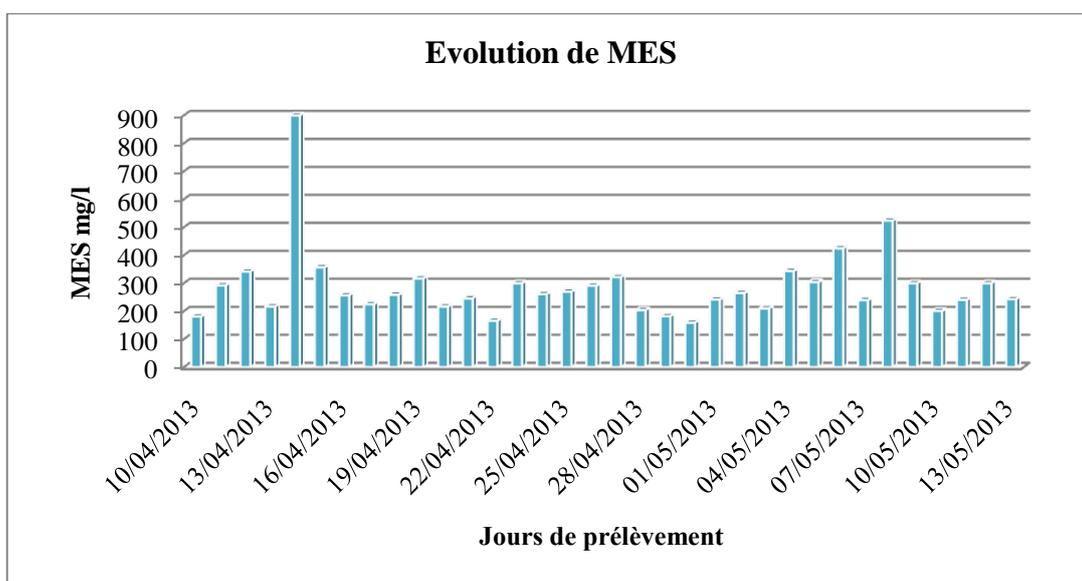


Figure 5.2 Variation des MES des EU à l'entrée de la STEP de HBK.

Les valeurs obtenues des MES sont dans une large gamme : entre 159 et 900 mg/L. Ceci peut être expliqué par l'état des réseaux d'assainissement. En plus, la présence du sable est fortement signalée d'une part; et d'autre part, la charge polluante (les pics sont dues au nettoyage du complexe de restauration).

5.3 Turbidité

La Figure 5.3 montre la variation de la turbidité des EU de l'entrée de la STEP de HBK.

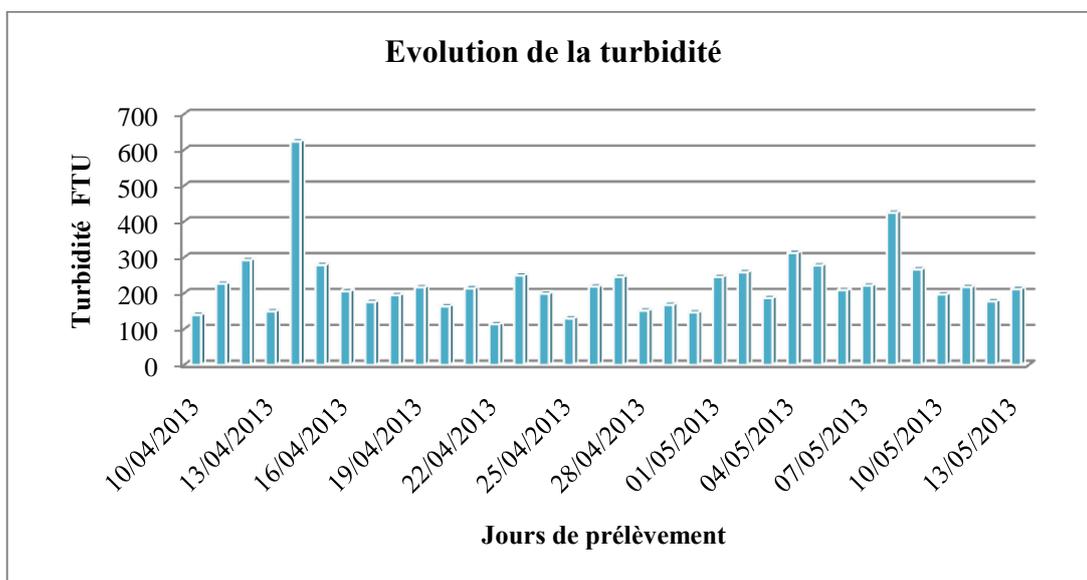


Figure 5.3 Variation de la turbidité des EU de l'entrée de la STEP de HBK.

Les valeurs trouvées de la turbidité sont limitées entre 114 et 624 FTU. La variation de la turbidité peut être expliquée par la présence des particules en suspension et des colloïdes dans l'eau.

5.4 DCO

La Figure 5.4 montre la variation de la DCO des EU brutes de la STEP de HBK.

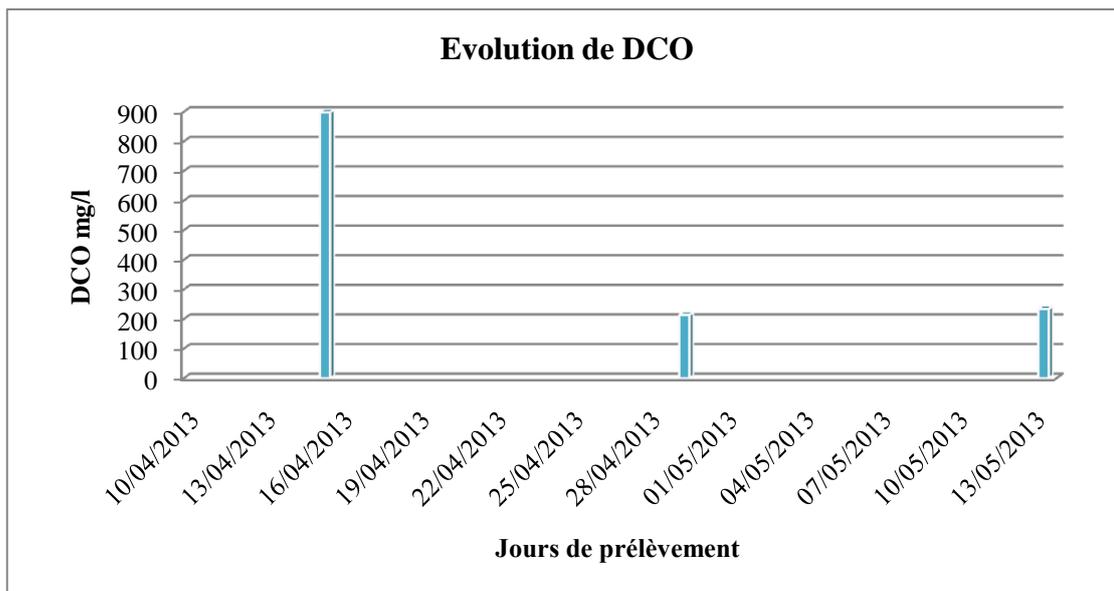


Figure 5.4 Variation de la DCO des EU de l’entrée de la STEP de HBK.

La DCO est comprise entre 214 et 898 mg/L. La variation de la DCO est à l’image de la DBO₅, ce qui est une caractéristique très importante pour les EU urbaines.

5.5 DBO₅

La Figure 5.5 montre la variation de la DBO₅ des EU de la STEP de HBK. La DBO₅ est comprise entre 150 et 550 mg/L.

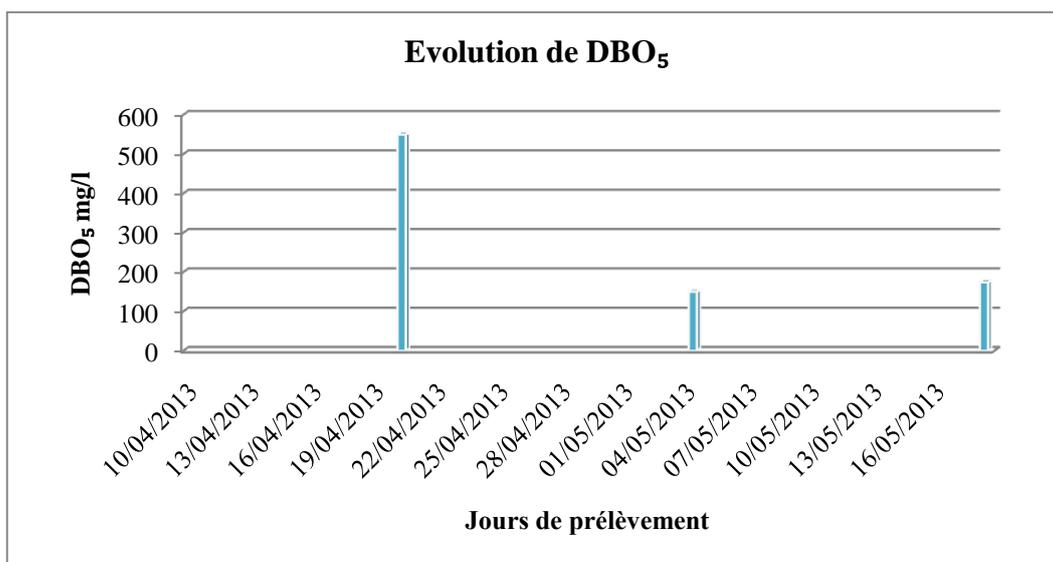


Figure 5.5 Variation de la DBO₅ des EU de l’entrée de la STEP de HBK.

5.6 Suivi du pH de l'eau usée aérée

La Figure 5.6 présente l'évolution du pH des EU de l'aération de la STEP de HBK.

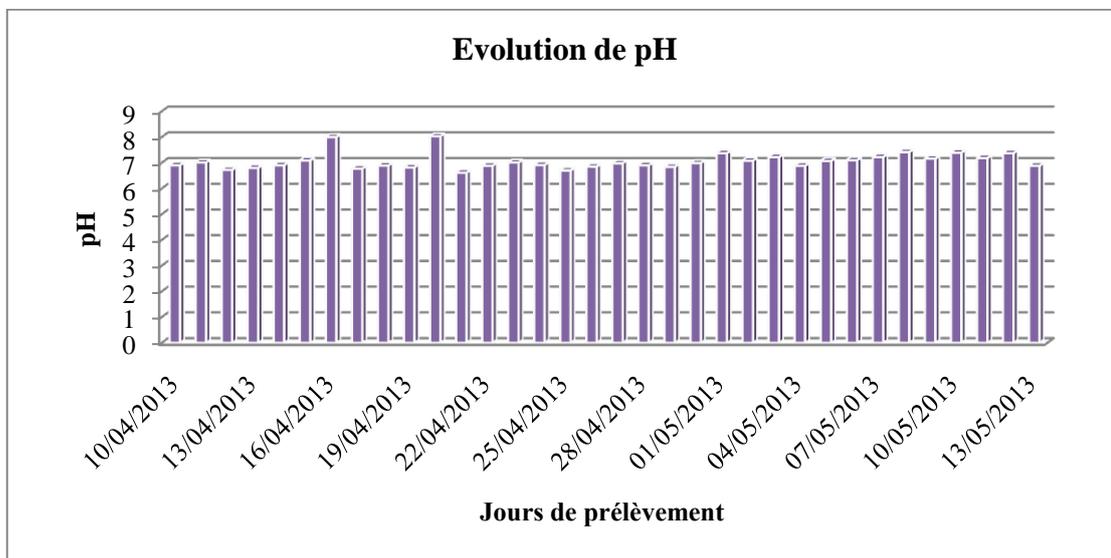


Figure 5.6 Variation du pH des EU de l'aération de la STEP de HBK.

Le fait que toutes les valeurs du pH mesurées sont entre 6,61 et 8,03 est courant dans ces cas.

5.7 MES

La Figure 5.7 présente la variation des MES des eaux de l'aération de la STEP de HBK.

