

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

جامعة أبي بكر بلقايد – تلمسان-

Université ABOU BEKR BELKAID



Faculté de Technologie

Département d'Hydraulique

MEMOIRE

Projet de Fin d'Etude

Pour l'obtention du diplôme Master en **Hydraulique**

Option : **Technologies de Traitement des Eaux**

Thème

Etude des performances d'un lit bactérien classique à garnissage en pouzzolane de Beni Saf

Soutenue publiquement le : 06-10-2013

Présenté par :

M^{elle} SAADI Hanane

Devant le jury :

M ^R GHENIM Abderrahmane Nekache.....	Président
M ^R BOUMEDIENE Maamar	Examineur
M ^R BENTALHA Chakib.....	Examineur
M ^R BOUCHELKIA Hamid.....	Encadreur
M ^{ME} BOUCHELKIA Fadila	Encadreur

Promotion 2012/2013

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à mes chers parents qui m'ont toujours soutenu avec leurs encouragements et qui m'ont donné un magnifique modèle de labeur et de persévérance, en hommage affectueux,

A mes chères frères et sœurs

A mes amies et à toutes mes camarades

A mes encadreurs et tous mes enseignants



Hanane

Remerciement

A l'occasion de la rédaction de ce mémoire de fin d'étude je tiens particulièrement à remercier ALLAH de m'avoir accordé la foi, le courage, la volonté pour élaborer ce travail.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude et mes sincères remerciements à M^{me} F. Bouchelkia et M^R H. Bouchelkia pour avoir accepté de m'encadrer en ce sujet ainsi que pour leurs orientations, leurs judicieux conseils et leurs disponibilités durant toute la période de notre projet.

Mes profonds remerciements vont à :

Monsieur le président du jury A. Ghenim, pour son aide précieuse

Monsieur M. Boumediene et M^r C. Bentafha pour l'honneur qui nous ont fait en acceptant d'examiner ce modeste travail.

Par ailleurs, je remercie les responsables et les techniciens des laboratoires qui m'ont beaucoup aidé au cours des expériences.

Mes remerciements également toute équipe de la station d'épuration de AIN AL HOUTZ, et particulièrement M^{me} Habi.

Je tiens à remercier mes amis M^r K. Selka et M^r H. Chikfi qui m'ont aidé dans le transport des eaux usées de la STEP de AIN AL HOUTZ.

Que tous ceux qui ont participés de près ou de loin dans l'élaboration de ce mémoire trouvent ici l'expression de mes vifs remerciements

Je voudrais aussi exprimer ma vive reconnaissance envers tous les enseignants de département d'hydraulique ainsi que tous ceux qui ont participés à ma formation.



Résumé :

Le but du présent travail est d'étudier expérimentalement l'efficacité de l'épuration des eaux usées d'origine urbaine par lit bactérien à garnissage classique. Notre objectif est d'utiliser un matériau local comme garnissage, à cet effet, la pouzzolane de Beni Saf a été utilisée comme support de biofiltration.

Diverses expériences ont été réalisées sur le pilote TE900 spécialement modifié, afin d'apprécier l'efficacité de l'épuration, en agissant sur: la granulométrie de la pouzzolane, la hauteur du lit bactérien et le débit de son alimentation. L'analyse des résultats obtenus montre que le lit bactérien à garnissage en pouzzolane de Beni Saf permet d'éliminer une fraction importante de la charge polluante des eaux usées. Les rendements d'épuration obtenus sont assez encourageants en particulier pour une granulométrie de 10/25mm.

L'épuration par lit bactérien à pouzzolane de Beni Saf peut constituer une solution alternative pour l'épuration des eaux usées d'origine urbaine.

Mots clés : eaux usée, pouzzolane, lit bactérien, Beni Saf, analyse, granulométrie.

Abstract:

The purpose of this work is to study experimentally the effectiveness of wastewater from urban areas by trickling conventional packing. Our object is to use a local material as filler for this purpose, the pozzolan of Beni SAF was used as biofiltration media.

Various experiments were carried out on TE900 driver's specially modified, in order to assess the effectiveness of treatment by acting on: the size of the pozzolan, the height of the trickling and its alimentation flow. The analysis of the results shows that the biofilter packed with pozzolan of Beni Saf eliminates a large fraction of the pollution load of wastewater. The purification yields watches are quite encouraging especially for a particle size 10/25mm of pozzolan.

The purification by trickling with Beni Saf's pozzolan can be an alternative for treatment of wastewater of urban areas.

Keywords: waste water, pozzolan, trickling, Beni Saf, analysis, particle size.

المخلص:

الغرض من هذا العمل هو دراسة تجريبيا فعالية لمعالجة مياه الصرف الصحي من المناطق الحضرية بحلول يتقاطرون التعبئة التقليدية. هدفنا هو استخدام المواد المحلية كمادة معبأة, لهذا الغرض تم استخدام البوزولان المستخلص من بني صاف كوسيلة لدعم الترشيح البيولوجي .

أجريت مختلف التجارب على الالة 900 , من اجل تقييم فعالية العلاج تم العمل : حجم البوزولان و ارتفاع يتقاطرون و تدفق من احتياجاتها الغذائية.يبين تحليل النتائج المحصل عليها أن بيولوجي معبأة البوزولان بني صاف يقضي على جزء كبير من التلوث لمياه الصرف الصحي. عائدات التنقية المحصل عليها مشجعة جدا خاصة بالنسبة لحجم الجسيمات (10/25 مم).
التنقية بواسطة يتقاطرون المعبأ بالبوزولان بني صاف يمكن أن تكون حلا لمياه الصرف الصحي من المناطق الحضرية

كلمات البحث : مياه الصرف الصحي البوزولان ، يتقاطرون، بني صاف , التحليل , حجم الجسيمات.

Liste des Abréviations et signes

STEP : station d'épuration.

ONA : Office National d'Assainissement.

C° : Degré Celsius.

DBO : Demande Biochimique en Oxygène.

DCO : Demande Chimique en Oxygène.

MES : Matière En Suspension.

pH : Potentiel Hydrogène.

T : Température.

O₂ : oxygène dissous.

me : masse d'eau (**g**).

ms : masse du de matériau sec (**g**).

mes : masse du mélange d'eau et de sable (**g**).

ε : La porosité totale ou géométrique.

ε_e : La porosité efficace.

Sr : Degré de saturation.

V_v : Volume totale des vides (matériau sec) (**m³**).

V_s : Volumes des solides (**m³**).

V : Volume apparent (totale) (**m³**).

ρ_d : La masse volumique apparente (**kg/m³**).

ρ_s : la masse volumique absolue (**kg/m³**).

Ab : Coefficient d'absorption.

e : indice de vide

K : coefficient de perméabilité (**m/s**).

Q : débit de l'eau filtré en (**m³/s**).

A : l'aire de la couche saturée en (**m²**).

ΔL : l'épaisseur de la couche filtrante en (**m**).

ΔH : la chute totale de pression à travers la couche filtrante (pertes de charges totales).

D₁₀ : La taille effective (**mm**).

Cu : coefficients d'uniformités.

Listes des figures

Figure I.1. La grille grossière automatique.....	10
Figure I.2. La grille manuelle.....	10
Figure I.3. Déshuilage par écumage des graisses.....	11
Figure I.4. Coagulation floculation.....	12
Figure I.5. Lit bactérien.....	13
Figure I.6. Bassin d'aération.....	15
Figure I.7. Clarificateur.....	15
Figure I.8. Principe de l'épuration à boue activé.....	15
Figure I.9. Disques biologiques.....	16
Figure I.10. Panoramique de la station d'épuration des eaux usées de la ville de Tlemcen....	24
Figure II.1. Schéma de principe d'une filière type par lit bactérien.....	30
Figure II.2. Lit bactérien avec garnissage traditionnel.....	32
Figure II.3. Alimentation du lit bactérien (garnissage plastique).....	33
Figure II.4. Lit bactérien d'une distribution rotatif.....	34
Figure II.5. Schéma de principe d'une station d'épuration par lit bactérien.....	36
Figure III.1. Pilote TE900.....	39
Figure III.2. Schéma du support pratique.....	41
Figure III.3. Schéma des vannes.....	42
Figure III.4. Schéma d'un clarificateur ; (laboratoire du département d'hydraulique université de Tlemcen	45
Figure III.5. Schéma d'une cartouche; (laboratoire du département d'hydraulique université de Tlemcen.....	46
Figure III.5. Schéma fonctionnel d'épuration avec un lit bactérien.....	47
Figure III.6. pH mètre (manuel) ;(laboratoire du département d'hydraulique université de Tlemcen).....	41
Figure III.7. Appareil de mesure du spectrophotomètre ;(laboratoire du département d'hydraulique université de Tlemcen).....	41
Figure III.8. Courbe d'étalonnage de la turbidité.....	52
Figure III.9. Oxymétrie (laboratoire du département d'hydraulique université de Tlemcen).53	
Figure III.10. Dispositif de filtration.	53
Figure III.11. Balance électronique.....	53
Figure III.12. Etuve ;(laboratoire du département d'hydraulique université de Tlemcen)....	54

Figure III.13. DCO-mètre (laboratoire du département d'hydraulique université de Tlemcen).....	56
Figure III.14. La pouzzolane.....	57
Figure IV.1. Cartouche de filtre à garnissage en pouzzolane (laboratoire du département d'hydraulique université de Tlemcen).....	66
Figure IV.2. Histogramme de la variation des paramètres (entré et la sortie).....	67
Figure IV.3. Eau a l'entré (1) du lit bactérien et la sortie du décanteur (2).....	68
Figure IV.4. Courbe de la variation de la température (pour Q=8l/h).....	68
Figure IV.5. Courbe de la variation du pH (pour Q=8l/h).....	69
Figure IV.6. Courbe de la variation d'O ₂ dissous (mg/l) (pour Q=8l/h).....	69
Figure IV.7. Courbe de la variation de la turbidité (NTU) (pour Q=8l/h).....	70
Figure IV.8. Courbe de la variation de la MES (mg/l) (pour Q=8l/h).....	70
Figure IV.9. Courbe de la variation de la MM (mg/l) (pour Q=8l/h).....	71
Figure IV.10. Courbe de la variation de la MO (mg/l) (pour Q=8l/h).....	71
Figure IV.11. Courbe de la variation de la DCO (mg/l) (pour Q=8l/h).....	72
Figure IV.12. Histogramme de la variation de toutes les paramètres (entré et la sortie).....	73
Figure IV.13. Courbe de la variation de la température (pour Q=10l/h).....	74
Figure IV.14. Courbe de la variation du pH en fonction du temps pour (Q=10l/h).....	74
Figure IV.15. Courbe de la variation de la turbidité pour (Q=10 l/h).....	75
Figure IV.16. Courbe de la variation d'O ₂ dissous-en (mg/l) (Q=10l/h).....	75
Figure IV.17. Courbe de la variation de la MES (mg/l) (Q=10l/h).....	76
Figure IV.18. Courbe de la variation de la MM (mg/l) (Q=10l/h).....	76
Figure IV.19. Courbe de la variation de la MO (mg/l) (Q=10l/h).....	77
Figure IV.20. Courbe de la variation de la DCO (mg/l) (Q=10l/h).....	77
Figure IV.21. Histogramme de la variation de toutes les paramètres (l'entré et sortie).....	78
Figure IV.22. Courbe de la variation de la température (pour Q=5l/h).....	79
Figure IV.23. Courbe de la variation du pH (pour Q=5l/h).....	79
Figure IV.24. Courbe de la variation d'O ₂ dissous (mg/l) (pour Q=5l/h).....	80
Figure IV.25. Courbe de la variation de la turbidité (NTU) (pour Q=5l/h).....	80
Figure IV.26. Courbe de la variation de la MES (mg/l) (pour Q=5l/h).....	81
Figure IV.27. Courbe de la variation de la MO (mg/l) (pour Q=5l/h).....	81
Figure IV.28. Courbe de la variation de la MM (mg/l) (pour Q=5l/h).....	82
Figure IV.29. Courbe de la variation de la DCO (mg/l) (pour Q=5l/h).....	82
Figure IV.30. Histogramme de la variation de toutes les paramètres (l'entré et la sortie).....	84

Figure IV.31.	Courbe de la variation de la température (pour Q=8l/h).....	85
Figure IV.32.	Courbe de la variation du pH (pour Q=8l/h).....	85
Figure IV.33.	Courbe de la variation de la turbidité (pour Q=8l/h).....	86
Figure IV.34.	Courbe de la variation d'O ₂ dissous (mg/l) (pour Q=8l/h).....	86
Figure IV.35.	Courbe de la variation de la MES (mg/l) (pour Q=8l/h).....	87
Figure IV.36.	Courbe de la variation de la MO (mg/l) (pour Q=8l/h).....	87
Figure IV.37.	Courbe de la variation de la MM (mg/l) (pour Q=8l/h).....	88
Figure IV.38.	Courbe de la variation de la DCO (pour Q=8l/h).....	88
Figure IV.39.	Histogramme de la variation de toutes les paramètres (l'entré et sortie).....	89
Figure IV.40.	Courbe de la variation de la température (pour Q=10l/h).....	90
Figure IV.41.	Courbe de la variation du pH (pour Q=10l/h).....	90
Figure IV.42.	Courbe de la variation de la turbidité (pour Q=10l/h).....	91
Figure IV.43.	Courbe de la variation d'O ₂ dissous (mg/l) (pour Q=10l/h).....	91
Figure IV.44.	Courbe de la variation de MES (pour Q=10l/h).....	92
Figure IV.45.	Courbe de la variation de MO (pour Q=10l/h).....	92
Figure IV.46.	Courbe de la variation de MM (pour Q=10l/h).....	93
Figure IV.47.	Courbe de la variation du DCO (pour Q=10l/h).....	93
Figure IV.48.	Histogramme de la variation de toutes les paramètres (l'entré et sortie).....	94
Figure IV.49.	Courbe de la variation de la température (pour Q=16l/h).....	95
Figure IV.50.	Courbe de la variation du pH (pour Q=16l/h).....	95
Figure IV.51.	Courbe de la variation de la turbidité (pour Q=16l/h).....	96
Figure IV.52.	Courbe de la variation d'O ₂ dissous (mg/l) (pour Q=16l/h).....	96
Figure IV.53.	Courbe de la variation de la MES (mg/l) (pour Q=16l/h).....	97
Figure IV.54.	Courbe de la variation de la MO (mg/l) (pour Q=16l/h).....	97
Figure IV.55.	Courbe de la variation de la MM (mg/l) (pour Q=16l/h).....	98
Figure IV.56.	Courbe de la variation de la DCO (pour Q=16l/h).....	98
Figure IV.57.	histogramme de la variation de toutes les paramètres (l'entré et sortie).....	99
Figure IV.58.	Courbe de la variation de la température (pour Q=20l/h).....	100
Figure IV.59.	Courbe de la variation du pH (pour Q=20l/h).....	100
Figure IV.60.	Courbe de la variation la turbidité (pour Q=20l/h).....	101
Figure IV.61.	Courbe de la variation de l'O ₂ dissous (mg/l) (pour Q=20l/h).....	101
Figure IV.62.	Courbe de la variation de la MES (pour Q=20l/h).....	102
Figure IV.63.	Courbe de la variation de la MO (pour Q=20l/h).....	102
Figure IV.64.	Courbe de la variation de la MM (pour Q=20l/h).....	103