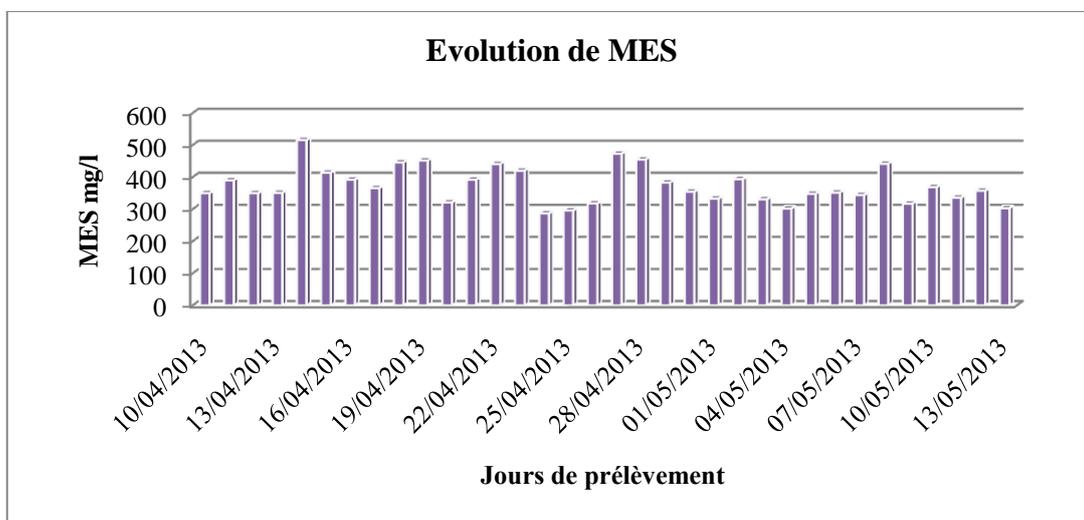


Figure 5.7 Variation des MES des EU de l'aération de la STEP de HBK.

Les valeurs obtenues des MES entre 287 et 516 mg/L.

5.8 Volume de boue (V_B)

La Figure 5.8 présente la variation du V_B des eaux de l'aération de la STEP de HBK.

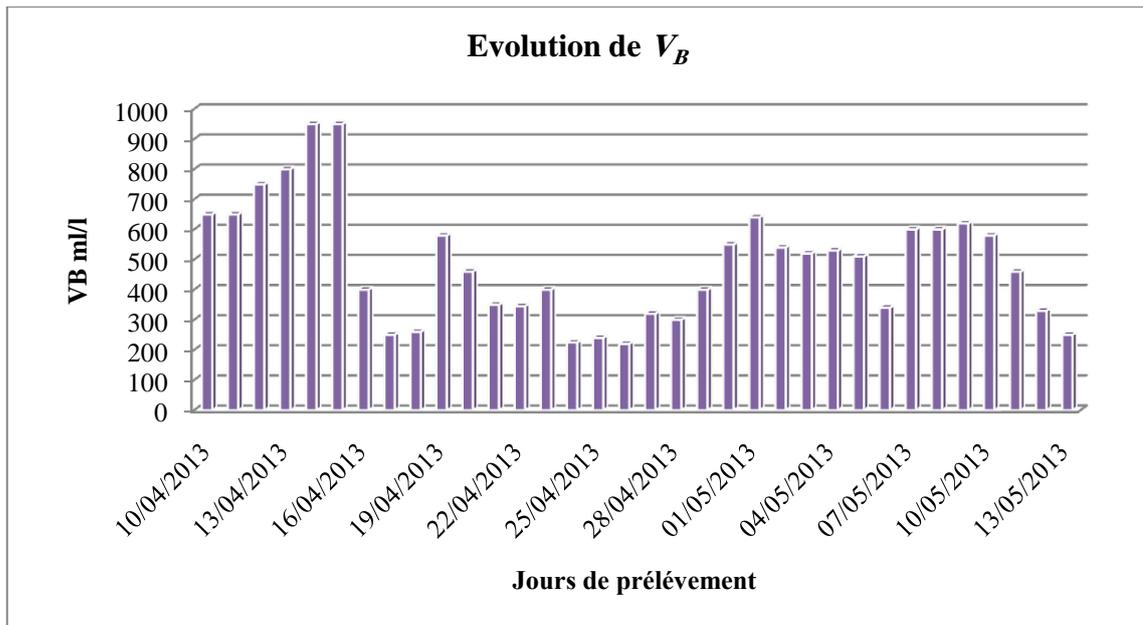


Figure 5.8 Variation du V_B des EU de l'aération de la STEP de HBK.

Les valeurs obtenues du V_B oscille entre 220 et 950 mL/L, ce qui peut être expliqué par (1) l'état de recirculation des boues activées et la présence du sable d'une part, (2) d'autre part, la charge polluante.

5.9 Oxygène dissous (OD)

La Figure 5.9 présente la variation de l'OD dans les eaux de l'aération de la STEP de HBK.

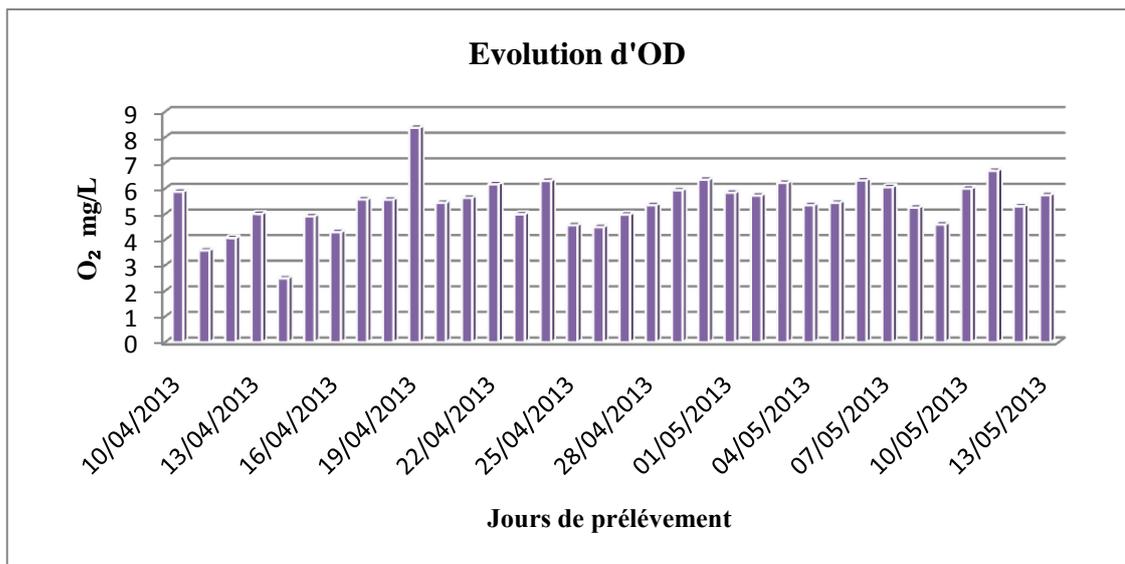


Figure 5.9 Variation d’OD des EU de l’aération de la STEP de HBK.

Le fait que toutes les valeurs d'OD mesurées sont entre 2,5 et 8,38 mg/L, ce qui peut être expliqué par la consommation de la biomasse par la matière organique (MO).

5.10 Température

La Figure 5.10 présente l'évolution de la température des eaux de l'aération de la STEP de HBK.

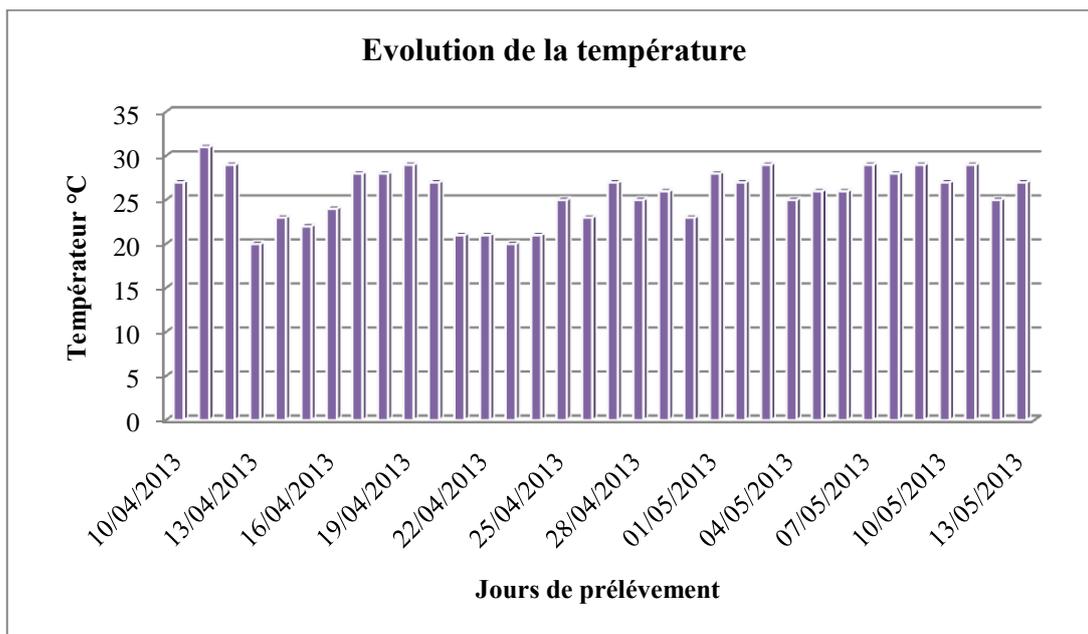


Figure 5.10 Variation de la température des EU de l’aération de la STEP de HBK.

La température de l'eau usée analysée oscille entre 20 et 31°C. Ceci est lié à la période et l'heure du prélèvement, néanmoins les valeurs de la température sont raisonnables.

5.11 Suivi du pH de l'eau usée de la recirculation

La Figure 5.11 présente l'évolution du pH des eaux de la recirculation de la STEP de HBK.

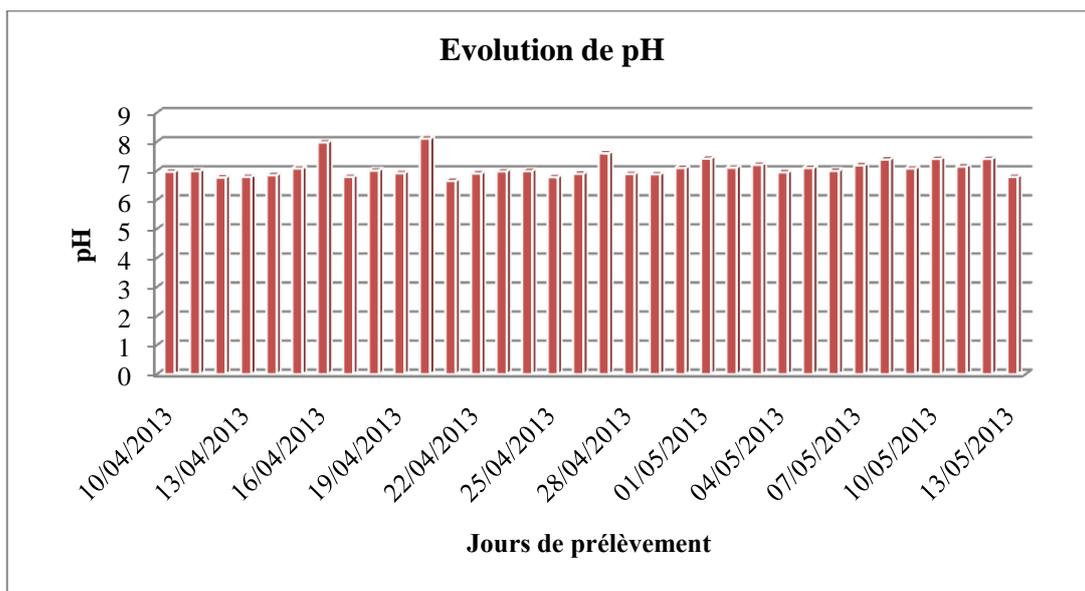


Figure 5.11 Variation du pH des EU de la recirculation de la STEP de HBK.

Toutes les valeurs du pH mesurées sont entre 6,65 et 8,11.

5.12 MES

La Figure 5.12 présente la variation des MES des eaux de la recirculation de la STEP de HBK.

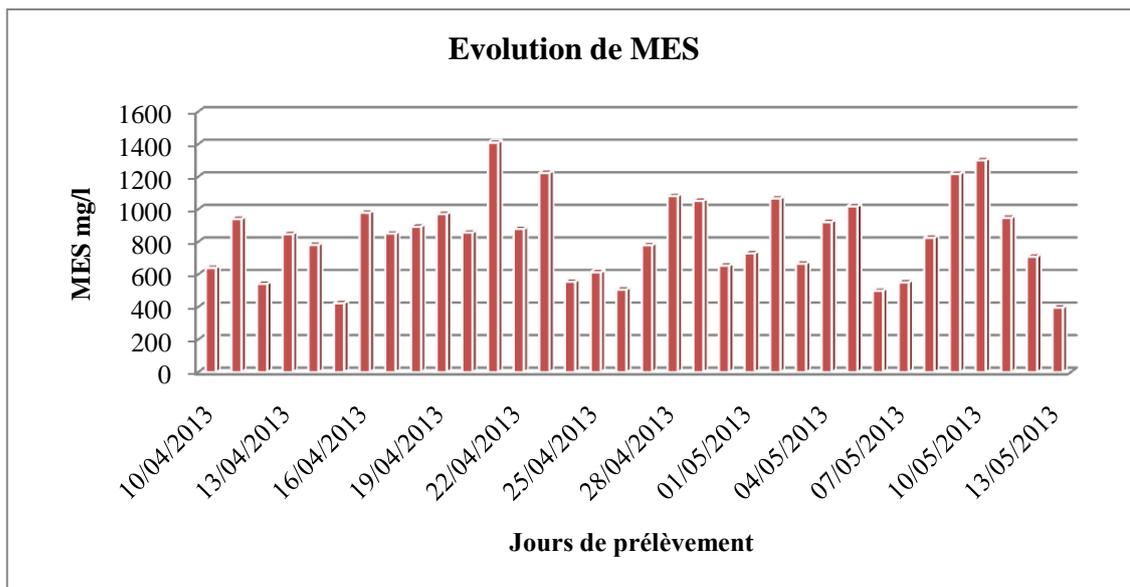


Figure 5.12 Variation des MES des EU de la recirculation de la STEP de HBK.

Les valeurs obtenues des MES oscillent entre 397 et 1410 mg/L. D'autre part, la charge polluante exprimée en termes de MES est relativement importante.

5.13 Volume de boue V_B

La Figure 5.13 présente l'évolution du V_B dans les eaux de la recirculation de la STEP de HBK.

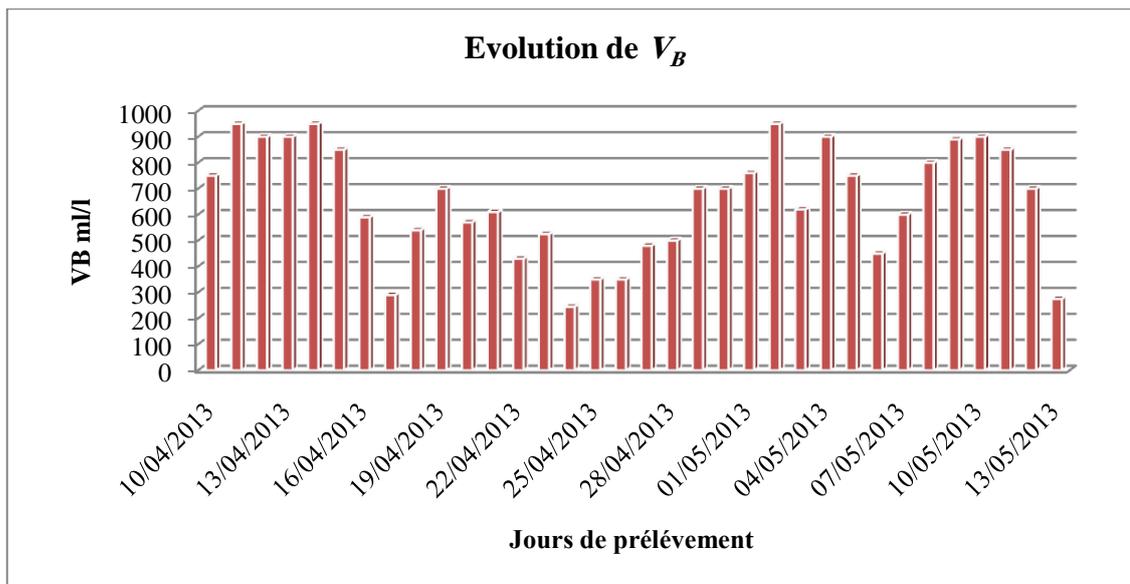


Figure 5.13 Variation du V_B des EU de la recirculation de la STEP de HBK.

Les valeurs obtenues du V_B oscille entre 245 et 950 mL/L, ce qui peut être expliqué par l'état de recirculation des boues activées.

5.14 Suivi du pH de l'eau usée à la sortie de la STEP

La Figure 5.14 présente l'évolution du pH des eaux de la sortie de la STEP de HBK.

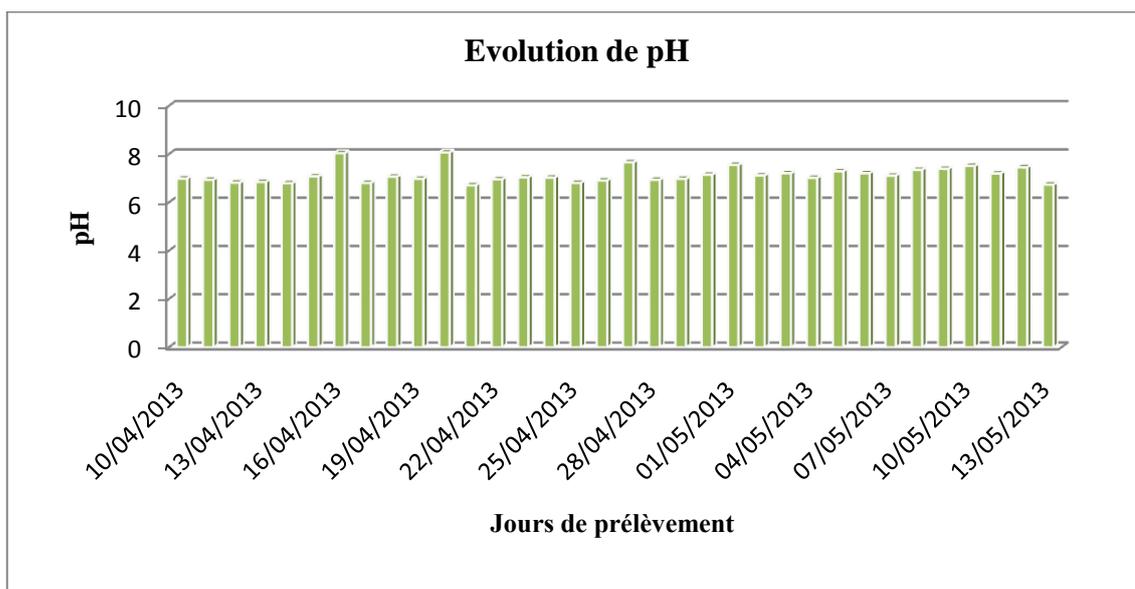


Figure 5.14 Variation du pH des EU de la sortie de la STEP de HBK.

Toutes les valeurs du pH mesurées sont entre 6,71 et 8,07. Les rejets analysés dans la zone d'étude peuvent être classés comme des rejets urbains,

5.15 MES

La Figure 5.15 présente l'évolution des MES des eaux de la sortie de la STEP de HBK.

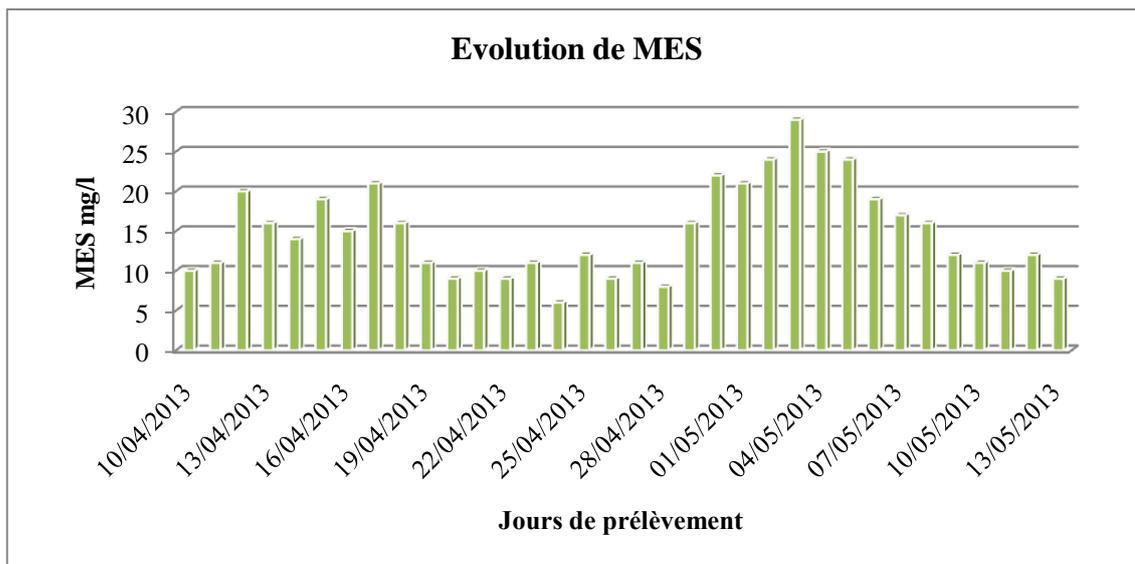


Figure 5.15 Variation des MES des EU de la sortie de la STEP de HBK.

Les valeurs obtenues des MES sont entre 6 et 29 mg/L.

5.16 Turbidité

La Figure 5.16 présente la variation de la turbidité des eaux de la sortie de la STEP de HBK.

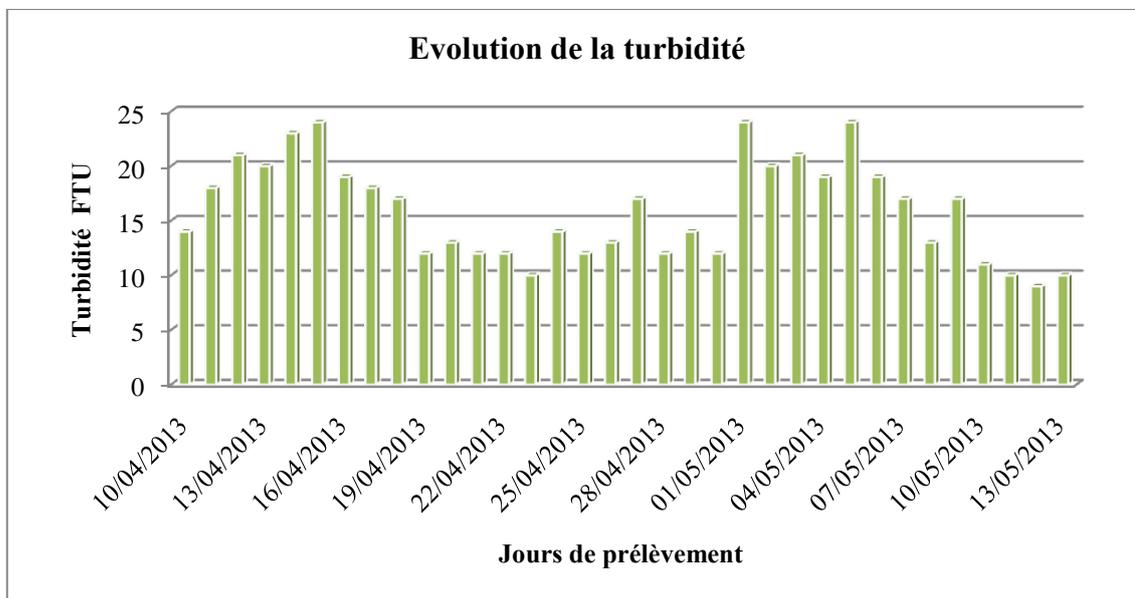


Figure 5.16 Variation de la turbidité des EU de la sortie de la STEP de HBK.

Les valeurs trouvées de la turbidité sont limitées entre 9 et 24 FTU. Ceci explique l'efficacité des différentes étapes de traitement à la STEP vis-à-vis de la turbidité.

5.17 DCO

La Figure 5.17 présente l'évolution de la DCO des eaux de la sortie de la STEP de HBK.