Figure IV.65.	Courbe de la variation de la DCO (pour Q=20l/h).....	103
Figure IV.66.	Courbe de la variation de toutes les paramètres (l'entrée et sortie).....	104
Figure IV.67.	Courbe de la variation de la température (pour Q=8l/h).....	106
Figure IV.68.	Courbe de la variation du pH (pour Q=8l/h).....	106
Figure IV.69.	Courbe de la variation de la turbidité (pour Q=8l/h).....	107
Figure IV.70.	Courbe de la variation d'O ₂ dissous (mg/l) (pour Q=8l/h).....	107
Figure IV.71.	Courbe de la variation de la MES (pour Q=8l/h).....	108
Figure IV.72.	Courbe de la variation de la MM (pour Q=8l/h).....	108
Figure IV.73.	Courbe de la variation de la MO (pour Q=8l/h).....	109
Figure IV.74.	Courbe de la variation de la DCO (pour Q=8l/h).....	109
Figure IV.75.	Histogramme de la variation de toutes les paramètres (l'entrée et sortie).....	110
Figure IV.76.	Courbe de la variation de la température (pour Q=16l/h).....	111
Figure IV.77.	Courbe de la variation du pH en fonction du temps (pour Q=16l/h).....	111
Figure IV.78.	Courbe de la variation de la turbidité (pour Q=16l/h).....	112
Figure IV.79.	Courbe de la variation de l'O ₂ dissous (pour Q=16l/h).....	112
Figure IV.80.	Courbe de la variation de la MES (pour Q=16l/h).....	113
Figure IV.81.	Courbe de la variation de la MM (pour Q=16l/h).....	113
Figure IV.82.	Courbe de la variation de la MO (pour Q=16l/h).....	114
Figure IV.83.	Courbe de la variation de la DCO (pour Q=16l/h).....	114
Figure IV.84.	Histogramme de la variation de toutes les paramètres (l'entrée et sortie).....	115
Figure IV.85.	Courbe de la variation de la température (pour Q=20l/h).....	116
Figure IV.86.	Courbe de la variation du pH (pour Q=20l/h).....	117
Figure IV.87.	Courbe de la variation de la turbidité (pour Q=20l/h).....	117
Figure IV.88.	Courbe de la variation de l'O ₂ dissous (pour Q=20l/h).....	118
Figure IV.89.	Courbe de la variation de la MES (pour Q=20l/h).....	118
Figure IV.90.	Courbe de la variation de la MM (pour Q=20l/h).....	119
Figure IV.91.	Courbe de la variation de la MO (pour Q=20l/h).....	119
Figure IV.92.	Courbe de la variation de la DCO (pour Q=20l/h).....	120
Figure IV.93.	Histogramme de la variation de toutes les paramètres (l'entrée et sortie).....	121
Figure IV.94.	Courbe de la variation de la température (pour Q=8l/h).....	122
Figure IV.95.	Courbe de la variation du pH (pour Q=8l/h).....	122
Figure IV.96.	Courbe de la variation de la turbidité (pour Q=8l/h).....	123
Figure IV.97.	Courbe de la variation de l'O ₂ dissous (pour Q=8l/h).....	123
Figure IV.98.	Courbe de la variation de la MES (pour Q=8l/h).....	124

Figure IV.99. Courbe de la variation de la MM (pour Q=8l/h).....	124
Figure IV.100. Courbe de la variation de la MO (pour Q=8l/h).....	125
Figure IV.101. Courbe de la variation de la DCO (pour Q=8l/h).....	125
Figure IV.102. Histogramme de la variation de toutes les paramètres (l'entrée et sortie).....	126
Figure IV.103. Courbe de la variation de la température (pour Q=16l/h).....	127
Figure IV.104. Courbe de la variation du pH (pour Q=16l/h).....	128
Figure IV.105. Courbe de la variation de la turbidité (pour Q=16l/h).....	128
Figure IV.106. Courbe de la variation de l'O ₂ dissous (pour Q=16l/h).....	129
Figure IV.107. Courbe de la variation de la MES (pour Q=16l/h).....	129
Figure IV.108. Courbe de la variation de la MM (pour Q=16l/h).....	130
Figure IV.109. Courbe de la variation de la MO (pour Q=16l/h).....	130
Figure IV.110. Courbe de la variation de la DCO (pour Q=16l/h).....	131
Figure IV.111. Histogramme de la variation de toutes les paramètres (l'entrée et sortie).....	132
Figure IV.112. Courbe de la variation de la température (pour Q=20l/h).....	133
Figure IV.113. Courbe de la variation du pH (pour Q=20l/h).....	133
Figure IV.114. Courbe de la variation de la turbidité (pour Q=20l/h).....	134
Figure IV.115. Courbe de la variation de l'O ₂ dissous (pour Q=20l/h).....	134
Figure IV.116. Courbe de la variation de la MES (pour Q=20l/h).....	135
Figure IV.117. Courbe de la variation de la MM (pour Q=20l/h).....	135
Figure IV.118. Courbe de la variation de la MO (pour Q=20l/h).....	136
Figure IV.119. Courbe de la variation de la DCO (pour Q=20l/h).....	136
Figure IV.120. Protozoaire cilié peritriches.....	139
Figure IV.122. Euglypha.....	139
Figure IV.121. Demétazoaires (Nématodes).....	140

Liste des tableaux

Tableau I.1 .Avantages et inconvénients des procédés d'épuration.....	17
Tableau I.2 .Normes de rejets international.....	22
Tableau I.3 .Les valeurs limites maximales des paramètres rejets	23
Tableau I.4 .Caractéristique des eaux épurées rejetées de la station de la ville de Tlemcen....	27
Tableau II.1 . Les caractéristiques de certains garnissages.....	33
Tableau II.2 .Mise en œuvre des lits bactériens.....	35
Tableau III.1 .Étalonnage de la pompe doseuse.....	45
Tableau III.2 .Classe de turbidité usuelle.....	52
Tableau III.3 .L'analyse granulométrique de la pouzzolane.....	62
Tableau IV.1 .Résultats d'analyse physico-chimique de l'eau (pour Q=8l/h).....	67
Tableau IV.2 .Résultats d'analyse physico-chimique de l'eau (pour Q=10 l/h).....	72
Tableau IV.3 .Résultats d'analyse physico-chimique de l'eau (pour Q=5l/h).....	78
Tableau IV.4 .Résultats d'analyse physico-chimique de l'eau (pour Q=8 l/h).....	83
Tableau IV.5 .Résultats d'analyse physico-chimique de l'eau (pour Q=10l/h).....	89
Tableau IV.6 .Résultats d'analyse physico-chimique de l'eau (pour Q=16l/h).....	94
Tableau IV.7 .Résultats d'analyse physico-chimique de l'eau (pour Q=20l/h).....	99
Tableau IV.8 .Résultats d'analyse physico-chimique de l'eau (pour Q=8 l/h.....	104
Tableau IV.9 .Résultats d'analyse physico-chimique de l'eau (pour Q=16l/h).....	109
Tableau IV.10 .Résultats d'analyse physico-chimique de l'eau (pour Q=20l/h).....	115
Tableau IV.11 .Résultats d'analyse physico-chimique de l'eau (pour Q=8l/h).....	121
Tableau IV.12 .Résultats d'analyse physico-chimique de l'eau (pour Q=16l/h).....	126
Tableau IV.13 .Résultats d'analyse physico-chimique de l'eau (pour Q=20l/h).....	131
Tableaux IV.14 .Les rendements du pilote pour les différentes hauteurs de garnissage et pour un diamètre de garnissage (10/25 mm).....	137
Tableaux IV.15 .Les rendements du pilote pour les différentes hauteurs de garnissage et pour un diamètre de garnissage (25/40 mm).....	137

Sommaire

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

Chapitre I : généralité sur les eaux usées et leur traitement.

I.1.Origine de l'eau usée.....	3
I.1.1.les eaux domestiques et urbaines.....	3
I.1.2.les eaux industrielles.....	3
I.1.3.les eau pluviales.....	4
I.1.4. les eaux agricoles.....	4
I.2. la nécessité de l'épuration des eaux usées.....	4
I.3. les principaux paramètres de pollution caractérisant les eaux.....	4
I.3.1. les paramètres physiques.....	4
I.3.2. Les paramètres chimiques.....	5
I.3.3. les paramètres bactériologiques.....	7
I.4.L'épuration des eaux usées	9
1.4.1. Les différents procédés d'épuration des eaux usées	9
I.4.1.1. le prétraitement	10
I.4.1.2. le traitement primaire (décanteur primaire)	11
I.4.1.3. le traitement secondaire (traitement biologique):.....	12
I.4.1.4. les traitements tertiaires	17
I.4.2. La réutilisation des eaux usées	20
I.4.2.1. Le secteur industriel	21
I.4.2.2. Le secteur agricole	21
I.5. les normes de rejets d'effluents	21
I.5.1.Normes internationale	21
I.5.2.Normes Algériennes.....	22
I.6. présentation de la station d'épuration de Tlemcen.....	24
I.6.1.Situation géographique.....	24
I.6.2. principe de fonctionnement d'AIN EL HOUTZ	24
I.6.2.1. les donné de base.....	24
I.6.2.2. l'origine d'eau brute	25

I.6.2.3.les installations de la STEP	25
➤ Filière d'épuration les eaux usées	25
➤ Filières de traitement les boues.....	26
I.6.4. les analyses des eaux	27
I.6.5. le rendement de la station.....	27

Chapitre II : l'épuration biologique par les lits bactériens.

II.1.les conditions favorables pour l'épuration.....	28
II.2. L'épuration biologique par lit bactériens.....	28
II.2.1.Historique.....	28
II.2.2.Domaine d'application recommandé.....	29
II.2.3. Principe du traitement par lit bactérien.....	29
II.2.4. la réalisation des lits bactériens.....	31
II.2.4.1. le choix du matériau.....	31
II.2.4.2. La répartition de l'effluent.....	33
II.2.4.3. L'utilisation de recyclage.....	34
II.2.5. la mise en œuvre des lits bactériens.....	34
II.2.6. les éléments de calcul des lits bactériens.....	35
II.2.7. la classification des lits bactériens.....	35
II.2.7.1. lits à faible charge.....	36
II.2.7.2. lits à forte charge.....	36
II.2.8. Performances épuratoires.....	36
II.2.9. Avantages et inconvénients.....	36

Chapitre III : Méthodes et matériels.

III.1.Objectifs principaux des expériences.....	38
III. 2. Composition de L'équipement.....	38
III.3. Description du pilote TE900.....	38
III.3.1.Construction.....	39

III.3.2. Support pratique.....	39
III.3.3.Instrumentation.....	40
III.3.4 Liste des vannes.....	40
III.4.Mise en marche.....	42
III.4.1.Préliminaires	42
III.4.2. Etalonnage.....	44
III.5. système de fonctionnement du pilote.....	45
III.5.1.Clarificateur.....	45
III.5.2. Paramètres d'entrée et de sortie.....	46
III.6.Manipulations.....	47
III.6.1. Procédé d'épuration avec lit bactérien :.....	47
III.6.2. Procédure générale d'arrêt.....	48
III.7. Principales méthodes d'analyses d'eau.....	49
III.7.1. Echantillonnages.....	49
III.7.2. Mesures à effectuer.....	49
III.7.2.1. Température.....	50
III.7.2.2. pH.....	50
III.7.2.4.Turbidité.....	51
III.7.2.5.Oxygène dissous.....	52
III.7.2.6. Matières en suspensions (MES).....	53
III.7.2.7. Demande chimique en oxygène DCO.....	54
III.8. Garnissage du lit bactérien utilisé.....	56
III.8.1. Propriétés de la Pouzzolane.....	57
III.8.2. Caractéristique de matériaux filtrants.....	57
III.8.2.1. Diamètre effectif et coefficient d'uniformité.....	57
III.8.2.2. Masse volumique.....	58
III.8.2.3. Densité relative.....	58
III.8.2.4.Coefficient d'absorption des granulats.....	59
III.8.2.5. Porosité.....	59
III.8.2.6. Indice de vide.....	60
III.8.2.7. Perméabilité.....	60
III.8.3. Etude granulométrique de la pouzzolane.....	60
III.8.3.1. But de l'étude.....	60
III.8.3.2. Analyse granulométrique par tamisage.....	61

III.8.4. Analyse et interprétation des résultats.....	61
III.8.4.1. Résultats trouvés.....	61
III.8.4.2. Exploitation des résultats.....	62

Chapitre IV: Résultats et interprétation

IV.1. Etudes expérimentale d'épuration des eaux usées.....	65
IV.1.1. Prélèvement et échantillonnage.....	66
IV.2. lit bactérien (10/25 mm) sur une hauteur 40 cm.....	67
IV.2.1. Epuration avec un débit de 8 l/h.....	67
IV.2.2. Epuration avec un débit de 10 l/h.....	72
IV.2.3. Epuration avec un débit de 5 l/h.....	77
IV.3. Lit bactérien (10/25 mm) sur une hauteur 80 cm.....	83
IV.3.1.Epuration avec un débit de 8 l/h.....	83
IV.3.2. Epuration avec un débit de 10 l/h	88
IV.3.3. Epuration avec un débit de 16 l/h.....	93
IV.3.4. Epuration avec un débit de 20 l/h	98
IV.4. Lit bactérien (25/40mm) sur une hauteur 40 cm	104
IV.4.1.Epuration avec un débit de 8 l/h.....	104
IV.4.2.Epuration avec un débit de 16 l/h.....	109
IV.4.3. Epuration avec un débit de 20l/h.....	115
IV.5. Lit bactérien (25/40mm) sur une hauteur 80 cm.....	120
IV.5.1.Epuration avec un débit de 8 l/h.....	120
IV.5.2. Epuration avec un débit de 16 l/h.....	126
IV.5.3.Epuration avec un débit de 20 l/h.....	131
IV.6. Rendement épuratoire du pilote pour les différentes manipulations.....	137
IV.7. Comparaison des résultats.....	139
IV.8. Identification des bactéries.....	139
Conclusion	141
Bibliographie	
Les annexes	

Introduction

Introduction

Au cours de l'histoire, la disponibilité globale de l'eau est restée plus ou moins constante. Il y a 2000 ans, 200 à 300 millions d'habitants sur terre utilisaient déjà les ressources disponibles. Aujourd'hui, plus de 6,5 milliards d'êtres humains doivent se contenter de la même quantité d'eau. C'est pourquoi, cette matière première qu'est l'eau, est aujourd'hui sérieusement menacée. De plus, les systèmes naturels de purification de notre planète sont considérablement surchargés [1].

La nature et les êtres vivants subissent de plus en plus les conséquences de la pollution avec le développement industriel et la croissance démographique. La pollution de l'eau qui affecte les rivières, les mers, les nappes phréatiques et les lacs est le résultat du rejet des eaux usées sans traitement ou un niveau de traitement insuffisant provoquant ainsi une dégradation de l'écosystème. Le problème est encore plus grave dans le cas des effluents industriels qui présentent un caractère toxique. Généralement, les effluents nécessitent un traitement plus ou moins léger, en fonction du degré d'altération des eaux, avant leur rejet dans le milieu naturel [1].