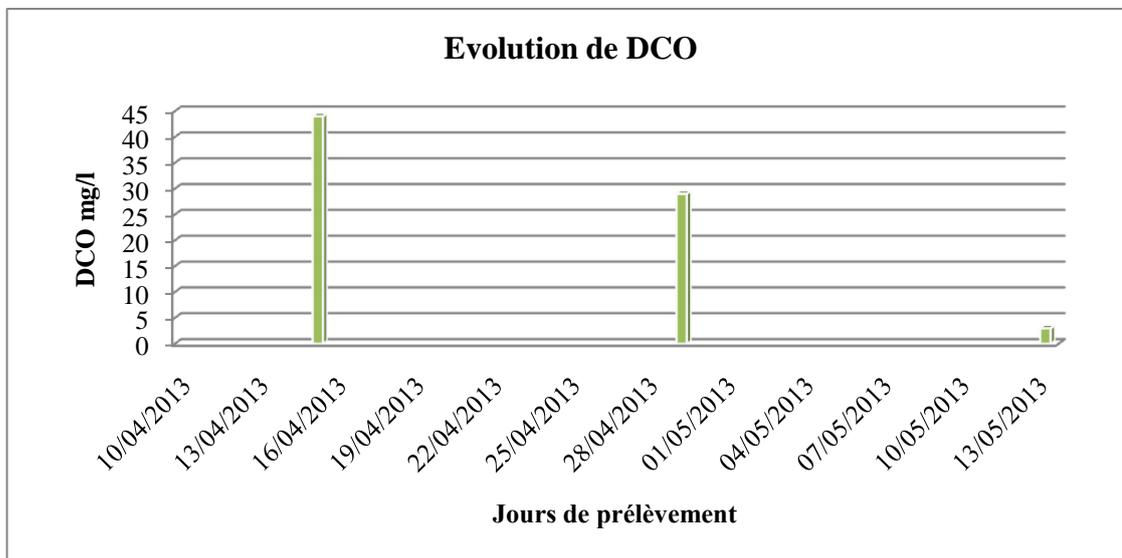


Figure 5.17 Variation de la DCO des EU de la sortie de la STEP de HBK.

La DCO, comprise entre 3 et 44 mg/L, est à l'image de la DBO₅.

5.18 DBO₅

La Figure 5.18 présente l'évolution de la DBO₅ des eaux de la sortie de la STEP de HBK.

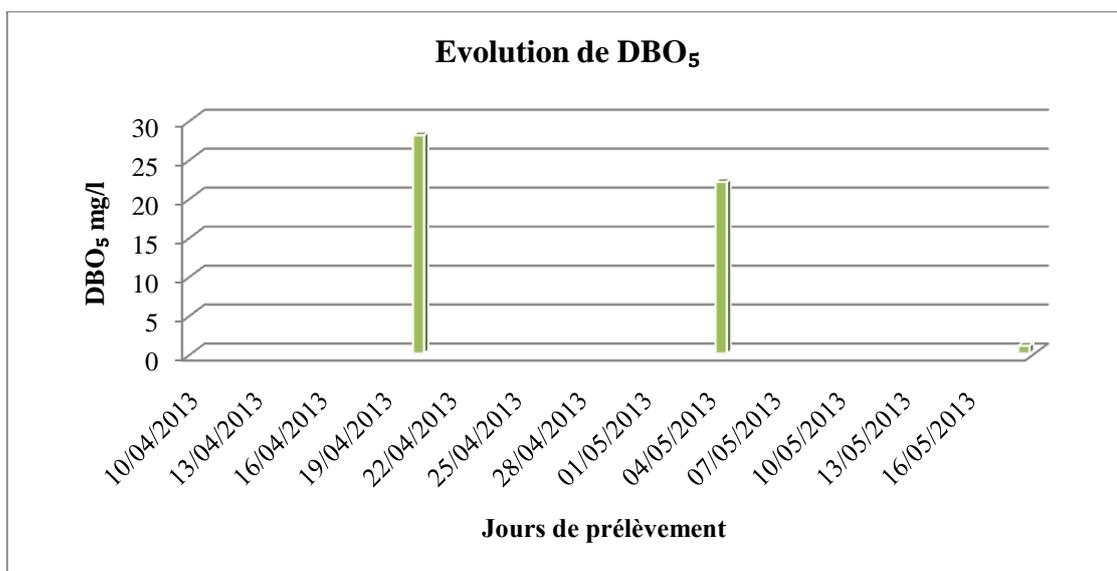


Figure 5.18 Variation de la DBO₅ des EU de la sortie de la STEP de HBK.

La DBO₅ est comprise entre 1 et 28 mg/L. Les valeurs obtenues reflètent l'état traité des EU analysées.

5.19 Nitrites

La Figure 5.19 présente l'évolution des nitrites dans les eaux de l'entrée et la sortie de la STEP de HBK.

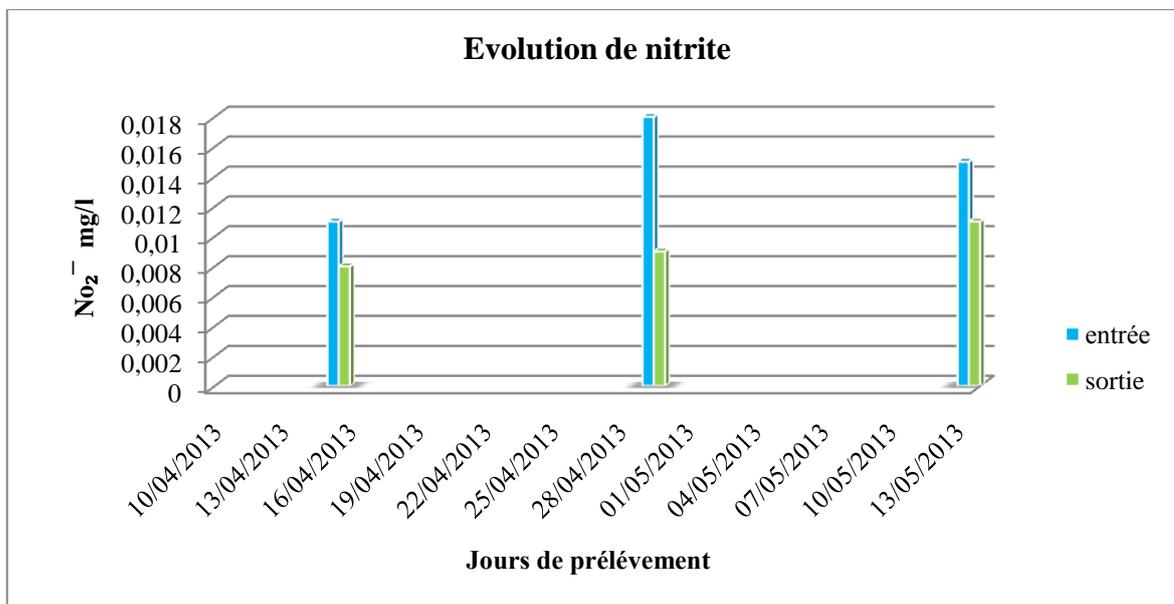


Figure 5.19 Variation des teneurs en nitrites des EU de la STEP de HBK.

Les valeurs de ce paramètre restent dans la gamme entre 0,008 et 0,018 mg/L. Ces valeurs permettant d'apprécier un bon déroulement du processus d'épuration biologique.

5.20 Nitrates

La Figure 5.20 présente l'évolution des nitrates dans les eaux de l'entrée et la sortie de la STEP de HBK.

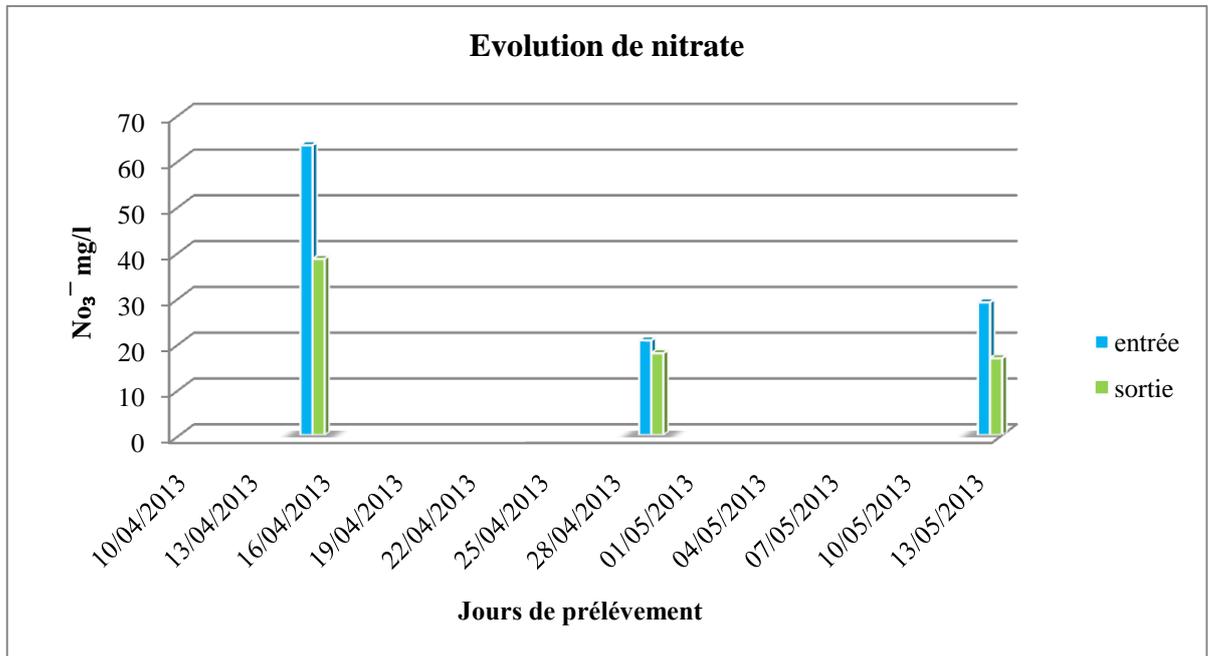


Figure 5.20 Variation des teneurs en nitrates des EU de la STEP de HBK.

Les valeurs obtenues des nitrates oscillent entre 16,8 et 63,3 mg/L, ce qui indique une adaptation du système d'épuration biologique.

5.21 Azote ammoniacal (N-NH₄)

La Figure 5.21 présente l'évolution de l'azote ammoniacal dans les eaux de l'entrée et la sortie de la STEP de HBK.

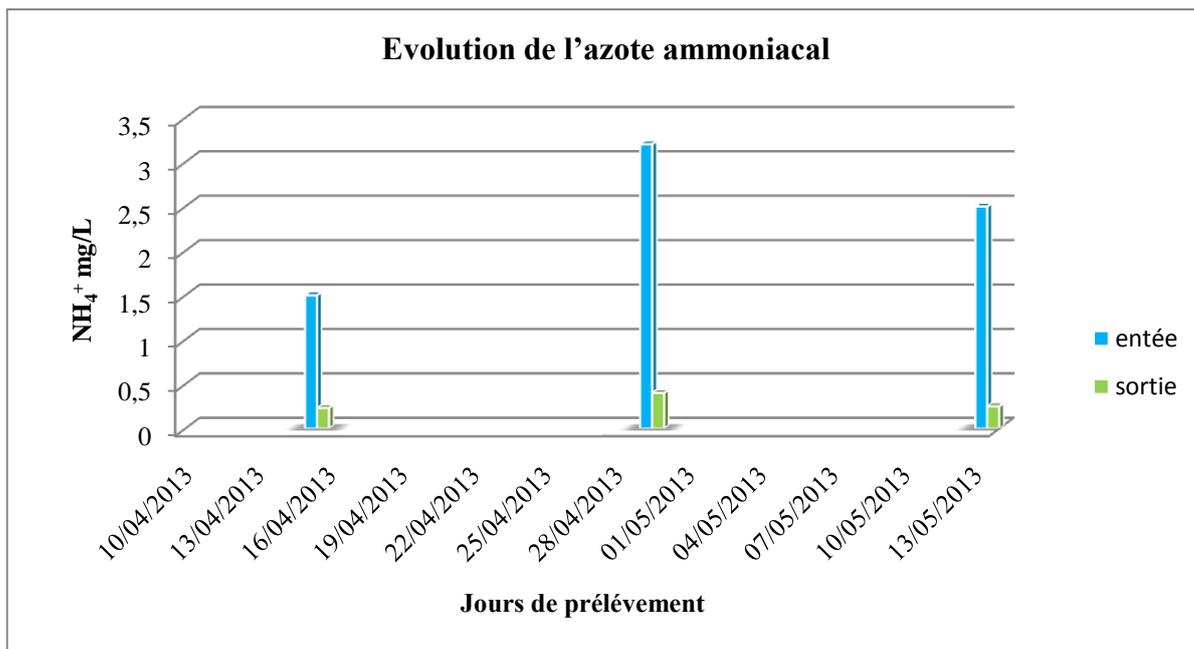


Figure 5.21 Variation des teneurs en azote ammoniacal des EU de la STEP de HBK.

Les valeurs obtenues en ion d’ammonium oscillent entre 0,23 et 3,2 mg/L, ce qui indique une adaptation de système d’épuration biologique.

5.22 Phosphore

La Figure 5.22 présente l'évolution du phosphore dans les eaux de l'entrée et la sortie de la STEP de HBK.

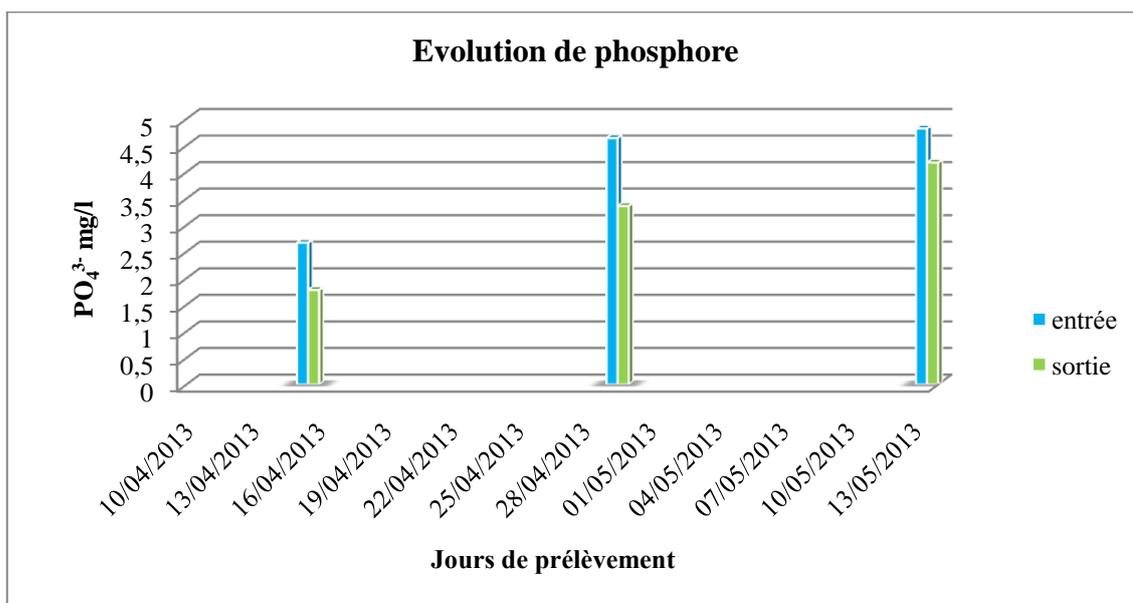


Figure 5.22 Variation des teneurs en phosphores des EU de la STEP de HBK.

Les valeurs obtenues du phosphore oscillent entre 1,78 et 4,82 mg/L, ce qui indique une adaptation de système d'épuration biologique.

5.23 Détermination du rapport de la biodégradabilité DCO/DBO_5

Les EU sont chargés des deux matières, minérale et organique, pouvant être en suspension ou en solution. Il existe un grand nombre de procédés de traitements des EU dont l'application dépend à la fois des caractéristiques des EU à traiter et du degré d'épuration désiré.

Le rapport $\frac{DCO}{DBO_5}$ donne une estimation de la biodégradabilité des matières présentes dans l'eau usée. La biodégradabilité est la capacité d'une substance à être décomposée par les microorganismes décomposeurs, qui sont les bactéries.

Ainsi on estime l'effluent :

- Si $\frac{DCO}{DBO_5} < 1$: l'effluent est excellent pour le traitement biologique ;
- Si $1 < \frac{DCO}{DBO_5} < 2,5$: bonne traitabilité par voie biologique (c'est le cas le plus courant des EU urbaines).
- Si $2,5 < \frac{DCO}{DBO_5} < 3,5$: possibilité de traitement biologique mais avec adaptation de souches ;
- Si $\frac{DCO}{DBO_5} > 3,5$: le traitement biologique est impossible, on doit procéder à un traitement physicochimique [24].

La Figure 5.23 présente l'évolution du rapport DCO/DBO_5 dans les eaux de la STEP de HBK.

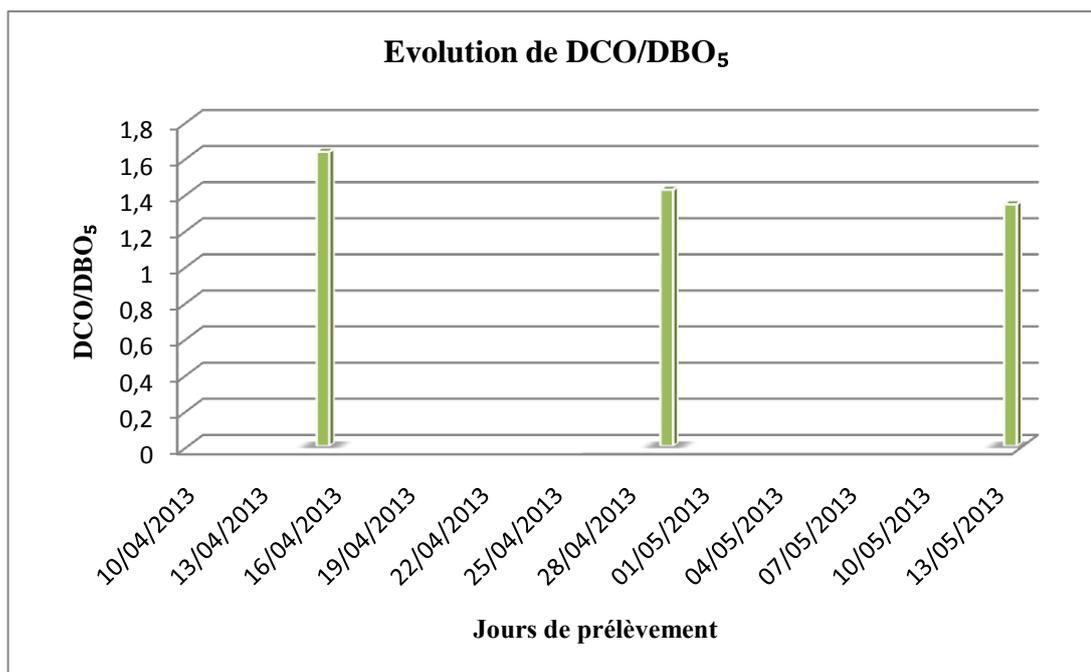


Figure 5.23 Variation du rapport DCO/DBO_5 des EU de la STEP de HBK.

Le fait que toutes les valeurs du rapport DCO/DBO_5 obtenues sont inférieures à 2,5 caractérise les EU analysées. Par conséquent, le traitement biologique est possible.

5.24 Rendement instantané de la STEP

Le Tableau 5.1 représente le rendement instantané (RI) de la STEP et calculé par les formules suivantes :

$$RI = [(MO + MES)_{Amont} - (MO + MES)_{Aval}] / [(MO + MES)_{Amont}] \times 100 \quad (5.1)$$

$$MO = (DCO + 2 \times DBO_5) / 3 \quad (5.2)$$

Tableau 5.1 Rendement de la STEP de HBK.

	DCO (mg/L) amont	DBO ₅ (mg/L) amont	MES (mg/L) amont	Rendement instantané (%)	DCO (mg/l) aval	DBO ₅ (mg/l) aval	MES (mg/l) aval
15/04/2013	898	550	357	94,88	44	28	19
29/04/2013	214	150	182	88,58	29	22	16
13/05/2013	234	174	243	97,56	3	1	9
Rendement moyen (%)				93,67			

5.25 Résultats des analyses physicochimiques

Le Tableau 5.2 représente les moyennes des résultats d'analyses physicochimiques de l'eau épurée de la STEP durant la période allant du 10/04 jusqu'au 13/05/2013.

Tableau 5.2 Moyennes des résultats d'analyses physicochimiques de l'eau épurée de la STEP.

Paramètres	Unité	Moyenne	Normes SONATRACH	Normes OMS
pH		7,14	6,5-8,5	6,5-8,4
MES	mg/L	14,85	≤ 30	< 70
Turbidité	FTU	15,91	≤ 30	/
DCO	mg/L	25,33	≤ 90	< 40
DBO ₅	mg/L	17	≤ 30	< 10
NO ₃	mg/L	24,4	≤ 50	< 50
NO ₂	mg/L	0,014	Traces	< 1
N-NH ₄	mg/L	0,29	≤ 0,1	< 2
PO ₄	mg/L	3,10	≤ 16	< 0,94
DCO/DBO ₅	/	1,49	/	/

- Les valeurs portées au Tableau 5.2 montrent que toutes les valeurs sont dans les normes de la SONATRACH sauf celle de N-NH₄ qui est supérieure à 0,1 mg/L.
- Les valeurs suivantes selon les normes de l'OMS :
 - ✓ Une valeur de pH comprise dans la norme de la FAO qui est de 6,5 à 8,4.
 - ✓ Une valeur des MES nettement inférieure à la norme recommandée par la FAO qui est de 70 mg/L.
 - ✓ Les valeurs des ions d'ammonium dans la norme de l'OMS qui est inférieure à 2 mg/L.
 - ✓ Une valeur de phosphore supérieure à la norme de l'OMS qui est à 0,94 mg/L.
 - ✓ Une valeur de nitrates dans la norme de l'OMS qui est inférieure à 50 mg/L.
 - ✓ D'après les normes recommandées par la FAO, les EU épurées doivent présenter une DBO₅ > 10 mg/L et une DCO < 40 mg/L. L'eau épurée présente une DBO₅ de 17 mg/L et une DCO de 25,33 mg/L.

5.26 Résultats de la filtration sur sable

L'étude de l'efficacité de la filtration sur sable vise à suivre la réduction des MES et la pollution microbienne présentes dans l'effluent épuré de la STEP de HBK. Les mesures du pH, la turbidité, les MES, la teneur en coliformes totaux, coliformes fécaux, streptocoques fécaux, et les clostridiiums sulfito-réductrices dans l'eau brute et l'eau filtrée.

a) pH

Le Tableau 5.3 présente les valeurs du pH des eaux avant et après la filtration sur sable de la STEP de HBK.

Tableau 5.3 Résultats obtenus pour le pH.

	Avant filtration	Après filtration
09/05/2013	7,28	7,34
10/05/2013	7,48	7,49
11/05/2013	7,15	7,28
12/05/2013	7,38	7,22
13/05/2013	7,12	7,05
Moyenne	7,28	7,27

Les valeurs obtenues du pH sont entre 7,05 et 7,49.

b) MES

Le Tableau 5.4 présente les valeurs des MES des eaux avant et après la filtration sur sable de la STEP de HBK.

Tableau 5.4 Résultats obtenus pour les MES.

	Avant filtration	Après filtration
09/05/2013	298	3
10/05/2013	321	1
11/05/2013	310	1
12/05/2013	245	0
13/05/2013	365	2
Moyenne	307,8	1,4
Rendement (%)	99,5	

Les essais de traitement des EU par filtration sur sable montrent un rendement d'élimination moyenne des MES de 99,5%.

c) Turbidité

Le Tableau 5.5 présente les valeurs de la turbidité des eaux avant et après la filtration sur sable de la STEP de HBK.

Tableau 5.5 Résultats obtenus pour la turbidité.

	Avant filtration	Après filtration
09/05/2013	230	1
10/05/2013	271	0
11/05/2013	297	1
12/05/2013	212	1
13/05/2013	301	2
Moyenne	262,2	1
Rendement (%)	99,6	

Les essais de traitement des EU par filtration sur sable montrent un rendement d'élimination moyen de 99,6%.

d) Coliformes totaux

Le Tableau 5.6 présente la concentration en coliformes totaux (germes/100 mL) de l'eau brute et l'eau filtrée sur sable de la STEP de HBK.