Le traitement des effluents peut prendre différentes formes : processus physiques, chimiques ou biologiques, y compris le tri, qui modifient les caractéristiques des déchets de manière à en réduire le volume à caractère dangereux, à en faciliter la manipulation ou à en favoriser les valorisations. Le choix d'un procédé de traitement des rejets dépend d'un certain nombre de facteurs, dont les plus significatifs : La composition de l'effluent, le type de la réutilisation, la qualité des besoins et la dimension de l'installation [1].

Parmi les procédés d'épuration des eaux usées, nous citons : les lits bactériens, le lagunage naturel et aéré, les disques biologiques et les boues activées. dans le monde et en Algérie en particulier, le traitement d'eau usée le plus couramment utilisé étant les boues activées, ces dernières nécessitent un investissement important, une technicité élevée, une diversité d'équipement et une consommation énergétique importante (aérateurs, brasseurs, compresseurs, vis de recirculation....), la recherche des procédés alternatifs simple, facile à mettre en œuvre, économe en énergie, s'avère nécessaire; c'est dans cette optique que s'inscrit cette étude; en proposant l'utilisation des lits bactériens classiques à garnissage en matériaux locaux (pouzzolane de Beni Saf, dans notre cas).

Ce procédé a été le premier système biologique aérobie à biomasse fixée non immergées développé et qui peut être constitué soit de pouzzolane (roche volcanique) ou de matériaux plastiques.

Une série d'expériences ont été effectuées au laboratoire de traitement et d'épuration des eaux de la faculté de technologie de l'université de Tlemcen sur le pilote TE900 spécialement modifié pour étudier les performances d'un lit bactérien à pouzzolane de Beni Saf, en variant la granulométrie de la pouzzolane, la hauteur du lit bactérien et le débit de son alimentation. Les eaux usées issues de la station d'AIN EL HOUTZ sont utilisées dans ces expériences.

Notre étude, est structurée suivant les parties suivantes :

- ⇒ Une partie bibliographique composée essentiellement de deux chapitres :
 - Le premier chapitre traite des paramètres de qualité et des différents procédés d'épuration des eaux usées, ainsi que la description de la STEP de AIN EL HOUTZ et les modes d'épuration qui existent dans celle-ci.
 - Le deuxième chapitre présente l'épuration biologique par le procédé de lits bactériens.
- ⇒ Une partie expérimentale constituée de deux chapitres :
 - L'un présentant les différents procédés utilisés pour l'analyse de l'eau usée et épurée.
 - L'autre réservé à l'interprétation des résultats expérimentaux obtenus.
- ⇒ Une conclusion.

Chapitre I

*Généralités sur les eaux
usées et leur traitement*

Généralité sur les eaux usées et leur traitement

Une fois qu'une eau est utilisée par l'habitant ou par l'industrie, elle est rejetée dans le milieu naturel, on parle alors d'une eau usée [2].

Une eau usée est une eau chargée de substances minérales, organiques ou biologiques, issues de l'activité humaine provoquant, sous une concentration anormale, une dégradation de la qualité de l'eau naturelle du milieu récepteur, cette eau doit être traitée avant son rejet dans le milieu récepteur [3].

I.1. Origine de l'eau usée :

Les eaux usées résultent des sources principales suivantes :

- de la pollution tant physico-chimique que bactériologique des eaux de consommation de bonne qualité,
- des activités humaines (qu'elles soient domestiques, industrielles ou agricoles),
- des ruissellements.

Suivant l'origine des substances polluantes, on peut distinguer [4].

I.1.1. Les eaux domestiques et urbaines :

Les eaux usées domestiques sont constituées par :

- Les eaux ménagères (eau des toilettes, eau des cuisines) sont chargées en détergents, graisses, débris organiques,.....
- Les eaux de vanne chargées des matières fécales et d'urines.

Les eaux usées urbaines sont rejetées par les installations collectives (hôpitaux, écoles, commerces, habitats) [5].

I.1.2. Les eaux industrielles:

Les rejets industriels peuvent être de nature très divers. La composition des eaux usées industrielles dépend notamment des procédés de production [6].

On trouve :

- Les matières organiques et graisses (industrie agro-alimentation, dégraissage..) ;
- Les sels métalliques ;
- Les acides, bases, produits chimiques... ;
- Les eaux chaudes (circuit de refroidissement des centrales thermiques) ;
- Les hydrocarbures [6], [4].

Certaines d'entre elles doivent faire l'objet d'un prétraitement de la part des industriels avant d'être rejetées dans les réseaux de collecte [7].

I.1.3. Les eaux pluviales :

Comprenant les eaux des pluies, les eaux de lavage et les eaux de drainage qui entraînent toutes sortes de déchets minéraux et organiques [8].

I.1.4. Les eaux agricoles :

L'agriculture est une source de pollution des eaux. Il s'agit de rejets liquides agricoles issus du ruissellement d'eau d'irrigation qui entraîne des engrais, des pesticides, des herbicides ou des rejets organiques dus à un élevage important [9].

I.2. Nécessité de l'épuration des eaux usées :

Le traitement des eaux usées doit être compatible avec l'usage prévu, on épure l'eau pour :

- ✓ L'irrigation ;
- ✓ Protection de l'environnement ;
- ✓ Recharge des nappes ;
- ✓ la préservation et l'amélioration de la santé [10].

I.3. Les principaux paramètres de pollution caractérisant les eaux usées :

La composition des eaux usées est extrêmement variable en fonction de leur origine (*industrielle, domestique, etc.*). Elles peuvent contenir de nombreuses substances, sous forme solide ou dissoute, ainsi que de nombreux micro-organismes. En fonction de leurs caractéristiques physiques, chimiques, biologiques et du danger sanitaire qu'elles représentent, ces substances peuvent être classées en trois catégories : les paramètres physiques, chimiques, et bactériologiques [9].

I.3.1. Les paramètres physiques:

a. Les matières en suspension (MES) :

Il s'agit des matières qui ne sont ni solubilisées, ni colloïdales, et qui comportent les matières organiques et les matières minérales contenues dans eau usée. Mesurées par pesée après filtration ou centrifugation et séchage à 105°C, elles constituent les MVS, MMS [11].

Les MES sont exprimées par la relation suivante : $MES = 30\% MMS + 70\% MVS$.

- **Les Matières Volatiles en Suspension (MVS) :**

Les MVS représentent la partie organique des MES et sont obtenues par la calcination à 525 C° pendant 2 heures [12].

➤ **Les Matières Minérales en Suspension (MMS) :**

Les MMS représentent la différence entre les MES et les MVS et correspondent à la présence de sels minéraux de silice [12].

b. Les matières décantables et non décantables :

On distingue les matières qui décantent en un temps donné, et les matières qui ne décantent pas et qui restent donc dans l'eau en se dirigeant vers l'épuration biologique [11], [13].

c. La turbidité :

La turbidité d'une eau est due à la présence des particules en suspension, notamment colloïdales ; argiles, limons, grains de silices, matières organiques,... Elle caractérise le degré de non transparence de l'eau. Elle est exprimée en mg/l de silice ou en unité NTU (Nephelometric Turbidity Unit) [14].

d. La température :

La température est un facteur écologique important du milieu. Elle joue un rôle important dans la solubilité des sels et surtout des gaz (en particulier O₂) dans l'eau ainsi que la détermination du pH et la vitesse des réactions chimiques. La température agit aussi comme un facteur physiologique sur le métabolisme de croissance des microorganismes vivants dans l'eau. La température est mesurée par thermo-sonde (ou par thermomètre) [7], [9] [15], [16].

e. Le potentiel hydrogène (pH) :

Le pH d'une eau représente son caractère alcalin ou acide et dont le facteur le plus important est habituellement la concentration en ion H₃O⁺. Il varie de 0 à 14 (acide (1 < pH < 7) ou basique (7 < pH < 14)).

En général, l'activité biologique se situe entre 6.5 et 8 unités de pH.

La mesure doit s'effectuer sur place par Le pH mètre : cet appareil de mesure est constitué d'une électrode de pH que l'on plonge dans la solution dont on veut connaître le caractère. Son pH s'affiche sur l'écran [9].

1.3.2. Les paramètres chimiques :

Les matières organiques nécessitent de l'oxygène pour leur dégradation par les bactéries. Cette demande en oxygène peut être représentée biologiquement ou chimiquement suivant

divers paramètres telles que la demande biologique en oxygène (DBO) et la demande chimique en oxygène (DCO) [13].

a. La demande biologique en oxygène (DBO) :

La demande biochimique en oxygène (DBO), exprimée en mg d'oxygène par litre, exprime la quantité d'oxygène nécessaire à la destruction ou à la dégradation des matières organiques par les microorganismes du milieu [13].

Elle est mesurée par la consommation d'oxygène à 20°C à l'obscurité pendant 5 jours d'incubation d'un échantillon préalablementensemencé, temps qui assure l'oxydation biologique des matières organiques carbonées [1], [8], [14].

b. La demande chimique en oxygène (DCO) :

C'est la mesure de la quantité d'oxygène nécessaire qui correspond à la quantité des matières oxydables par oxygène renfermé dans un effluent. Elle représente la plupart des composés organiques (détergents, matières fécales). Elle est mesurée par une solution de dichromate de potassium en milieu sulfurique en présence de sulfate d'argent et de sulfate de mercure II (complexant des chlorures), à chaud pendant 2h [7], [8], [17] [18].

C. L'oxygène dissous :

L'oxygène est essentiel pour le maintien de la vie aquatique et pour les phénomènes d'autoépuration dans les cours d'eau. La présence ou l'absence de ce paramètre crée deux milieux différents :

- Milieu aérobie (présence d'oxygène) ;
- Milieu anaérobie (absence d'oxygène) [11].

d. L'azote :

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

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

En plus de la toxicité de la forme ammoniacale et nitrique, l'azote intervient dans le phénomène de l'eutrophisation [7].

Donc, sa caractérisation et sa quantification sont primordiales pour les rejets liquides dans le milieu naturel [4].

✓ *L'azote kjeldahl :*

L'azote kjeldahl= Azote ammoniacal+ azote organique [19].

✓ **L'azote organique :**

L'azote contenu dans les déjections animales, et plus généralement dans les matières organiques mortes, est progressivement libéré par l'activité de la microflore aérobie et anaérobie du sol, les acides uriques, les protéines [20].

✓ **L'azote ammoniacal :**

L'azote ammoniacal est présent sous deux formes, l'ammoniac NH_3 et l'ammonium NH_4^+ . En milieu oxydant, l'ammonium se transforme en nitrite puis en nitrate [20].

e. Le phosphore :

C'est la quantité de phosphore total contenu dans l'eau sous diverses formes :

- Polyphosphates ;
- organophosphates ;
- et ortho-phosphates.

Le phosphore est aussi responsable de l'eutrophisation du milieu aquatique, d'où l'obligation de sa détermination [21].

La somme de ces diverses formes constitue le phosphore total, dont chaque forme peut être mesurée indépendamment des autres par spectrophotométrie [22].

I.3.3. Les paramètres bactériologiques:

Les eaux résiduaires urbaines contiennent de nombreux germes : (champignons, amibes, protozoaires, bactéries, virus) dont certains sont pathogènes.

La présence de coliformes et de streptocoques témoigne d'une contamination fécale de ces eaux qu'il est impératif d'épurer pour préserver le milieu naturel [7], [9].

a. Les bactéries :

Les bactéries sont des organismes unicellulaires simples et sans noyau. Leur taille est comprise entre 0,1 et 10 μm .

Les eaux usées urbaines contiennent environ 10^6 à 10^7 bactéries par 100 ml. Parmi les plus communément rencontrées, on trouve les *salmonella* responsables de la typhoïde, des paratyphoïdes et des troubles intestinaux [23].

b. Protozoaires :

Les protozoaires sont des organismes unicellulaires munis d'un noyau, plus complexes et plus gros que les bactéries. Ils sont présents dans les eaux usées à l'état de kystes.

La principale forme pathogène pour l'homme est *Entamoeba histolytica*, agent responsable de la dysenterie amibienne et *Giardia lamblia* [9], [24].

c. Helminthes :

Les helminthes sont rencontrés dans les eaux usées sous forme d'œufs et proviennent des excréments des personnes ou d'animaux infectés et peuvent constituer une source de réinfection par voie orale, respiratoire ou par voie cutanée [9]. La concentration en œufs d'helminthes dans les eaux usées est de l'ordre de 10 à 10^3 œufs par litre. On peut citer, notamment, *Ascaris lumbricades*, *Oxyuris vermicularis*, *Trichuris trichuria*, *Tænia saginata* [25].

d. Virus :

Les virus se trouvent dans les eaux résiduaires à des concentrations de l'ordre de milliers d'unités infectieuses par millilitre d'eau.

On estime leur concentration dans les eaux usées urbaines comprise entre 10^3 et 10^4 particules par litre. Leur isolement et leur dénombrement dans les eaux usées sont difficiles, ce qui conduit vraisemblablement à une sous estimation de leur nombre réel [25].

Parmi les infections virales d'origine hydrique, on trouve *la poliomyélite*, *l'hépatite A* [9].

e. Les Coliformes Totaux:

Les coliformes (Enterobacteriaceae) sont des bacilles, gram(-), non sporulés, capsules, aérobies ou anaérobies facultatives. Se développant entre 25 et 37°C [20].

➤ *Les caractéristiques des coliformes :*

Les coliformes se développent entre 25 et 37 °C, fermentation du lactose en produisant du gaz et de l'acide en 48 heures à 37°C.

➤ *exemples: Coliformes ou (Enterobacteriaceae) :*

- *E. coli* ;
- *Klebsiella pneumoniae* ;
- *Klebsiella oxyton* ;
- *Entérobacter cloacae* ;
- *Entérobacter aérogènes* ;
- *Citrobactere freundii* ;
- *Citobactere amalonaticus*.

Les coliformes totaux sont inclus dans les germes témoins de contamination fécale de deuxième ordre [26].

f. Les coliformes fécaux (coliformes thermotolérants) :

C'est un groupe de bactéries utilisé comme indicateur de contamination fécale. Elles appartiennent à la classe des *Enterobacteriaceae* [27].

Ce sont des bacilles à gram négatif, oxydase négative, aérobies ou anaérobies facultatifs, capables de se multiplier et de fermenter le lactose et produisent du gaz, de l'acide et l'aldéhyde. On les considère comme de bons indicateurs de contamination fécale et se cultivent à 44°C [27], [28].

g. Les streptocoques fécaux :

Ces bactéries appartiennent à la famille des *streptococcaceae*, ce sont des cocci généralement disposés en diplocoques ou en courte chaîne, à gram négatif, asporulantes, immobiles, aérobies facultatifs et possédant un métabolisme fermentatif.

Ces germes colonisent l'intestin de l'homme et des animaux à sang chaud. Leur présence dans le milieu hydrique prouve une pollution d'origine fécale de l'eau. Cependant, on peut trouver aussi des streptocoques fécaux dans le sol, les plantes et les insectes [28].

1.4. L'épuration des eaux usées :

Le rejet direct des eaux usées dans le milieu naturel perturbe l'équilibre aquatique en transformant le milieu accepteur en égouts. Cette pollution peut aller jusqu'à la disparition de toute vie. Pour cela, il faut épurer et retirer des eaux usées un maximum de déchets, avant de les rejeter dans l'environnement, pour que leur incidence sur la qualité de l'eau, en tant que milieu naturel aquatique, soit la plus faible possible.

L'épuration consiste à éliminer les plus gros débris organiques ou minéraux, retirer les MES de densité différente de l'eau tels que les grains de sables et les particules minérales, et aussi à éliminer les pollutions résiduelles qui pourraient être gênantes en aval (germes pathogènes, azote, phosphore....etc.)