Tableau 5.6 Résultats obtenus pour les coliformes totaux.

	Avant filtration (UFC/100 mL)	Après filtration (UFC/100 mL)
11/05/2013	9,80E+06	9800
12/05/2013	9,20E+06	7200
13/05/2013	8,90E+06	5100
Moyenne	9,30E+06	7366,66
Rendement (%)	99,92	

Les résultats des analyses effectuées sur l'EU après le traitement par filtration sur sable montrent une diminution significative de la concentration en coliformes totaux, avec une moyenne de 7366,66 germes/100 mL et un rendement de 99,92%.

e) *Coliformes fécaux*

Le Tableau 5.7 présente la teneur en coliformes fécaux (germes/100 mL) de l'eau brute et filtrée par filtration sur sable de la STEP de HBK.

Tableau 5.7 Résultats obtenus pour les coliformes fécaux.

	Avant filtration (UFC/100 mL)	Après filtration (UFC/100 mL)
11/05/2013	3,40E+06	320
12/05/2013	3,90E+06	460
13/05/2013	2,80E+06	180
Moyenne	3,37E+06	320
Rendement (%)	99,99	

Les résultats des analyses effectuées sur l'eau après le traitement par filtration sur sable montrent une diminution significative de la concentration en coliformes fécaux, avec une moyenne de 320 germes/100 mL et un rendement de 99,99%.

f) *Streptocoques fécaux*

Le Tableau 5.8 présente la teneur en streptocoques fécaux (germes/100 mL) de l'eau brute et filtrée par filtration sur sable de la STEP de HBK.

Tableau 5.8 Résultats obtenus pour les streptocoques fécaux.

	Avant filtration (UFC/100 mL)	Après filtration (UFC/100 mL)
11/05/2013	4,20E+04	1200
12/05/2013	3,90E+04	870
13/05/2013	2,30E+04	150
Moyenne	3,47E+04	740
Rendement (%)	97,86	

Les résultats des analyses effectuées sur l'eau après le traitement par filtration sur sable montrent une diminution significative de la concentration en streptocoques fécaux, avec une moyenne de 740 germes/100 mL et un rendement de 97,86%.

g) *Clostridium sulfito-réductrices*

Le Tableau 5.9 présente la teneur en clostridium sulfito-réductrices (germes/20 mL) de l'eau brute et filtrée par filtration sur sable de la STEP de HBK.

Tableau 5.9 Résultats obtenus pour les clostridium sulfito-réductrices.

	Avant filtration (UFC/20 mL)	Après filtration (UFC/20 mL)
11/05/2013	Présence	Absence
12/05/2013	Présence	Absence
13/05/2013	Présence	Absence
Rendement (%)	100	

Les résultats des analyses effectuées sur l'eau après le traitement par filtration sur sable montrent une diminution totale de la concentration en clostridium sulfito-réductrices, avec un rendement de 100%.

h) *Rendement instantané du filtre à sable*

Le Tableau 5.10 représente le rendement instantané qui est calculé par les formules (5.1) et (5.2).

Tableau 5.10 Rendement d'élimination de la MO après filtration sur sable.

Date	13/05/2013	
Echantillon	Avant filtration	Après filtration
DCO (mg/L)	748	57
DBO₅ (mg/L)	540	10
MES (mg/L)	307,8	1,4
MO (mg/L)	609,33	25,66
RI (%)	97,04	

Les essais de traitement des eaux par filtration sur sable ont montré un rendement d'élimination de 97,04%.

i) Résultats d'analyses physicochimiques et bactériologiques

Le Tableau 5.11 présente les moyennes des résultats d'analyses physicochimiques et bactériologiques de l'eau épurée par filtration sur sable.

Tableau 5.11 Moyennes des résultats d'analyses physicochimiques et bactériologiques de l'eau épurée par filtration sur sable.

Paramètres	Unité	Moyenne	Normes SONATRACH	Normes OMS
pH		7,27	6,5-8,5	6,5-8,4
MES	mg/L	1,4	≤ 30	< 70
Turbidité	FTU	1	≤ 30	/
DCO	mg/L	57	≤ 90	< 40
DBO₅	mg/L	10	≤ 30	< 10
NO₃⁻	mg/L	13,5	≤ 50	50
NO₂⁻	mg/L	0,012	Traces	< 1
NH₄⁺	mg/L	0,5	≤ 0,1	< 2
PO₄³⁻	mg/L	2,65	≤ 16	< 0,94
Coliformes totaux	UFC/100 mL	7366,66	-	/
Coliformes fécaux	UFC/100 mL	320	-	< 1000
Streptocoques fécaux	UFC/100 mL	740	-	< 1000
Clostridium sulfito-réductrices	UFC/20 mL	Absence	-	/

Les valeurs portées au Tableau 5.11 montrent que toutes les valeurs sont dans les normes selon SONATRACH sauf :

- N-NH₄ > 0,1 mg/l.

Les valeurs suivantes selon les Normes de l'OMS sont dans les normes sauf :

- DCO > 40 mg/L.
- PO₄ > 0,94 mg/L.

Les résultats d'analyses bactériologiques révèlent la diminution significative du nombre de bactéries en UFC/100 mL pour les coliformes totaux, les coliformes fécaux,

les streptocoques fécaux, et les clostridiiums sulfito-réductrices après le traitement par filtration sur sable.

j) Comparaison entre les analyses de la STEP et filtration sur sable

Le Tableau 5.12 présente une comparaison entre les moyennes des résultats d'analyses physicochimiques et bactériologiques de l'eau épurée par la STEP-HBK et la filtration sur sable.

Tableau 5.12 Comparaison entre les résultats d'analyses de l'eau épurée par la STEP et la filtration sur sable.

Paramètres	Unité	Moyenne STEP	Avant Filtration	Normes OMS	Après Filtration
pH		7,14	7,28	6,5-8,4	7,27
MES	mg/L	14,85	307,8	< 70	1,4
Turbidité	FTU	15,91	262,2	/	1
DCO	mg/L	25,33	748	< 40	57
DBO₅	mg/L	17	540	< 10	10
NO₃⁻	mg/L	24,4	14,3	50	13,5
NO₂⁻	mg/L	0,014	0,012	< 1	0,012
NH₄⁺	mg/L	0,29	1,72	< 2	0,5
PO₄³⁻	mg/L	3,10	4,66	< 0,94	2,65
Coliformes totaux	UFC/100 mL	2,20E+06	9,30E+06	/	7366,66
Coliformes fécaux	UFC/100 mL	1,30E+06	3,37E+06	< 1000	320
Streptocoques fécaux	UFC/100 mL	2,80E+04	3,47E+04	< 1000	740
Clostridiiums sulfito-réductrices	UFC/20 mL	Présence	Présence	Absence	Absence

Après avoir comparé les deux analyses on préfère ajouter un procédé de filtration sur sable après le traitement biologique pour obtenir une meilleure de qualité de l'eau et un rendement épuratoire plus satisfaisant.

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Le présent travail a abordé la problématique de traitement des eaux usées dans notre pays. L'Algérie comporte d'importantes unités industrielles dont les besoins en eau sont de plus en plus importants, face à une dégradation de cette ressource liée à la pollution de l'environnement.

Nous nous sommes attachés dans la première partie de ce manuscrit à faire une description de la région de Haoud Berkaoui (HBK). Un aperçu général sur la station d'épuration (STEP) de HBK est donné en apportant des connaissances sur : (1) le fonctionnement de différentes filières, (2) le principe des procédés de traitement et leurs caractéristiques, (3) les généralités sur la réutilisation des eaux épurées, (4) les objectifs et les domaines de la réutilisation des eaux traités.

Dans un premier temps, l'étude a permis de caractériser les effluents issus de la STEP de HBK en effectuant des analyses physicochimiques et bactériologiques. Les résultats obtenus présentent un rendement épuratoire moyen égale à 93,67%.

Dans un second lieu, nous avons proposé le traitement par filtration sur sable pour améliorer l'efficacité d'épuration tout en améliorant la qualité des eaux a la sortie de la STEP dans le but de les valoriser en agriculture.

En analysant les résultats obtenus, il paraît que le procédé de filtration est une technique simple à mettre en œuvre, permettant de réduire efficacement la pollution particulaire, 99,5% des MES et 99,6% de la turbidité, un taux d'abattement de 99,92% des coliformes totaux et 100% des clostridium sulfito-réductrices, avec un rendement moyen qui est de l'ordre de 97,16%.

Les résultats d'analyses, de l'effluent traité, respectent les normes en matière de valorisation dans le domaine urbain et/ou agricole. A cet effet, nous suggérons la réutilisation de ses eaux dans :

- L'irrigation des espaces verts et terrains de sport ainsi que la base de vie de la SONATRACH.
- Les lavages des voiries.
- Les travaux de construction en génie-civil.

- Les réseaux anti-incendie de la base de vie et les installations industrielles.
- Les recharges de la nappe du turonien.
- En industrie pétrolière : tels que les circuits de refroidissement, le lavage et la réinjection dans les puits pétroliers pour le maintien de la pression du gisement.

A chaque usage possible, il y a un risque sanitaire particulier, pour ce, nous recommandons les précautions suivantes :

- Pour prévenir le risque des légionnelles, il faut surveiller le système de distribution. En d'autres termes, éviter la présence de conduites près de chaudières, par exemple, et veiller à maintenir la température de l'eau au-dessous de 25°C ou au-dessus de 60°C, températures limites de leur développement.
- Maintenance périodique des réseaux (nettoyage, débouchage, etc.).
- L'irrigation par aspersion à bannir, car elle favorise la dispersion des germes pathogènes (l'irrigation de surface et/ou souterraine est la plus recommandée).
- L'utilisation de l'eau épurée en industrie nécessite plusieurs opérations une désinfection, le traitement à la chaux pour faire précipiter le calcium, les phosphates, le magnésium et la silice, etc., pour éviter les phénomènes d'entartrage, de corrosion et de développement de bactéries.

En perspective, il serait intéressant de continuer ce travail en travaillant sur une installation pilote avant de passer à l'échelle industrielle en dimensionnant un dispositif de filtration sur sable avant sa mise en marche à la STEP de HBK.

Bibliographie

- [1] M. Medkour, Réutilisation des eaux usées épurées, Séminaire sur le Secteur de l'Eau en Algérie, Ministère des Ressources en Eau, 2003, p. 12.
- [2] C. HASLAY et H. LECLERC, Microbiologie des eaux d'alimentation. Edition Techniques et documentations, 1993, Paris
- [3] Ministère des Ressources en Eau, Synthèse sur la situation de l'assainissement et évaluation des besoins en station de traitement et d'épuration en vue de protéger les ressources en eau, Document interne, Ration Ministère des Ressources en Eau, 2004, p. 4.
- [4] SONATRACH, Station d'épuration des eaux usées, Haoud Berkaoui, Manuel d'Entretien des Equipements et d'Exploitation de la Station, Volume 1.
- [5] DEGREMONT, Memento technique de l'eau, tome 2, 9^{ième} édition, 1989, pp. 689, 596, 606, 615, 620, 624.
- [6] A. Gaïd, Ingénieur Process Direction technique Omnium de Traitement et de Valorisation (OTV) Mise à jour du texte de J. Sibony et B. Bigot, 1993, p. 4,8.
- [7] M. Satin, B. Selmi, Guide technique de l'assainissement, 2^{ième} édition, Le Moniteur, Paris, 1999.
- [8] F. Berne, J. Cordonnier, Traitement des eaux, édition technique, Paris, 1991, pp. 12-14, 17-23, 68.
- [9] F. Rejsek, Analyses des eaux (aspect technique), sous la direction de J. Figarella, G. Leyral, Paris, 2002, pp. 170-171.
- [10] EPA et U.S. AID, Washington guidelines for water reuse, 1992, p. 247.
- [11] F. Valiron, La réutilisation des eaux usées, Ed. tec& doc. BRGM, 1983.