Elle se fait dans des stations d'épuration qui comportent des installations de traitement des eaux et des dispositifs de traitement des boues produites [29].

1.4.1. Les différents procédés d'épuration des eaux usées :

Le but de ces différents traitements est de diminuer suffisamment la quantité de substances polluantes contenues dans les eaux usées pour que l'eau finalement rejetée dans le milieu naturel ne dégrade pas ce dernier.

I.4.1.1. Le prétraitement :

Les eaux usées brutes doivent généralement subir avant leur traitement proprement dit un prétraitement, qui a pour but d'extraire la plus grande quantité possible d'éléments dont la nature ou la dimension constitueraient un gêne pour les traitements ultérieurs.

On peut citer les trois opérations :

- Dégrillage ;
- Dessablage ;
- Déshuilage, dégraissage [2].

a- Dégrillage :

Le dégrillage est le premier poste de traitement indispensable sur les eaux usées de surface et les eaux résiduaires. Il permet de protéger la station contre l'arrivée de gros objets flottants afin d'éviter des bouchages dans les différentes unités de l'installation. Il s'agit de séparer les eaux brutes des matières les plus volumineuses. On distingue :

- ❖ Pré dégrillage : espacement des grilles de 30 à 100 mm ;
- ❖ Dégrillage moyen : espacement de 10 à 25 mm ;
- ❖ Dégrillage fin : espacement de 3 à 10 mm.

L'élimination des matières flottantes au niveau des dégrilleurs s'obtient par nettoyage de façon mécanique ou manuelle (figure I.1 et figure I.2) [2].



Figure I.1. La grille grossière automatique



Figure I.2. La grille manuelle

b- Dessablage :

L'élimination des sables est une opération indispensable pour :

- ✓ éviter les dépôts dans les canalisations induisant leur bouchage.
- ✓ protéger les pompes et autres organes mécaniques contre l'abrasion.
- ✓ réduire la production des boues

- ✓ éviter toute perturbation des procédés au cours du traitement [2].

c- Dégraissage - Déshuilage :

C'est généralement le principe de la flottation qui est utilisé pour l'élimination des huiles. Son principe est basé sur l'injection de fines bulles d'air dans le bassin de déshuilage, permettant de faire remonter rapidement les graisses en surface. Leur élimination se fait ensuite par raclage de la surface (figure I.3). Il est important de limiter au maximum la quantité de graisse dans les ouvrages en aval pour éviter par exemple un encrassement des ouvrages, notamment des canalisations [2].



Figure I. 3. Déshuilage par écumage des graisses [30].

I.4.1.2. Le traitement primaire (décanteur primaire) :

Les procédés de traitement primaire sont physiques, comme la décantation plus ou moins poussée, éventuellement physico-chimiques (coagulation-floculation).

Le traitement primaire est adapté pratiquement dans toutes les stations du traitement des eaux, avec comme objectif l'élimination des matières flottantes et une fraction des matières colloïdales [31].

a- Coagulation-floculation :

La turbidité et la couleur d'une eau sont principalement causées par des particules très petites, dites particules colloïdales. Ces particules, qui peuvent rester en suspension dans l'eau durant de très longues périodes, peuvent même traverser un filtre très fin. Par ailleurs, du fait de leur grande stabilité, elles n'ont pas tendance à s'accrocher les unes aux autres [31], [32], [6].

Pour éliminer ces particules, on a recours aux procédés de coagulation et de floculation (figure I.4).

➤ **La coagulation :**

La coagulation a pour but principal de déstabiliser les particules en suspension, c'est-à-dire de faciliter leur agglomération. En pratique, ce procédé est caractérisé par l'injection et la dispersion de produits chimiques [6].

➤ **La floculation :**

La floculation a pour but de favoriser, à l'aide d'un mélange lent, les contacts entre les particules déstabilisées. Ces particules s'agglutinent pour former un floc qu'on pourra facilement éliminer par décantation [6].

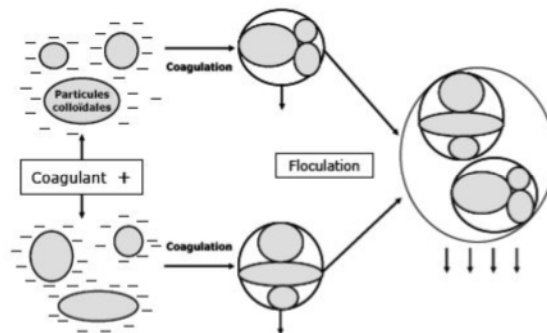


Figure I.4. Coagulation floculation [33].

b- décantation :

La décantation est utilisée pratiquement dans toutes les usines d'épuration et de traitement des eaux, c'est un procédé de séparation des matières en suspension et des colloïdes rassemblés en floc dont la densité est supérieure à celle de l'eau ; elle s'effectue selon un processus dynamique, en assurant la séparation des deux phases solide-liquide de façon continue. Les particules décantées s'accumulent au fond du bassin, d'où on les extrait périodiquement. L'eau récoltée en surface est dite clarifiée [6], [2], [34], [35].

c-filtration :

La filtration est un procédé physique destiné à clarifier un liquide qui contient des matières en suspension en le faisant passer à travers un milieu poreux.

La filtration, habituellement précédée des traitements de coagulation, de floculation et de décantation, permet d'obtenir une bonne élimination des bactéries, de la couleur, de la turbidité et de certains goûts et odeurs [6].

I.4.1.3. Le traitement secondaire (traitement biologique):

Le traitement biologique a pour but d'éliminer le plus possible des polluants biodégradables contenus dans l'eau usée.

Les agents actifs dans le traitement sont des micro-organismes, en particulière les bactéries aérobies qui digèrent les matières organiques en présence d'oxygène [36].

Il existe plusieurs procédés:

- ❖ Les lits bactériens ;
- ❖ Les boues activées ;
- ❖ Le lagunage (naturel, aéré) ;
- ❖ Les disques biologiques [36].

a. Les lits bactériens (culture fixe) :

Ce procédé a été le premier système biologique développé dès la fin du 19^e siècle en Grande-Bretagne. Les lits bactériens sont une filière de traitement biologique aérobie à biomasse fixée. Les lits bactériens appartiennent donc à la famille des systèmes à biomasse fixée dont le matériau support est immobile.

Ce sont des réacteurs biologiques dans lesquels la culture microbienne se développe en pellicule (biofilm) sur un matériau support inerte qui ménage de larges espaces libres.

Les eaux à épurer ruissellent par gravité sur le biofilm microbien et l'aération est assurée naturellement par la circulation de l'air dans les interstices libres du matériau support.

La masse du lit bactérien se compose soit : de pouzzolane (roche volcanique) ou de matériaux plastiques [37].

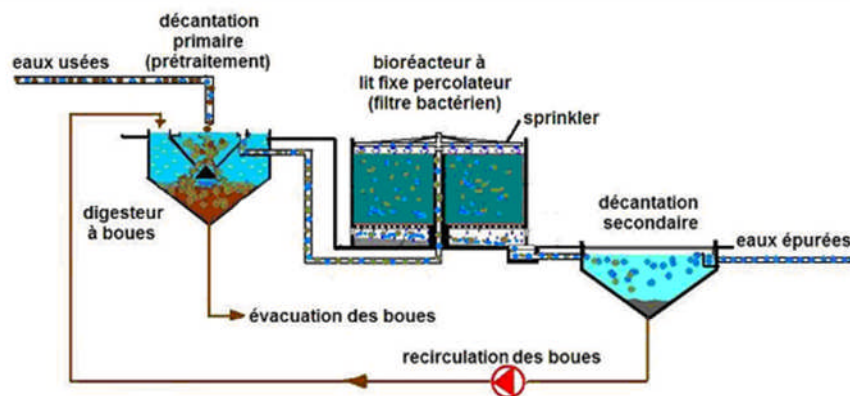


Figure I.5. Lit bactérien [38].

b. Les boues activées (culture libre):

Les procédés par boues activées comportent essentiellement une phase de mise en contact de l'eau à épurer avec un floc bactérien en présence d'oxygène (aération) suivie par une phase de séparation de ce floc (clarification). Ils sont en fait une intensification de ce qui se passe dans le milieu naturel [39].

Les procédés à boues activées est un système qui fonctionne en continu dans lequel les bactéries sont mises en contact avec les eaux usées contenant la pollution (matières

organiques), l'oxygène est injecté dans le mélange ce qui permet d'assurer les conditions aérobies des bactéries [39].

On les utilise pour accélérer l'épuration effectuée dans des bassins en béton ou en acier de 3 à 5 m de profondeur dans lesquels les eaux usées entrent en contact avec des micro-organismes en suspension (2 à 10 g/l) oxygénés par des aérateurs de surface ou par insufflation d'air [40]. Après une durée de 3 à 24 heures de ce traitement, le mélange d'eau épurée et de micro-organismes passe dans un décanteur où les boues composées par les micro-organismes sont séparées de l'eau. Ceux-ci sont en partie renvoyés dans le bassin d'aération et en partie évacués [39].

➤ **La base théorique d'épuration par les boues activées:**

En présence d'une nourriture abondante, les micro-organismes vont se développer très rapidement et ont tendance à former des masses de floccs bactériens qui permettent l'oxydation des biodégradables.

Pendant la dégradation, une partie de la matière organique est assimilée par les bactéries et transformée en nouvelle cellule, l'autre partie est dégradée par l'oxydation et produit de l'énergie qui sert à la synthèse cellulaire.

Lorsque la nourriture est abondante, les bactéries ont tendance à stocker une partie de cette nourriture qui sera utilisée au fur et à mesure de leur besoin.

Une station d'épuration à boue activée comprend dans tous les cas :

- ▶ Un bassin dit d'aération dans lequel l'eau à épurer est mise en contact avec la masse bactérienne épuratrice (figure I.6)
- ▶ Un clarificateur dans lequel s'effectue la séparation de l'eau épurée et la culture bactérienne (figure I.7).
- ▶ Un dispositif de recirculation assurant le retour vers le bassin d'aération des boues biologiques récupérées dans le clarificateur.
- ▶ Un dispositif d'extraction et évacuation des boues en excès.
- ▶ Un dispositif de brassage de ce même bassin, afin d'assurer au mieux le contact entre les cellules partout où il en est besoin [40].



Figure I.6. Bassin d'aération.



Figure I.7. Clarificateur.

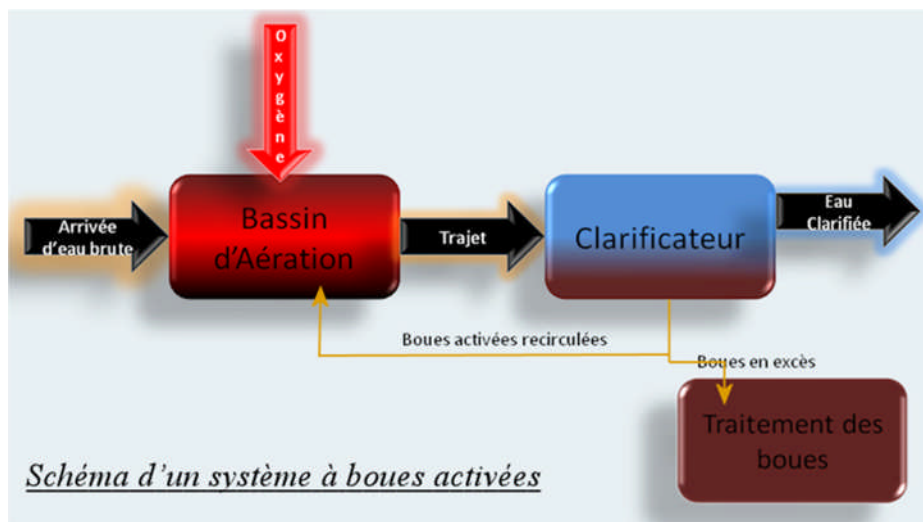


Figure I.8. Principe de l'épuration à boue activé.

➤ **Indice de boue :**

L'indice de boue représente le volume occupé par un gramme de boue après trente minutes de décantation statique dans une éprouvette d'un litre à paroi transparente graduée. Noté IB, exprimé en ml.g-1 de MES, il est défini par la formule suivante :

$$IB = VD30 / MES \dots\dots\dots (1).$$

Avec :

VD30 = volume de boue décanté en trente minute (mL.L-1).

MES = concentration des matières en suspension dans l'éprouvette (g.L-1).

Si :

- 50 ml/g < IB < 150 ml/g la boue décante bien.
- IB > 150 ml/g il y a mauvaise décantation et les boues recirculées sont trop claires [7].

C. Disques biologiques :

Dans le procédé des disques biologiques (Figure I.8), le support est constitué par des disques parallèles tournant lentement autour d'un axe horizontal de telle sorte que la culture bactérienne présente sur le support se trouve alternativement au contact de l'eau et de l'air.

Les disques en polystyrène ont habituellement 2 à 3 m de diamètre. L'écartement entre les disques est d'environ 2 cm.

Les disques biologiques conviennent à des usines de petite à moyenne taille et à des collectivités. Ils occupent peu de place, sont d'usage facile, exigent peu d'énergie et ont des rendements pouvant atteindre 90% [40].

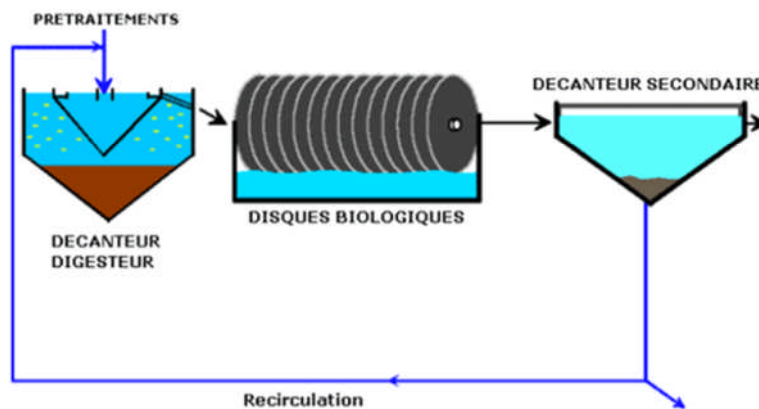


Figure I.9. Disques biologiques [41].

D- Le lagunage (culture libre) :

Le lagunage est un système biologique d'épuration qui repose sur la présence équilibrée de bactéries aérobies en cultures libres et d'algues. L'oxygène nécessaire à la respiration bactérienne est produit uniquement grâce aux mécanismes photosynthétiques des végétaux en présence de rayonnements lumineux [36].

➤ Lagunage naturel :

L'épuration est assurée grâce à un long temps de séjour dans plusieurs bassins étanches disposés en série. Le nombre de bassin le plus communément rencontré est 3.

Le mécanisme de base sur lequel repose le lagunage naturel est la photosynthèse. La tranche d'eau supérieure de bassins est exposée à la lumière ; ceci permet l'existence d'algues qui produisent l'oxygène nécessaire au développement des bactéries aérobies. Ces bactéries sont responsables de la dégradation de la matière organique. Le gaz carboné formé par les bactéries ainsi que les sels minéraux dans les eaux usées permettent aux algues de se

multiplier, au fond du bassin où la lumière ne pénètre pas; ce sont des bactéries anaérobies qui dégradent les sédiments issus de la décantation de la matière organique [29].