- [12] DEGREMONT, Memento technique de l'eau, Tome 1, 10^{ième} édition, Mai 2005, pp. 108, 120-123.
- [13] F. Brissaud, Réutilisation des eaux usées par l'irrigation, Méthodologie. Réalisations en France, C. Rodier, 1989.
- [14] Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France, Recommandations sanitaires concernant l'utilisation des eaux résiduaires urbaines pour l'irrigation des cultures et des espaces verts, Paris, 1991.
- [15] United States Golf Association (USGA), Wastewater reuse for golf course irrigation. In cooperation with American Society of Golf Course Architects, Golf Course Builders Association of America, Golf Course Superintendents Association of America, National Golf Foundation. Lewis Publisher, MI. 1994. P 294
- [16] D. Mara, S. Cairncross, Organisation Mondiale de la Santé, Genève, Guide pour l'utilisation sans risques des eaux résiduaires et des excréta en agriculture et en aquaculture, 1991, p. 205.
- [17] US Environmental Protection Agency (USEPA). Guidelines for water reuse. Municipal Support Division, Office of Wastewater Management, Office of Water, Washington, DC and Technology Transfer and Support Division, National Risk Management Research Laboratory, Office of Research and Development, Cincinnati, OH. US Agency for International Development, Washington, DC. 2004.
- [18] L. Schwartzbrod, Virus humains et santé publique : conséquences de l'utilisation des eaux usées et des boues en agriculture et conchyliculture. Centre collaborateur OMS pour les micro-organismes dans les eaux usées, Université de Nancy, France. 2000. P 292.
- [19] Natural Resource Management Ministerial Council. National guidelines for water recycling – Managing health and environmental risks. Draft for public consultation. A publication of the Environment Protection and Heritage Council and Natural Resource Management Ministerial Council, Australia. 2005. P 353.
- [20] Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). Emerging risks to water supplies. Best practice for improved management and preparedness to protect public health – Report of an OECD expert meeting, 2005, p. 37.

- [21] Institut National de Santé Publique du Québec (INSPQ). Personnes vulnérables aux infections microbiennes. Groupe scientifique sur l'eau, 2003, p. 11.
- [22] C. Cardot, Les traitements de l'eau (procédés physico-chimique et biologique), Edition: Ellipses, 1999.
- [23] Norme NF EN 933-1. Détermination de la granularité - Analyse granulométrique par tamisage. Décembre 1997.
- [24] A. Aouabed, Cours sur les différents procédés de traitement des eaux usées, Université de Blida.

Résultats d'analyses physicochimiques :

Annexe I

Résultats d'analyses de l'entrée.

Paramètre	pH	MES	Turbidité	DCO	DBO ₅	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	N-NH ₄	PO ₄ ³⁻	DCO/DBO ₅
Unité		mg/L	FTU	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	
Date										
10/04/2013	6,94	181	140							
11/04/2013	6,9	292	227							
12/04/2013	6,8	342	293							
13/04/2013	6,82	217	150							
14/04/2013	6,72	900	624							
15/04/2013	7,14	357	279	898		0,011	63,3	1,5	2,67	1,63
16/04/2013	8,05	257	206							
17/04/2013	6,72	225	176							
18/04/2013	6,96	259	195							
19/04/2013	6,84	317	217							
20/04/2013	8,08	217	164		550					
21/04/2013	6,62	246	214							
22/04/2013	6,94	166	114							
23/04/2013	7,08	300	250							
24/04/2013	6,95	261	199							
25/04/2013	6,73	270	130							
26/04/2013	6,82	291	219							
27/04/2013	7,72	322	246							
28/04/2013	6,93	204	152							
29/04/2013	6,88	182	168	214		0,018	20,7	3,2	4,64	1,42
30/04/2013	7,04	159	147							
01/05/2013	7,47	242	246							

02/05/2013	7,13	265	259							
03/05/2013	7,1	210	187							
04/05/2013	7,01	344	313		150					
05/05/2013	7,28	304	278							
06/05/2013	7,14	425	209							
07/05/2013	7,18	240	222							
08/05/2013	7,55	524	425							
09/05/2013	7,29	300	267							
10/05/2013	7,55	201	197							
11/05/2013	7,08	241	218							
12/05/2013	7,42	300	178							
13/05/2013	6,95	243	212	234		0,015	29	2,5	4,82	1,34
18/05/2013					174					

Annexe II

Résultats d'analyses de la sortie.

Paramètre	pH	MES	Turbidité	DCO	DBO ₅	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	N-NH ₄	PO ₄ ³⁻	DCO/DBO ₅
Unité		mg/L	FTU	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	
Date										
10/04/2013	6,99	10	14							
11/04/2013	6,94	11	18							
12/04/2013	6,82	20	21							
13/04/2013	6,85	16	20							
14/04/2013	6,8	14	23							
15/04/2013	7,08	19	24	44		0,008	38,5	0,23	1,78	1,57
16/04/2013	8,04	15	19							
17/04/2013	6,81	21	18							
18/04/2013	7,07	16	17							
19/04/2013	6,98	11	12							
20/04/2013	8,07	9	13		28					
21/04/2013	6,71	10	12							
22/04/2013	6,96	9	12							
23/05/2013	7,04	11	10							
24/05/201	7,03	6	14							
25/05/2013	6,81	12	12							
26/05/2013	6,91	9	13							
27/05/2013	7,66	11	17							
28/05/2013	6,94	8	12							
29/05/2013	6,98	16	14	29		0,009	17,9	0,4	3,36	1,31
30/05/2013	7,15	22	12							
01/05/2013	7,55	21	24							
02/05/2013	7,12	24	20							

03/05/2013	7,21	29	21							
04/05/2013	7,02	25	19		22					
05/05/2013	7,29	24	24							
06/05/2013	7,21	19	19							
07/05/2013	7,11	17	17							
08/05/2013	7,35	16	13							
09/05/2013	7,39	12	17							
10/05/2013	7,51	11	11							
11/05/2013	7,2	10	10							
12/05/2013	7,45	12	9							
13/05/2013	6,74	9	10	3		0,011	16,8	0,25	4,18	3
18/05/2013					1					

Annexe III

Résultats d'analyses de l'aération.

Paramètre	T	pH	MES	VB	O ₂ dissout
Unité	°C		mg/L	mL/L	mg/L
Date					
10/04/2013	27	6,9	350	650	5,88
11/04/2013	31	7,01	390	650	3,59
12/04/2013	29	6,72	350	750	4,07
13/04/2013	20	6,8	351	800	5,01
14/04/2013	23	6,9	516	950	2,5
15/04/2013	22	7,09	414	950	4,92
16/04/2013	24	8	392	400	4,3
17/04/2013	28	6,77	366	250	5,58
18/04/2013	28	6,89	446	260	5,57
19/04/2013	29	6,82	452	580	8,38
20/04/2013	27	8,03	321	460	5,45
21/04/2013	21	6,61	392	350	5,64
22/04/2013	21	6,88	441	345	6,17
23/05/2013	20	7,01	420	400	5
24/05/2013	21	6,91	287	225	6,3
25/05/2013	25	6,7	296	240	4,57
26/05/2013	23	6,85	318	220	4,5
27/05/2013	27	6,98	473	320	4,99
28/05/2013	25	6,9	455	300	5,35
29/05/2013	26	6,84	383	400	5,94
30/05/2013	23	6,99	355	550	6,35
01/05/2013	28	7,37	333	640	5,84
02/05/2013	27	7,08	394	540	5,73
03/05/2013	29	7,22	331	520	6,23
04/05/2013	25	6,88	302	530	5,35
05/05/2013	26	7,07	348	510	5,45
06/05/2013	26	7,1	352	340	6,32
07/05/2013	29	7,22	344	600	6,06
08/05/2013	28	7,41	442	600	5,26
09/05/2013	29	7,16	317	620	4,6
10/05/2013	27	7,39	369	580	6
11/05/2013	29	7,18	336	460	6,7
12/05/2013	25	7,37	358	330	5,31
13/05/2013	27	6,88	303	250	5,75

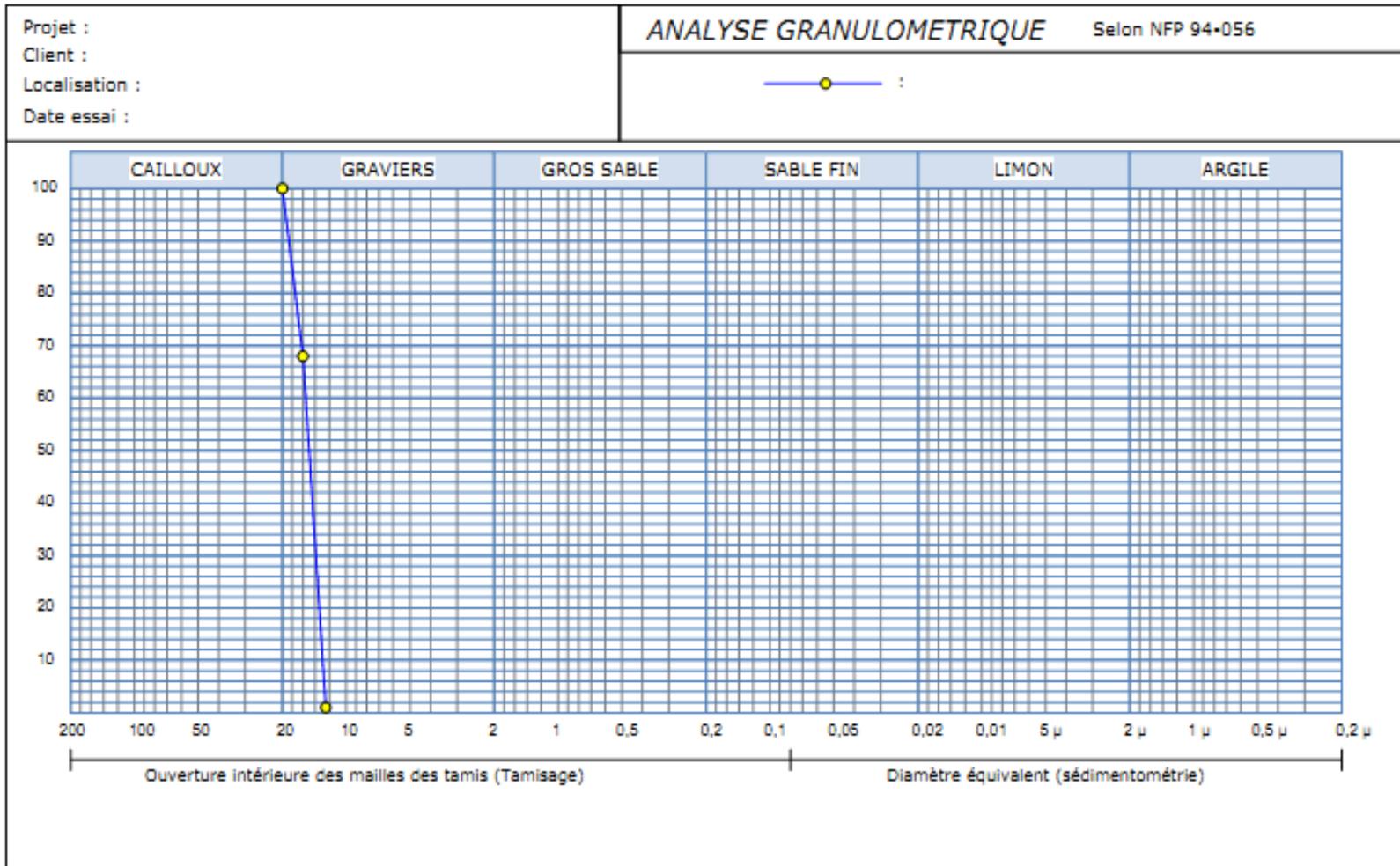
Annexe IV

Résultats d'analyses de la recirculation.