➤ **Lagunage aéré :**

Il s'agit d'un ou plusieurs bassins de 2 à 4 mètres de profondeur, dans lesquels l'apport d'oxygène est fourni par un système artificiel (aérateurs de surface, diffuseurs d'air) [29].

Tableau I.1. Avantages et inconvénients des procédés d'épuration [29].

Traitement	Avantages	Inconvénients
Lagunage	<ul style="list-style-type: none"> -faible coût -peu d'entretien -coût d'exploitation faible -bonne qualité de l'eau traitée -pas de décantation primaire, ni recyclage 	<ul style="list-style-type: none"> - surface au sol importante -odeurs et moustiques peuvent se développer
Boues activées	<ul style="list-style-type: none"> -bonne qualité de l'eau traitée, mais peut subir des fluctuations -surface au sol relativement réduite 	<ul style="list-style-type: none"> -décanteur primaire -décanteur secondaire -problèmes de boues -coût d'exploitation plus élevé, entretien mécanique
Lit bactérien	<ul style="list-style-type: none"> -bonne qualité de l'eau traitée -excellent rendement lorsqu'ils sont bien calculés, surface au sol réduit -faible consommation d'énergie 	<ul style="list-style-type: none"> -décanteur primaire -décanteur secondaire -problèmes de boues

I.4.1.4. Les traitements tertiaires :

Le traitement tertiaire arrive lorsqu'un traitement complémentaire plus poussé soit nécessaire afin de faciliter l'élimination de certaines substances délicates à extraire. Cette étape joue un rôle d'affinage dont le but soit d'une réutilisation des eaux épurées à des fins agricoles ou industrielles, soit d'une protection plus poussée du milieu récepteur.

Ce traitement peut être de nature :

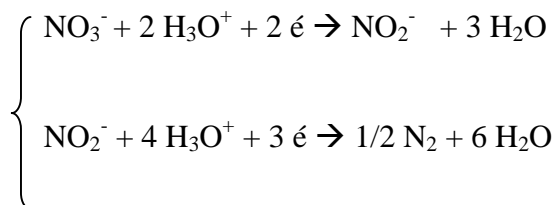
- ✚ Biologique pour l'élimination de l'azote (nitrification dénitrification) et du phosphore (dé phosphatation).
- ✚ Chimique pour la désinfection [42].

a- L'élimination de l'azote :

Les stations d'épuration n'éliminent qu'environ 20 % de l'azote présent dans les eaux usées, par les traitements de nitrification – dénitrification. Pour satisfaire aux normes de rejet en zones sensibles, des procédés physiques et physico-chimiques complémentaires permettent l'élimination de l'azote par : électrodialyse, résines échangeuses d'ions, mais ces traitements ne sont pas utilisés dans le traitement des eaux résiduaires urbaines, pour des raisons de rendement et de coût [43].

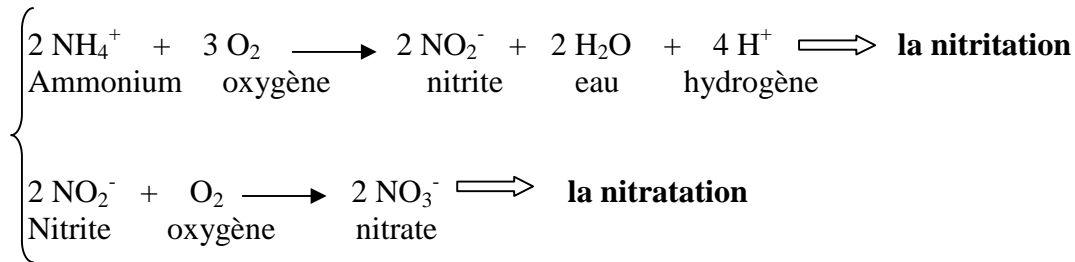
- **La dénitrification :**

la station d'épuration doit être équipée d'un système de dénitrification des eaux épurées avant leur rejet en le faisant passer dans un bassin spécifique d'anoxie ; On y prive d'air les bactéries d'épuration qui s'emparent des atomes d'oxygène des molécules de nitrates, ce qui libère de ce fait leurs atomes d'azote qui s'échappent sous forme gazeuse vers l'atmosphère [21], [43].



- **La nitrification :**

La nitrification est définie comme étant la conversion de composés azotés réduits (organiques ou inorganiques) en éléments dont l'azote est dans un état plus oxydé. La nitrification est généralement réalisée par des microorganismes autotrophes qui utilisent l'azote ammoniacal ou le nitrite comme source d'énergie et comme source d'azote, le dioxyde de carbone comme source de carbone et l'oxygène comme accepteur final d'électrons. Elle s'opère en deux étapes : la nitritation qui est l'oxydation de l'ammoniac en nitrite, et la nitratisation correspondant à l'oxydation du nitrite en nitrate [44], [21].



b- L'élimination de phosphore (dé-phosphatation) :

Détergents industriels, produits de nettoyage sous forme de phosphore principalement, le principe de la dé-phosphatation est simple, on applique à l'eau des doses réactifs formant des sels insolubles avec les composés du phosphore (chaux, sels de fer ou d'aluminium). On obtient toujours un abattement du phosphore dans les traitements à pH élevés. En particulier lorsque le réactif est la chaux.

Ce type de traitement physico-chimique peut se faire juste après le dégraissage et le dessablage « *pré-précipitation* » ou dans le bassin d'aération ; dans ce cas on utilise le sulfate de fer ou d'aluminium, « *Co-précipitation* » et enfin dans la clarificateur « *post-précipitation* » ; cette technique peut être utilisable à cause des coûts des réactifs très élevés et les quantités considérables des boues supplémentaire produites.

Ce procédé repose sur l'accumulation des phosphores à l'intérieur des bactéries qui sont évacuées avec les boues en excès.

c- Désinfection :

La désinfection est un traitement qui permet de détruire et d'éliminer les micro-organismes susceptibles de transmettre des maladies. Ce traitement n'inclue pas nécessairement la stérilisation, qui est la destruction de tous les organismes vivants dans un milieu donné. On peut procéder à la désinfection en ajoutant à l'eau une certaine quantité d'un produit chimique doté de propriétés germicides [2].

Il existe généralement deux types de désinfection :

- La désinfection chimique ;
- La désinfection physique [45].

✓ La désinfection chimique :

- Le chlore (Cl_2) ;
- L'hypochlorite de sodium (eau de javel : NaOCl) ;
- Le dioxyde de chlore (ClO_2) ;
- Les chloramines (NH_2Cl) ;

-Peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) ;

-L'ozone (O_3);

-Le brome [42].

✓ **La désinfection physique :**

-Le rayon ultra violet UV ;

-l'ébullition ;

-les rayons gamma [42].

d. Elimination et traitement des odeurs :

Les eaux usées, chargées en matières organiques particulaires et dissoutes, peuvent induire directement ou indirectement, par l'intermédiaire de leurs sous-produits d'épuration (graisses, boues), la formation d'odeurs désagréables suivant un processus de fermentation.

Les odeurs provenant des STEP sont dues aux gaz, aérosols ou vapeurs émises par certains produits contenus dans les eaux usées ou dans les composés se formant au cours des différentes phases de traitement [46].

Les sources les plus importantes d'odeurs sont :

- Les prétraitements
- Les boues et leur traitement.

Pour éviter ces nuisances, les ouvrages sensibles seront couverts et munis d'un système de ventilation ainsi que d'une unité de traitement biologique des odeurs.

On distingue généralement deux types de traitement biologique des odeurs : les bio-filtres et les bio-laveurs. Dans les premiers, la biomasse est supportée par un plancher spécifique et l'air traverse le massif (souvent de la tourbe). Les seconds réalisent un deuxième filtre grâce à une suspension. La biomasse est libre, et l'épuration se produit dans un réacteur [46].

1.4.2. La réutilisation des eaux usées :

L'objectif principal de la réutilisation des eaux usées est non seulement de fournir des quantités supplémentaires d'eau de bonne qualité en accélérant le cycle d'épuration naturelle de l'eau, mais également d'assurer l'équilibre de ce cycle et la protection du milieu environnant. Par définition, cette réutilisation est une action volontaire et planifiée qui vise la production des quantités complémentaires en eau pour différents usages afin de combler des déficits hydriques.

La réutilisation de l'eau est essentiellement utilisée pour l'irrigation (70 %), mais aussi essentiellement par des utilisations qui ne nécessitent pas de l'eau potable (usages industriels à environ 20 % et usages domestiques pour environ 10 %) [47], [48].

I.4.2.1. Le secteur industriel :

La réutilisation industrielle des eaux usées est désormais une réalité technique et économique. Pour certains pays et types d'industries, l'eau recyclée fournit 85 % des besoins globaux en eau. Les secteurs les plus grands consommateurs en eau sont les centrales thermiques et nucléaires (eau de refroidissement) et les papeteries.

La qualité de l'eau réutilisée est réglementée et dépend du type d'application ou de production industrielle. La part des eaux usées urbaines ne dépasse pas 15% du volume des eaux réutilisées en industrie. Aux Etats-Unis, par exemple, le volume des eaux résiduaires réutilisées en industrie est d'environ 790 000 m³/j, dont 68 % pour le refroidissement.

Parmi les activités industrielles :

- Les stations de lavage de voiture.
- L'industrie du papier.
- La production d'acier, de textile.
- Les industries d'électroniques [49].

I.4.2.2. Le secteur agricole :

L'irrigation de cultures ou d'espaces verts est la voie la plus répandue de réutilisation des eaux usées urbaines. Au niveau mondial, c'est également la solution qui a le plus d'avenir à court et à moyen terme [49].

Dans le cas spécifique de l'irrigation, les bénéfices ne résident pas seulement dans la préservation du milieu et de la ressource, mais aussi dans la nature des eaux usées. En effet, elles contiennent des éléments fertilisants (azote, phosphore et potassium) ainsi que (fer, cuivre, manganèse, zinc, etc.) qui sont bénéfiques pour les cultures, et qui peuvent augmenter significativement le rendement. Les MES contribuent également à la fertilisation des sols car elles sont riches en matière organique [48].

La majorité des projets de réutilisation des eaux usées concerne des utilisations agricoles. Pour ce secteur, la réutilisation des eaux améliore les rendements des cultures et apporte des bénéfices financiers [49].

I.5. Les normes de rejets d'effluents :

I.5.1. Normes internationales :

La norme est représentée par un chiffre qui fixe une limite supérieure à ne pas dépasser ou une limite inférieure à respecter. Un critère donné est rempli lorsque la norme est respectée pour un paramètre donné. Une norme est fixée par une loi, une directive, un décret de loi.

Les normes internationales selon l'organisation mondiale de la santé pour les eaux usées [50], [51].

Tableau I.2. Normes de rejets internationales [51].

Paramètres	Normes utilisées (OMS)	Unité
PH	6,5-8,5	-
DBO ₅	<30	mg/l
DCO	<90	mg/l
MES	<20	mg/l
NH ₄ ⁺	<0,5	mg/l
NO ₂	1	mg/l
NO ₃	<1	mg/l
P ₂ O ₅	<2	mg/l
Température T	<30	°C
Couleur	Incolore	-
Odeur	Inodore	-

I.5.2. Normes Algériennes :

Les eaux usées se caractérisent par des paramètres physico-chimiques et bactériologiques, qui permettent de déterminer leur éventuelle origine et de connaître l'importance de leur charge polluante. Avant qu'elles ne soient rejetées dans le milieu naturel et ne le dégradent, elles doivent impérativement obéir à des normes établies pour protéger les milieux récepteurs contre la pollution. Pour cela, elles sont acheminées vers une station d'épuration où elles subissent plusieurs phases de traitement.

Selon les normes Algériennes les valeurs limites maximales de rejet d'effluents sont regroupées dans le tableau I.3.

Tableau I.3. Les valeurs limites maximales des paramètres rejets [50], [52].

Les paramètres	Les valeurs maximales	unités
Températures	30	C°
PH	6,5 à 8,5	-
MES	30	mg/l
DBO5	40	mg/l
DCO	120	Mg/l
Azote kjeldhal	40	mg/l
Phosphates	0,2	mg/l
Cyanures	0,1	mg/l
Aluminium	5	mg/l
Cadmium	0,2	mg/l
Chrome total	0,5	mg/l
Chrome III ⁺	3	mg/l
Chrome VI ⁺	0,1	mg/l
Fer	5	mg/l
Manganèse	1	mg/l
Mercur total	0,01	mg/l
Nickel total	5	mg/l
Plomb total	1	mg/l
Cuivre total	3	mg/l
Zinc total	5	mg/l
Huiles et les graisse	20	mg/l
Hydrocarbures	20	mg/l
Phénols	0,5	mg/l
Solvants organiques	20	mg/l
Chlore actif	1	mg/l
PCB	0,001	mg/l
Détergents	2	mg/l
Tensio-actifs anionique	10	mg/l
Chlore actif	1	mg/l

I.6. Description de la station de d'épuration de Tlemcen :

I.6.1. Situation géographique :

La station d'épuration de la ville de Tlemcen se situe au nord de celle-ci ; à l'ouest de Chetouane sur la route d'Ain El Houtz conçue pour une population de 150 000 EQ/Hab et d'une capacité de 30 000 m³/j, elle a été réalisée par l'Entreprise Hydrotraitement mise en service le 05 Novembre 2005 gérée et exploitée actuellement par l'Office National de l'Assainissement (ONA).

Cette station est de type Boues activées à faible charge. Dans le traitement biologique des effluents, on fait généralement appel aux processus aérobies. [48].



Figure I.10. Panoramique de la station d'épuration des eaux usées de la ville de Tlemcen.

I.6.2. Principe de fonctionnement de STEP de AIN EL HOUTZ :

I.6.2.1. Donnée de base:

La station d'épuration a été dimensionnée sur les bases suivantes :

- La réalisation : 05 Novembre 2005 ;
- Type de réseau : unitaire ;
- La nature d'eau brute : domestique ;
- Le nombre de population : 150 000 Eq/hab ;
- Débit journalière : 30 000 m³/j ;
- Débit de pointe horaire : 3800 m³/h ;
- DBO₅ journalière : 9300 Kg/j ;
- Matières en suspension : 13 950 Kg/j ;
- Azote à nitrifié : 1980 Kg/j [48].

I.6.2.2. L'origine d'eau brute :

Les eaux usées épurées au niveau de cette station sont de prévenance ménagère (domestique), et ne contiennent aucune substance industrielle, ce qui a beaucoup facilité le processus d'épuration.

I.6.2.3. Les installations de la STEP :

Il existe deux types de canaux d'emmener des eaux usées a la station :

- Des dalots (2 m de largeur et 1m de hauteur) qui proviennent de Sidi Yakoub vers Feddan Sbaa.
- Conduite de 1250mm de diamètre qui vas de Feddan Sbaa jusqu'a la tête de la station [48].

La STEP de AIN EL HOUTZ est équipé par deux filières : une pour les eaux usées et l'autre pour les boues :

➤ Filière d'épuration des eaux usées :

La station fonctionne sur la base d'un procédé a boue activé avec aération prolongée a l'aide d'aérateur de surface a vitesse lente, l'eau entrant a la station passe en premier lieu par :

a. Le déversoir d'orage :

Les eaux usées provenant des habitats sont collectées jusqu'au la station par un réseau d'égouts. Leur transport se fait généralement par gravité, sous l'effet de leur poids a la tête du premier procédé dans la station à l'aide d'une conduite de 800 mm de diamètre, et puis elles sont déversées à travers le déversoir d'orage qui est dimensionné pour prendre en charge un maximum de 3300 m³/ha [48].

b. Deux dégrilleurs :

Dans but de retenir les déchets solides et volumineux par des barreaux métalliques d'une grille. le nettoyage se fait manuellement par une grille grossière, ensuite, l'eau usée passe par une grille mécanisée. Les déchets sont recueillis par un tapis qui va les déverser dans un endroit spécialisé, puis, ils sont envoyés en décharge ou en unité d'incinération selon leur nature.

➤ Les grilles grossières manuelles (1unité) :

- La largeur de la grille : 1,8 m ;
- L'inclinaison : 70% ;
- l'écartement entre les barreaux : 5 cm.

➤ Les grilles mécaniques (2unité) :

- La largeur de la grille : 1 m ;

-L'écartement entre les barreaux : 2cm.

-profondeur de chenal : 1,5m

c. dessableur-déshuileur (2 unité):

Ces deux opérations sont réalisées dans un même ouvrage longitudinal, de 26m de largeur et 4m de longueur.

d .Bassin d'aération :

La STEP est équipée de quatre bassins rectangulaires, dont les caractéristiques sont:

- La longueur : 55,5m ;
- La largeur : 8,5m ;
- Le volume : 4723m^3 ;
- La hauteur d'eau : 4,6m ;
- La hauteur de béton : 5,6 m [48].

e. décantation secondaire :

Après un temps de contact suffisamment long, la liqueur est envoyée dans un décanteur secondaire. Dans la STEP contient deux décanteurs secondaire et chacun est caractérisé par:

- Pont racleur à vitesse de rotation de 0,04m/s ;
- Diamètre : 46m ;
- Surface : 166m^3 ;
- Profondeur de l'eau : 4m [48].

f.Bassin de chloration :

Après la clarification et afin d'éviter le risque de la présence des microorganismes pathogènes, l'eau épurée passe dans un bassin de chloration d'un volume de 700m^3 avant son rejet,

- **Filières de traitement des boues** : ce procédé est réalisé selon les étapes suivantes:

a. L'épaississement des boues :

Les boues sont pompées par des vis de recirculation, dans un épaisseur d'une hauteur de 4 m et de 14 m de diamètre avec un racleur et des piquets verticaux [48] [52].

b.La déshydratation des boues sur lits de séchage :

Les boues en excès sont séchées dans 14 lits de séchage de 30 m de longueur et 15 m de largeur chacun [48]. [52].

I.6.3. Analyses des eaux :

La qualité de l'eau épurée est strictement contrôlée avant rejet afin de préserver l'écosystème-faune et flore - du cours d'eau, très sensible aux pollutions domestiques et industrielles.

Au niveau du laboratoire sont effectuées un bon nombre d'analyses de critères physiques et physicochimiques. Ces analyses sont transmises à l'office national d'assainissement [53].

Les paramètres analysés sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau I.4. Caractéristique des eaux épurées de la station de la ville de Tlemcen [48].

Les paramètres	La concentration
Les matières sédimentables	0,5 CC/l
Matière en suspension	30 mg/l
DBO	20 mg/l
DCO	120 mg/l
Azotes (N-NH ₄)	3 – 5 mg/l
Azotes (N-NO ₃)	8 – 10 mg/l
Huiles et graisses végétaux	20 mg/l
Coliformes totaux	20 000/ 100 ml
Coliformes fécaux	12 000/100 ml
Streptocoques fécaux	2000/100 ml

I.6.4. Rendement de la station :

Les analyse effectuées au niveau de l'entrée et à la sortie de la station donnent de bons résultats, ce qui indique que l'eau rejetée à des caractéristiques physiques, chimiques sont dans les normes de rejets, et le rendement qualitatif de la STEP varie entre 95% et 97% [48].

Chapitre II
Épuration biologique par
lit bactérien

L'épuration biologique par lit bactérien

Le déversement, dans un milieu récepteur (rivières, lac, cours d'eau...) d'eau usées provoque diverses réactions susceptibles de transformer l'équilibre écologique du milieu.

La méthode la plus efficace de réduction des teneurs en matières organiques des eaux usées, est leur dégradation biologique par les matières organismes.

Parmi les divers organismes responsables des phénomènes biologiques, les bactéries sont les plus importantes et les plus nombreuses. [11].

La dégradation biologique des matières organiques se déroulent en deux phases :

- **La phase d'absorption** : très rapide, au cours de laquelle, les substances organique s'absorbent sur la membrane extérieure des cellules.
- **La phase d'oxydation** : plus lente, au cours de laquelle, a lieu l'oxydation des matières organique en produits de décomposition tels que CO₂ et H₂O [11].

Dans les ouvrages d'épuration biologique, tout les processus sont intensifiés à cause des conditions artificielles plus favorables à la dégradation de la pollution organique.

II.1. les conditions favorables pour l'épuration :

Les conditions qui assurent une forte intensification du processus dans les ouvrages d'épuration biologique des eaux résiduaires, sont :

- La formation des flocons est une propriété commune des bactéries, les bactéries se groupent et se développent en flocons.
- Les flocons légers et possédant une grande surface leur conférant la propriété d'absorber les substances organique.
- Une forte concentration des micro-organismes dans les flocons.
- Une aération intensive de l'eau résiduaire assure dans les ouvrages :
 - Une quantité d'oxygène dissous suffisante pour une forte concentration de micro-organismes sur les flocons.
 - Une bonne agitation de l'eau qui crée un contact optimal entre les micro-organismes et l'eau épuré.
 - Une bonne dispersion des flocons dans l'eau [54].

II.2. L'épuration biologique par lit bactériens :

II.2.1. Historique :

Historiquement, les lits bactériens constituent une des premières techniques utilisées en traitement des eaux usées domestiques des agglomérations (bien avant l'avènement des "boues activées"). Ils représentaient en 1960 environ les 2/3 des stations d'épuration en service en France [55].

Progressivement, en France, cette technique a été supplantée par les installations boues activées travaillant en forte charge et moyenne charge, puis par celles travaillant en faible charge ou aération prolongée. Ainsi, entre 1960 et 1970 les lits bactériens représentaient plus que 1/3 des installations construites. Actuellement moins de 15 % du nombre de stations d'épuration réalisées sont de type "lits bactériens" [55].

De fait, à charge et à performance égales, la construction d'un lit bactérien s'avère plus coûteux qu'une installation " boues activées " (coût de 20 à 30 % plus élevé). Un phénomène de "mode" n'est également pas étranger à l'abandon de cette technique (et des techniques associées comme les disques biologiques), mais il faut bien avouer aussi que la mauvaise conception et le mauvais dimensionnement des ouvrages en sont certainement les causes principales [55].

Il faut cependant admettre que cette filière de traitement est facilement exploitable pour un coût de fonctionnement peu élevé ce qui constitue certainement une bonne alternative au traitement "boues activées" pour les installations de petite capacité (< 2000 EH) [55].

II.2.2. Domaine d'application recommandé :

Cette filière est adaptée pour les petites collectivités avec des charges de pollution à traiter comprises entre 200 et 2000 EH (Equivalents Habitants). Sur les unités les plus importantes, il peut être plus économique de répartir le traitement sur deux étages de lits bactériens en série [56].

II.2.3. Principe du traitement par lit bactérien :

Ce procédé a été le premier système biologique développé dès la fin du 19^e siècle en Grande-Bretagne [57].

L'épuration des eaux par lits bactériens est une méthode d'épuration biologique par cultures fixes. Ce système est le plus souvent utilisé pour les eaux très chargées provenant d'industries agroalimentaires. Ce sont des réacteurs biologiques à cultures fixes non immergés [58].

Le principe de fonctionnement d'un lit bactérien consiste à faire ruisseler par gravité les eaux usées, préalablement décantées sur une masse de matériaux poreux ou caverneux qui sert de

support aux micro-organismes (bactéries) épurateurs, de surface spécifique comprise entre 50 et 200 m²/m³.

Une aération est pratiquée soit par tirage naturel soit par ventilation forcée. Il s'agit d'apporter l'oxygène nécessaire au maintien des bactéries aérobies en bon état de fonctionnement. Les matières polluantes contenues dans l'eau et l'oxygène de l'air diffusent, à contre courant, à travers le film biologique jusqu'aux micro-organismes assimilateurs. Ce film comporte des bactéries aérobies à la surface et des bactéries anaérobies près du fond. Les sous-produits et le gaz carbonique produits par l'épuration s'évacuent dans les fluides liquides et gazeux [59], [60], [61].

Les cultures fixées sur supports grossiers nécessitent un traitement primaire en tête ne générant pas d'effluents septiques à traiter. Généralement, en tête des lits bactériens seront prévus des décanteurs-digesteurs (**figure II.1**) [62].

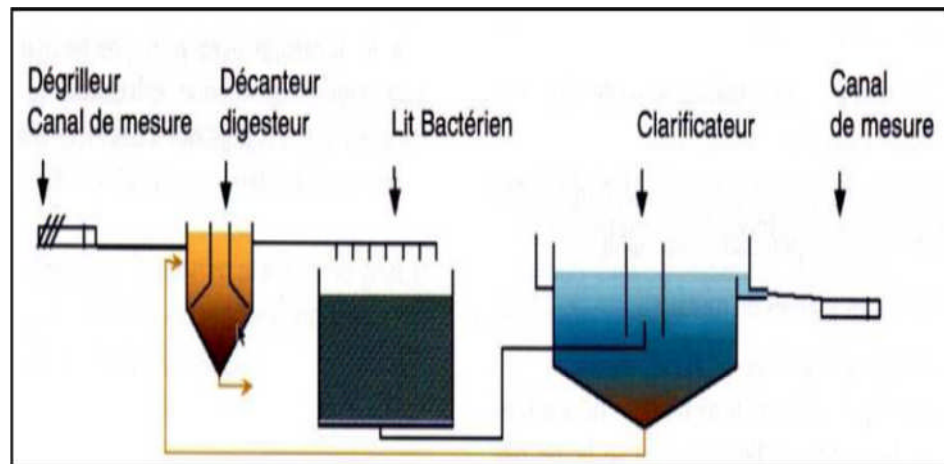


Figure II.1. Schéma de principe d'une filière type par lit bactérien [62].

Le décanteur-digesteur assure :

- Le dépôt des particules en suspension contenues dans les eaux usées préalablement prétraitées par simple séparation gravitaire,
- la digestion anaérobie de la fraction organique de ces dépôts progressivement accumulée [62].

Lorsque les eaux usées traversent un clarificateur et au contact des fils biologiques, les matières organiques se dégradent. Cette dégradation est assurée par les enzymes produits par les microorganismes et qui dégradent les grosses molécules de matières organiques.

Cette technique nécessite de placer un clarificateur en aval du lit bactérien pour éliminer les boues résultantes des matières organiques dégradées, et un décanteur en amont du lit pour éviter les colmatages. Cette technique permet d'éliminer 80% de la DBO [59].

II.2.4. Réalisation des lits bactériens :

Les lits bactériens sont généralement circulaires avec des diamètres allant de quelque m à dizaines de m. La réalisation des lits bactériens est basée sur trois paramètres importants :

- Le choix du matériau ;
- La répartition de l'effluent ;
- L'utilisation de recyclage [11].

II.2.4.1. Choix du matériau :

Il doit permettre de satisfaire à certaines conditions physiques qui sont les suivantes :

- Avoir une grande résistance mécanique à l'attrition.
- Avoir une faible densité pour réduire les efforts sur le plancher supportant le matériau.
- Avoir des vides suffisamment larges pour permettre une bonne circulation de l'air et de l'eau [11].

Dans la pratique plusieurs matériaux peuvent être satisfaire à ces conditions, en cite : coke, Pouzzolane, pierre ponce...

La granulométrie est variée généralement entre 4 à 8 cm. Le matériau doit être assez important pour éviter un colmatage rapide du filtre mais également, il doit être assez fin pour présenter une surface de contact la plus grande possible.

Dans les petites installations en aménage souvent le garnissage des lits bactériens par des couches de granulométrie différentes. Les matériaux les plus grossiers étant disposé dans la partie inférieure du lit afin de permettre une aération plus conséquente [11].

Suivant la nature du matériau support (ou garnissage), on distingue :

❖ Les lits bactériens à remplissage traditionnel (minéral) :

Dans ce cas on utilise comme matériau : la pouzzolane, ou des cailloux siliceux concassés dont la taille minimale est de 40 mm et la taille maximale est 80 mm, présentant un taux de vide de l'ordre de 50%. La hauteur maximale de remplissage est de 2,5 m. Ils sont peu employés en raison des risques de colmatage et de prolifération excessive de films biologiques filamenteux. Pour ce type de lit bactérien, une charge hydraulique maximale de $1,2 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{h}$, permet d'atteindre des rendements supérieurs à 85% lors du traitement d'eaux usées domestiques [63].



Figure II.2. Lit bactérien avec garnissage traditionnel [62].

❖ **Les lits bactériens à remplissage plastique :**

Ces matériaux plastiques mis en œuvre en vrac ou ordonnés présentent des taux de vide supérieurs à 90%. Ils nécessitent une hauteur minimale de remplissage de 4 m environ.

Les remplissages plastiques permettent de réduire considérablement les risques de colmatage et présentent un coefficient de transfert d'oxygène plus élevé que ceux à remplissage traditionnel.

Ce type de lit bactérien, est destinées souvent pour les eaux usées industrielles, les charges hydrauliques appliquées sont alors plus élevées et peuvent atteindre $10 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ [63].

De surface spécifique élevée (80 à $220 \text{ m}^2/\text{m}^3$), ces remplissages, constitués de matériaux synthétiques (PVC, polystyrène) empilés en « vrac » ou sous forme de plaques ondulées ou de tubes cloisonnés, sont très légers ($r = 40$ à 80 kg/m^3) et possèdent un fort pourcentage de vides (94 à 98%).

Ces dispositifs ont l'avantage d'offrir, pour la fixation du biofilm, une surface beaucoup plus importante que les matériaux traditionnels, tout en réduisant les risques de colmatage des lits bactériens classiques. Ils se prêtent bien du point de vue construction, à la mise en œuvre de tours de grande hauteur (8 à 10 m).

Un grand nombre de matériaux de remplissage sont disponibles sur le marché. À titre indicatif citons :

- **Cloisonyle** : matériau sous forme de tubes en PVC rigide de 80 mm de diamètre, cloisonné intérieurement ;
- **Plasdek et Flocor** : matériaux sous forme de plaques ondulées assurant une circulation croisée ;
- **Filterpack** : matériau à remplissage vrac se présentant sous forme d'anneaux en polypropylène [64].



Figure II.3. Alimentation du lit bactérien (garnissage plastique) [62].

Tableau II.1. Les caractéristiques de certains garnissages [65].

Matériaux de garnissage	Densité (Kg/m ³)	Surface spécifique (m ² /m ³)	Indice de vide (%)
Pouzzolane	600	105	50
Galets	1600	90	50
Plastique vrac	40-80	95-200	95
Plastique ordonné	30-90	90-200	90

II.2.4.2. La répartition de l'effluent :

Le système de distribution de l'eau présente une grande importance pour la qualité de l'épuration.