Paramètre	pH	MES	VB
Unité		mg/L	mL/L
Date			
10/04/2013	6,97	641	750
11/04/2013	6,99	941	950
12/04/2013	6,77	543	900
13/04/2013	6,79	848	900
14/04/2013	6,85	782	950
15/04/2013	7,08	424	850
16/04/2013	7,98	980	590
17/04/2013	6,79	852	290
18/04/2013	7,01	894	540
19/04/2013	6,92	972	700
20/04/2013	8,11	858	570
21/04/2013	6,65	1410	610
22/04/2013	6,91	880	430
23/05/2013	6,98	1224	525
24/05/2013	6,99	556	245
25/05/2013	6,78	614	350
26/05/2013	6,9	508	350
27/05/2013	7,6	780	480
28/05/2013	6,89	1082	500
29/05/2013	6,88	1053	700
30/05/2013	7,1	655	700
01/05/2013	7,42	730	760
02/05/2013	7,11	1067	950
03/05/2013	7,21	667	620
04/05/2013	6,95	922	900
05/05/2013	7,1	1019	750
06/05/2013	7	500	450
07/05/2013	7,19	552	600
08/05/2013	7,39	826	800
09/05/2013	7,08	1218	890
10/05/2013	7,41	1302	900
11/05/2013	7,15	948	850
12/05/2013	7,41	710	700
13/05/2013	6,79	397	275

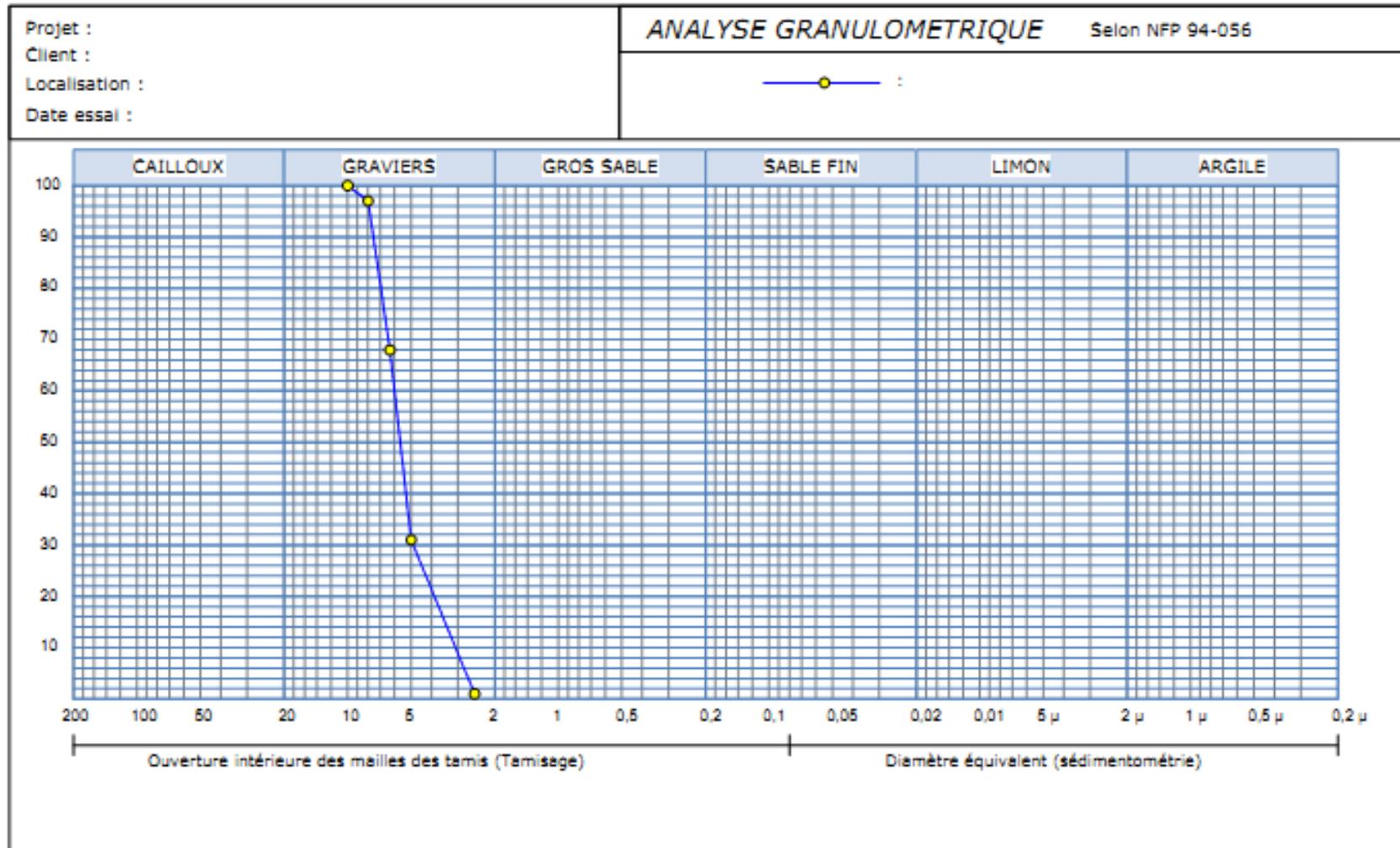
Annexe V

Courbe granulométrique du sable utilisé.



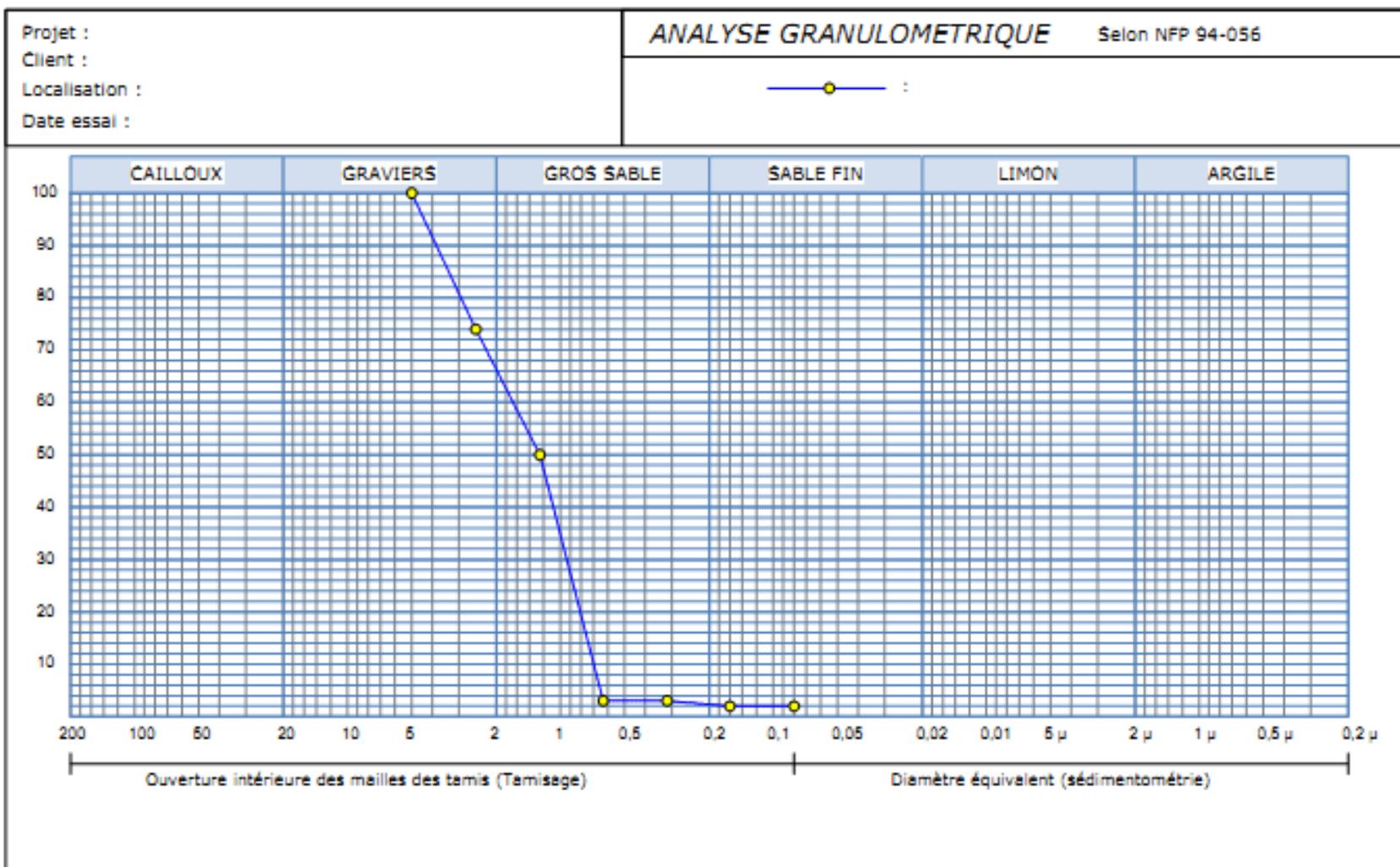
Annexe VI

Courbe granulométrique du sable utilisé.



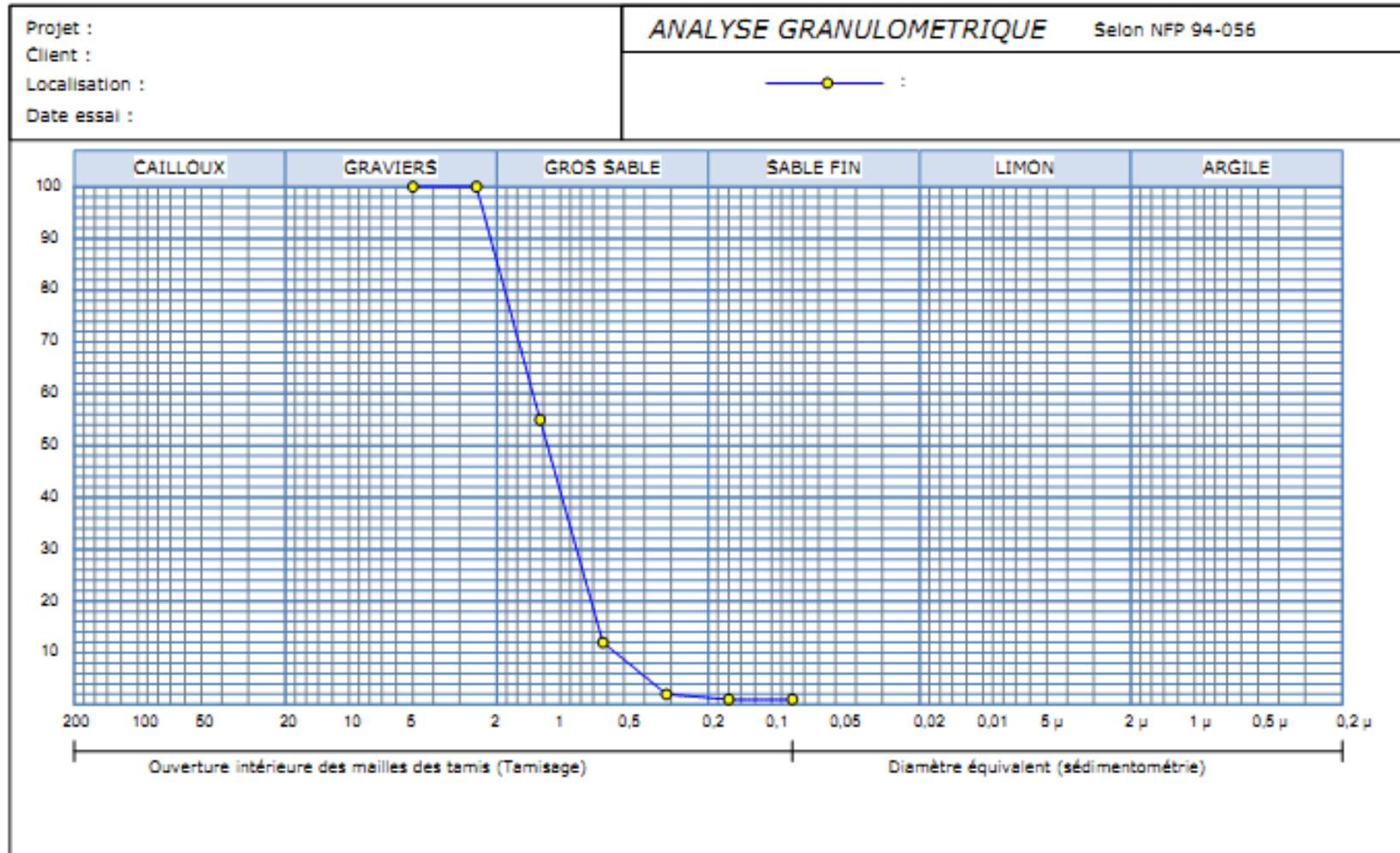
Annexe VII

Courbe granulométrique du sable utilisé.



Annexe VIII

Courbe granulométrique du sable utilisé.



Annexe IX

Courbe granulométrique du sable utilisé.