Les distributions rotatives (sprinklers) sont les plus utilisés pour l'alimentation des lits bactériens. Ce sont des tourniquets hydrauliques à deux, quatre ou encore six bras horizontaux, permettant une distribution homogène de l'effluent sur la surface du lit.

La répartition des orifices distributeurs présents sur les bras est calculée de façon à assurer une aspersion.

Les pertes de charges dans les sprinklers sont inférieures à 0,5 m ; on adopte une vitesse de rotation de 3 à 4 tr/mn pour les petites appareilles (diamètre est inférieure à 6m), et une vitesse de 1 tr/mn pour les appareilles de grande dimension [11].

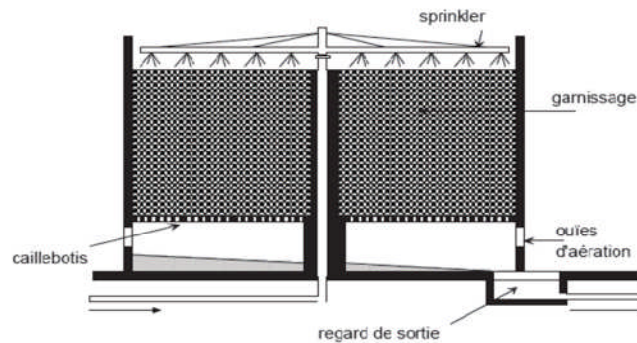


Figure II.4. Lit bactérien d'une distribution rotatif [38].

II.2.4.3. L'utilisation de recyclage :

L'épuration des eaux usées par les lits bactériens nécessite souvent un recyclage des effluents, cette opération permet :

- Un auto-curage du lit en maintenant un débit suffisamment pour éroder le film bactérien qui s'est accumulé sur le matériau.
- Une amélioration du rendement d'épuration après dilution de l'effluent d'entrée et diminuer de la concentration de la DBO ce qui permet de rejeter une eau de qualité satisfaisant aux normes.
- Elle favorise un ensemencement permanent du lit, apporte de l'oxygène et des nitrates permettant d'activer le travail épuratoire [11].

II.2.5. la mise en œuvre des lits bactériens :

La construction des lits bactériens est simple, en construit dans la première étape le radier qui doit supporter les matériaux, les effluents qui ruisselle sur le lit, s'écoule facilement sans laisser de dépôts qui colmatent rapidement le lit.

Certain auteur pré-faire recommande la construction du double radie. Un premier radie servant de support, le second ayant pour rôle d'évacuer l'effluent traité [11].

La distance entre les radies devra être suffisamment grande pour une bonne aération sur tout pour les couches les plus base.

Les parois latérales des lits bactériens sont souvent constituer par une mure de béton.

Pour les petites agglomérations la hauteur du lit est faible se qui permet une aération naturel du film biologique [11].

Tableau II.2. Mise en œuvre des lits bactériens [66].

Mise en œuvre des lits bactériens		
Caractéristiques	Moyenne et forte charge	Très forte charge
Type de remplissage	plastique	Plastique
Charge hydraulique	1,8	1,6-8
Charge organique	0,6 - 3,2	> 3
Taux de recirculation	1 – 2	0-2
Hauteur (m)	3 – 8	3 – 6
Rendement en DBO ₅ (%)	60 – 90	40 -70

II.2.6. les éléments de calcul des lits bactériens :

Les lits bactériens sont classés en fonction des charges hydrauliques et organiques qu'ils peuvent supporter :

- La charge organique ou volumique : exprime le flux polluant journalier en Kg DBO₅/j rapporté au volume unitaire du matériau m³.
- La charge hydraulique ou superficielle : représente la vitesse d'écoulement c'est-à-dire le débit horaire ou journalier des effluents traité rapporté à la surface du lit (m³/m².j) ou (m³/m².h) [67],[68],[69].

II.2.7. la classification des lits bactériens :

Les lits bactériens sont définis par leur charge organique c'est-à-dire par la quantité journalière de matières organiques admise par m³ on distingue :

- ✓ Les faibles charge ; jusqu'à 0,4 kg DBO₅ /m³.j ;
- ✓ Les moyennes charges ; jusqu'à 0,8 kg DBO₅ /m³.j ;
- ✓ Les fortes charges ; supérieures à 0,8 kg DBO₅ /m³.j [59].

II.2.7.1. lits à faible charge :

Dans ce type de lits, l'apport de matières organiques est faible. Le débit d'alimentation est faible, ce qui ne permet pas d'assurer le curage des matériaux on est obligatoirement de pratiquer de forts recyclages pour éviter le colmatage du lit.

- Le rendement d'épuration est de l'ordre de 90% en DBO₅.
- La charge hydraulique : 1 et 5 m³/m².j.
- La charge organique : 0,08 à 0,2 kg DBO₅/ m³.j [11].

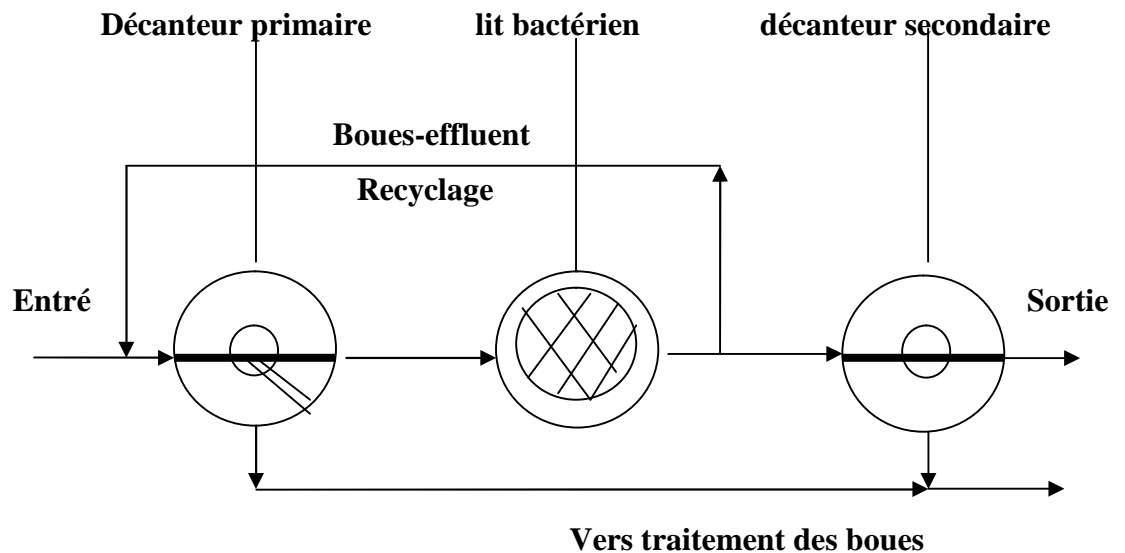


Figure II.5. Schéma de principe d'une station d'épuration par lit bactérien [11].

II.2.7.2. lits à forte charge :

La charge organique est largement supérieure à celle des lits à faible charge. Le débit d'alimentation étant suffisamment fort pour assurer l'auto-curage des matériaux.

- Les rendements d'épurations sont de l'ordre de 60% sans recyclage, et de 80% à 90% avec recyclage.
- La charge hydraulique : $20 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{j}$.
- charge organique: $0,7 \text{ kg DBO}_5/\text{m}^3.\text{j}$
- Hauteur des matériaux minimale: 2 m [11].

II.2.8. Performances épuratoires :

Les performances épuratoires du lit bactérien dépendent de l'épaisseur du biofilm et de la bonne répartition des effluents à traiter ; l'hydraulique du système est primordiale pour l'optimisation de ces paramètres [66].

Pourcentage d'élimination des MES = 50 % - de la DBO_5 = 30 % [62].

II.2.9. Avantages et inconvénients :

II.2.9.1. Avantage :

Ce système d'épuration présente certains avantages :

- faible consommation d'énergie ;
- fonctionnement simple demandant peu d'entretien et de contrôle ;
- peut être installé en amont d'une station à boue activée afin de déconcentrer les effluents du type agroalimentaire ;

- bonne décantabilité des boues ;
- Les boues bien épaissies par le décanteur-digesteur ;
- plus faible sensibilité aux variations de charges et aux toxiques que les boues activées [65], [70].

II.2.9.2. Inconvénients :

- performances généralement plus faibles qu'une technique par boues activées, qui tient en grande partie aux pratiques anciennes de conception. Un dimensionnement plus réaliste doit par conséquent permettre d'atteindre des qualités d'eau traitée satisfaisantes ;
- coûts d'investissement assez élevés ;
- nécessité de pré-traitements efficaces ;
- sensibilité au colmatage et au froid ;
- source de développement d'insectes (en cas de conception et/ou d'exploitation défectueuse) ;
- boues fermentescibles ;
- ouvrages de taille importante si des objectifs d'élimination de l'azote sont imposés.
- tendance au colmatage, surtout avec les supports traditionnels,
- variation des rendements d'épuration, par une création de zones mortes et de chemins préférentiels,
- très sensible au gel, car il faut que le haut et le bas du lit soient bien ouverts afin de permettre une aération naturelle suffisante [65].

Remarque :

Malgré leur ancienneté, les lits bactériens conservent encore chez beaucoup de traiteurs d'eaux une image de marque. En effet, si les lits bactériens restent chers à l'investissement, ils possèdent l'avantage de ne nécessiter qu'un faible entretien. Ceci permet de réduire considérablement l'effectif d'ouvriers sur la station d'épuration.

Pour une qualité d'eau traitée souvent égale à celle de boues activées, les lits bactériens sont d'une gestion plus simple puisqu'il n'y a pas par exemple, à maîtriser le stock de boues [11].

Chapitre III
Matériels et Méthodes

Méthodes et matériels

Le but de notre travail est d'étudier expérimentalement les performances d'un lit bactérien à garnissage en pouzzolane de Beni Saf utilisé pour l'épuration des eaux usées urbaine. Pour ce faire le pilote TE900 du laboratoire de traitement et d'épuration des eaux qui est une mini station d'épuration équipé de cartouche de filtration sera modifié pour nous servir de support d'expérimentation. Le garnissage qui sera utilisé dans le lit bactérien est la pouzzolane extraite localement (Béni Saf) afin d'étudier l'efficacité du procédé biologique en utilisant les eaux usées arrivant à la STEP de AIN EL HOUTZ.

Dans cette optique nous avons mené une série d'expériences au niveau du laboratoire de traitement et épuration des eaux du département d'hydraulique de la Faculté des Sciences de l'ingénierie de l'université de Tlemcen pour l'objectif d'épurer les eaux usées brute par le procédé de lit bactérienne ; le but sera d'avoir finalement une eau épurée dans les normes de rejets des ayant caractéristiques de l'eau de l'irrigation.

III.1. Objectifs principaux des expériences :

Les objectifs principaux des expériences que nous avons menées se résument dans les points suivants :

- ❖ Faire fonctionner le pilote.
- ❖ Dépollution des eaux d'origine urbaine issue de la STEP de AIN EL HOUTZ.
- ❖ Eliminer la pollution carboné azotée et phosphatée par voie microbiologique.

III.2. Composition de L'équipement :

L'équipement est composé :

- ❖ Pilote de l'épuration des eaux usées (TE 900) modifié.
- ❖ Des appareilles de mesures des paramètres physico-chimique de l'eau.

III.3. Description du pilote TE900 :

Le pilote TE900 (**figure III.1 à l'état d'origine**) utilisé est un appareil envisagé initialement pour l'étude de l'épuration des eaux usée par boue activée et équipé d'une colonne de en verre pour l'introduction d'une filtration dans le procédé. Pour les besoins de notre étude le pilote TE900 à été modifié pour l'étude de l'épuration à lit bactérien à pouzzolane.

L'expérimentation consiste à faire ruisseler par gravité les eaux usées ayant subit un prétraitement à la station de traitement (Dégrillage dessablage et déshuilage) sur une masse

de matériaux poreux qui sert de support aux micro-organismes (bactéries) épurateurs, les floccs sont ensuite séparés par décantation.



Figure III.1. Pilote TE900.

III.3.1. Construction :

L'appareil consiste essentiellement en une cartouche de filtration et un décanteur statique, monté sur un châssis, ainsi que leurs organes de contrôle et de mesure.

Le pilote est composé essentiellement de :

- 1- Une cuve d'alimentation des eaux résiduaires en PVC transparent cylindrique d'une capacité de 300 litres avec vanne de vidange.
- 2- Une pompe d'alimentation de suspension d'eau brute.
- 3- Canalisation d'alimentation de l'eau résiduaire en PVC.
- 4- Jeu de vannes trois voies d'alimentation de la cartouche du filtre de type à boisseau sphérique.
- 5- Canalisation d'alimentation la cartouche du filtre en acier inoxydable.
- 6- Cartouche du filtre en verre borosilicaté d'une hauteur de 1m et d'un volume de 5L.
- 7- Décanteur statique cylindro-conique en verre borosilicate d'une capacité de 25L.
- 8- Canalisation de sorties des boues du décanteur soit pour le recyclage vers le filtre avec une vanne d'arrêt de type à boisseau sphérique, soit pour leur évacuation avec une vanne d'arrêt de type à boisseau sphérique.
- 9- Canalisation de recyclage des boues du décanteur vers le filtre [71].

III.3.2. Support pratique :

L'épuration des eaux usées par voie bactériennes est utilisée par la nature pour l'élimination des déchets animaux et surtout humains. Le principe est la mise en contact de l'eau à épurer avec les floccs bactériens en présence d'oxygène qui consomme les matières organiques carbonés ensuite les floccs sont séparés.

Ce procédé d'épuration comporte les éléments mentionnés dans la (figure. III.2) qui suivent :

- A.** Une cuve d'alimentation contenant l'eau à épurer (1) et son circuit d'alimentation du décanteur.
- B.** Une cartouche qui peut contenir un filtre d'alimentation (eaux chargées en matières en suspension) ou un support poreux destiné à recevoir un lit bactérien fixe (bio-fixation) au début ou à la fin du traitement biologique (6).
- C.** Un clarificateur où s'effectue la séparation solide -liquide (8) par décantation naturelle.
- D.** Une recirculation de l'eau épurée permettant de la filtrer à la fin d'opération ou de la ré-épurée sur un lit bactérien fixe (10) [71].

III.3.3. Instrumentation :

Les équipements d'alimentation se composent en éléments suivants :

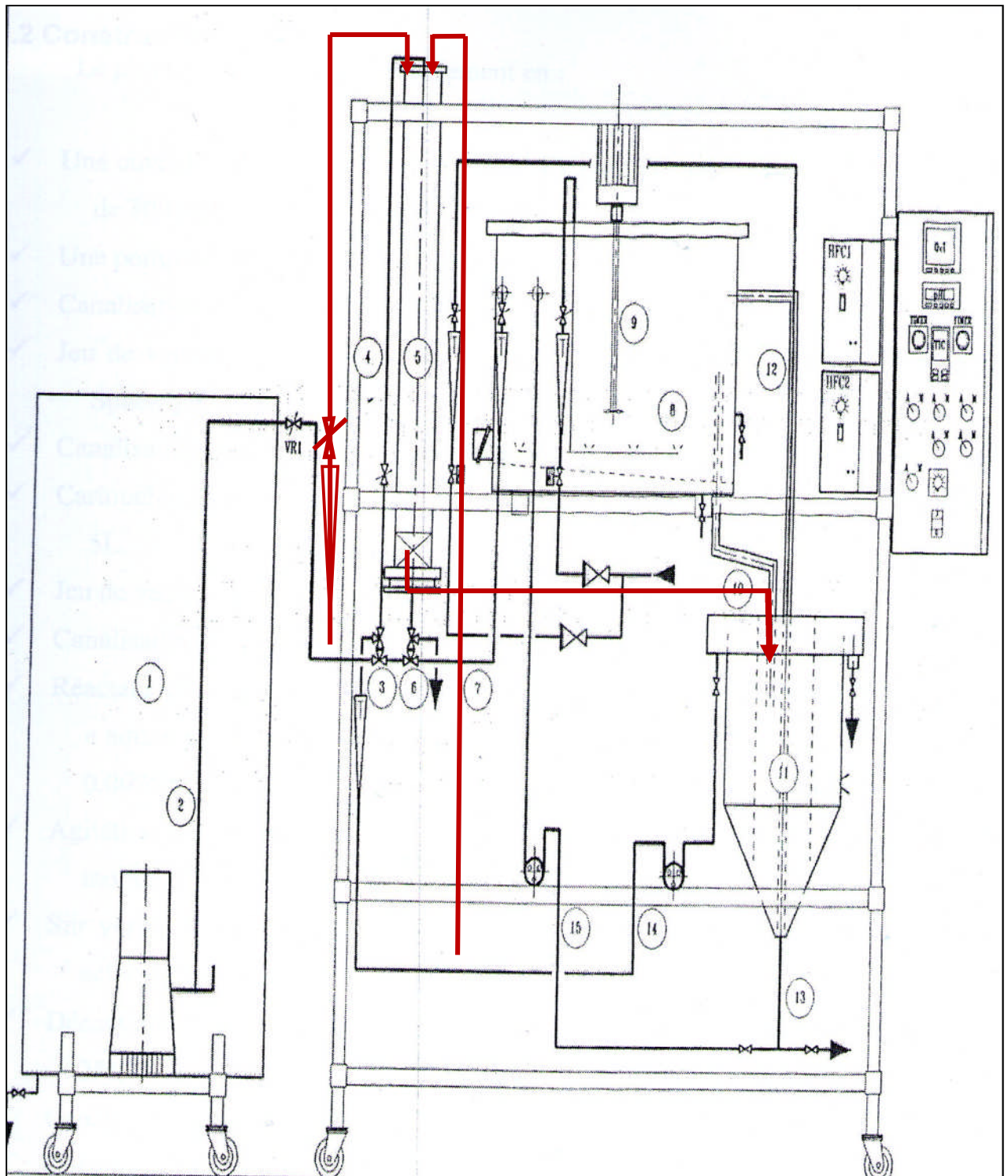
- ✓ Débitmètre à flotteur entre le décanteur d'eau clarifié et la cartouche du filtre.
- ✓ Variateur électronique de vitesse de la pompe de recyclage des boues, variation par potentiomètre sur l'armoire électronique.
- ✓ Variateur électronique de vitesse de la pompe de recyclage de l'eau épuré du décanteur vers la cartouche.
- ✓ Pompe de recyclage des boues du décanteur vers le filtre à vitesse variable [71].

III.3.4 Liste des vannes :

Dans la figure (III.3) sont représentées toutes les vannes du pilote dont les désignations et les rôles sont les suivants :

- VR1: Vanne manuelle de réglage circuit alimentation eau usée.
- VR2 : Vanne manuelle de réglage circuit alimentation filtre.
- VA1 : Vanne manuelle d'arrêt recyclage eau clarifiée.
- VA2 : Vanne manuelle d'arrêt recyclage boue.
- VL1 : Vanne manuelle trois voies alimentation eau usée.
- VL3 : Vanne manuelle trois voies alimentation filtre.

- VS1 : Vanne manuelle vidange cuve alimentation eau usée.



- VS3 : Vanne manuelle vidange eau clarifiée décanteur.
- VS4 : Vanne manuelle vidange boues décanteur [71].

—En rouge les modifications apportés sur le TE900.

Figure III.2. Support pratique [71].

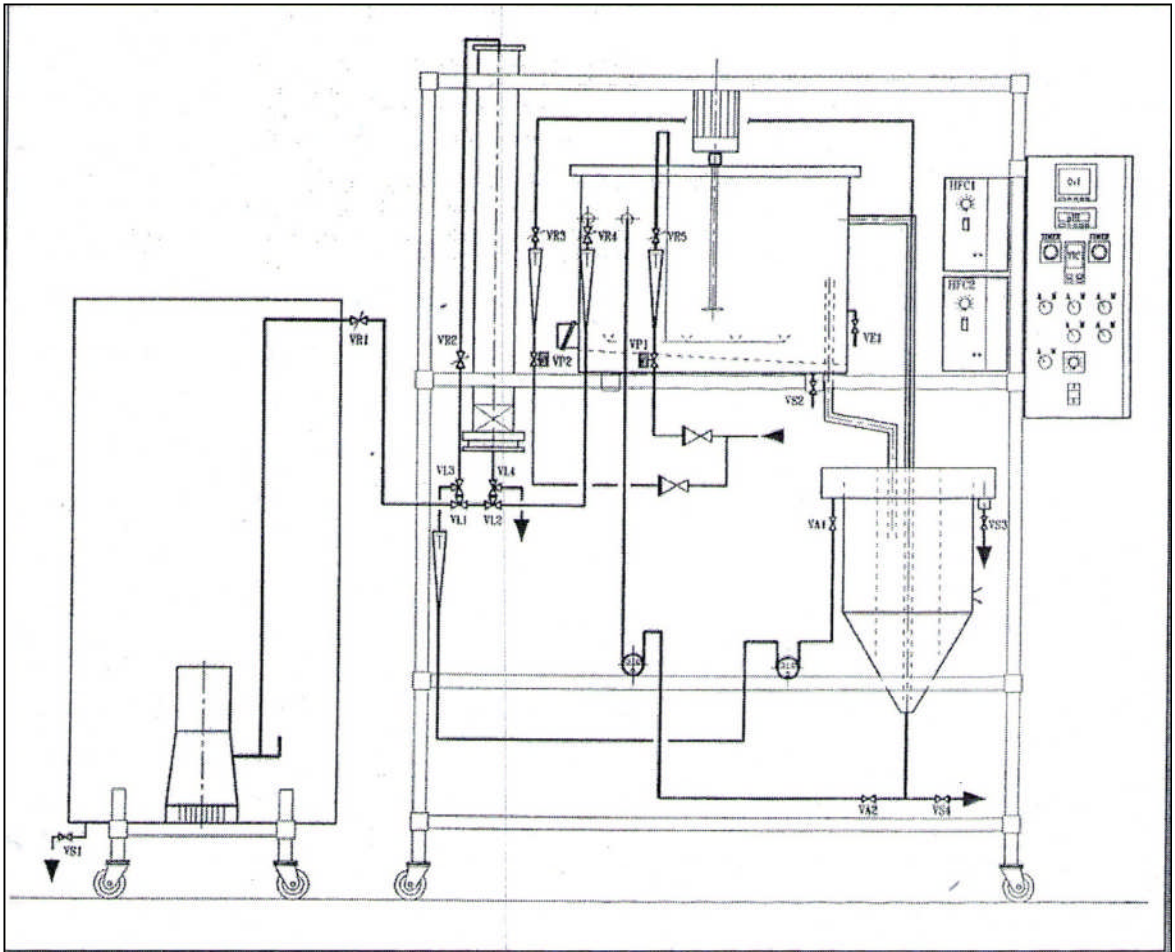


Figure III.3. Schéma des vannes [71].

III.4. Mise en marche :

III.4.1. Préliminaires :

- ✓ Relier les tubulaires de sortie du pilote a un égout :
 - Vidange des boues du décanteur.
 - Sortie de la sur verse du décanteur.
 - Vidange de la cuve du décanteur.
- ✓ Positionner le tuyau souple de sortie de l'eau clarifiée provenant du décanteur vers l'égout du laboratoire.
- ✓ Positionner le tuyau souple de sortie de l'eau clarifiée provenant du filtre de finition vers l'égout du laboratoire.
- ✓ Positionner le tuyau souple de sortie des boues provenant du décanteur vers l'égout du laboratoire.

- ✓ Positionner le tuyau souple de vidange de la cuve d'alimentation de l'eau usée vers l'égout du laboratoire.
- ✓ Brancher le câble d'alimentation électrique du pilote.
- ✓ Mettre en marche l'arrivée générale électrique.
- ✓ Vérifier que le bouton « arrêt marche » de la pompe d'alimentation d'eau usée est sur la position « arrêt ».
- ✓ Vérifier que l'inverseur « arrêt / marche manu/marche auto » de la pompe doseuse du recyclage des boues est sur la position « arrêt ».
- ✓ Mettre en marche électrique de puissance sur l'armoire par le sectionneur le voyant « sous tensions » s'allume.
- ✓ Mettre en marche l'armoire électrique par le bouton « marche », le voyant du bouton s'allume.
- ✓ Fermer la vanne de sortie des boues du décanteur vers l'égout VS4.
- ✓ Fermer la vanne de vidange de la cuve d'alimentation d'eau usée VS1.
- ✓ Fermer la vanne de recyclage des boues vers le filtre VA2.
- ✓ Fermer la vanne de réglage du débit d'alimentation d'eau usée VRI, VR2.
- ✓ positionner le média filtrant ou le lit bactérien dans la cartouche de filtration, si nécessaire.
- ✓ Ouvrir la vanne générale d'arrivée d'air comprimé du pilote.
- ✓ Le pilote est prêt pour une manipulation [71].

III.4.1.1. Commende du recyclage des boues :

Pour modifier un ou plusieurs paramètres de la commende de la pompe de recyclage des boues, il convient d'utiliser le temps électronique situé sur la face avant de l'armoire de contrôle.

- ❖ Mettre le bouton « arrêt / marche » de la pompe de recyclage, situé sur l'armoire électrique de contrôle sur la position « marche auto ».
- ❖ Le timer possède deux cadrans rotatifs en face avant directement accessible par l'opérateur.
 - Le cadran d'extérieure permet de modifier la valeur d'arrêt de la pompe de recyclage des boues avec une échelle graduée 0 à 10.
 - Le cardan central permet de modifier la valeur du temps de fonctionnement de la pompe de recyclage des boues avec une échelle graduée 0 à 10 [71].

III.4.2. Etalonnage :**III.4.2.1. Etalonnage de la pompe doseuse :**

- Mettre en marche le pilote.
- Ouvrir la vanne de recyclage des boues VA2.
- Remplir le décanteur d'eau propre.
- Démonter le raccordement du tuyau de refoulement de la pompe de recyclage des boues sur le pilote.
- Plonger ce tuyau dans une éprouvette de 1L.
- Mettre en marche la pompe de recyclage des boues par son bouton « arrêt /marche » sur la position « marche ».
- Mettre en marche la pompe de recyclage des boues par son bouton « arrêt/marche » situé sur le variateur de vitesse sur la position « marche» si nécessaire.
- Positionner le bouton de variation de vitesse de la pompe de recyclage des boues sur la graduation 1.
- Lorsque l'éprouvette est presque pleine, il convient d'arrêter votre chronomètre et simultanément d'enlever le tuyau de recyclage des boues.
- Le volume 1 L à l'éprouvette et le temps de l'essai vous permet de déterminer le débit.
- Positionner le bouton de variation de vitesse de la pompe de recyclage des boues sur la graduation 2.
- Déterminer le débit d'alimentation pour cette valeur de vitesse de rotation de la pompe doseuse.
- Recommencer l'opération pour toutes les graduations du variateur de vitesse de la pompe de recyclage des boues.
- Positionner à nouveau le tuyau de refoulement de la pompe de recyclage des boues sur le pilote. Lorsque l'essai est terminé, il convient d'arrêter le pilote [71].
- Les résultats sont résumés dans le Tableau. III.1.

Tableau III.1. Étalonnage de la pompe doseuse.

Volume (l)	Vitesse (tr/min)	Temps (min)	Q (l/min)
1	1	20,37	0,0490
1	2	8,23	0,121
1	3	5,48	0,182
1	4	4,23	0,236
1	5	3,30	0,303
1	6	2,55	0,392
1	7	2,27	0,440
1	8	2,08	0,480
1	9	1,52	0,650
1	10	1,42	0,704

III.5. Système de fonctionnement du pilote :

Le pilote doit représenter la chaîne complète de traitement secondaire (après le traitement Primaire). Aussi, il doit comporter un clarificateur, un système de circulation de l'eau et des boues et une cartouche qui peut contenir un filtre d'alimentation.

III.5.1. Clarificateur:

Le clarificateur a pour but de séparer la phase liquide (eaux traitées) de la phase solide (biomasse). Pour cela, la liqueur mixte pénètre dans le clarificateur, l'eau claire est éliminée par sur verse, les boues sont aspirées pour être recerclées vers le filtre ou extraites [72], [73].

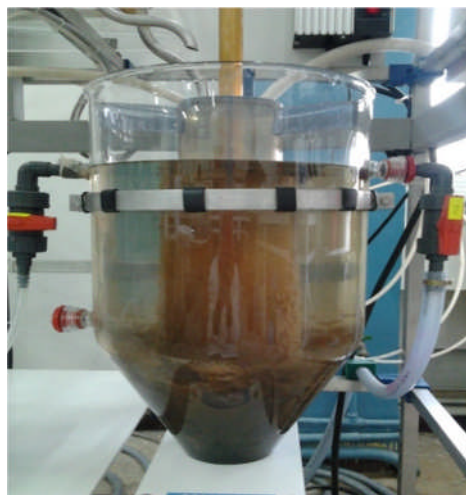


Figure III.4. Clarificateur ; (laboratoire du département d'hydraulique

III.5.1.1. la zone de clarification :

La zone de clarification constitue la partie supérieure du décanteur par laquelle l'effluent est rejeté de l'unité d'épuration. Le taux des particules en suspensions est donc très faible [74].

III.5.1.2. la zone de l'épaississement:

La zone d'épaississement est la couche intermédiaire entre le clarificateur qui est la partie supérieure du décanteur et où l'effluent clarifié est reconduit hors de l'unité de traitement, et la zone de compression qui constitue la partie la plus profonde du bassin.

Le transfert des boues entre les zones de clarification et d'épaississement est régi par le phénomène de suspension et décantation [74].

III.5.2. Cartouche :

Dans notre cas cette cartouche (figure III.5) a été utilisée comme lit bactérien rempli avec un garnissage à pouzzolane.



Figure III.5. Schéma d'une cartouche; (laboratoire du département d'hydraulique université de Tlemcen).

III.5.3. Paramètres d'entrée et de sortie :

Avant de commencer les manipulations il faut définir les éléments d'entrée et de la sortie.

➤ *Les paramètres d'entrée :*

- ✓ Le débit d'entrée ;
- ✓ La concentration en MES ;
- ✓ Le pH ;
- ✓ La température ;
- ✓ L'oxygène dissous ;
- ✓ La turbidité ;

✓ La DCO.

III.6.Manipulations :

III.6.1. Procédé d'épuration avec lit bactérien :

Le pilote TE900 à été modifié pour les besoin de cette étude; afin de testé l'efficacité de l'épuration par lit bactérien à garnissage en pouzzolane de Beni Saf; le circuit générale de l'écoulement est schématisé dans la figure III.5.

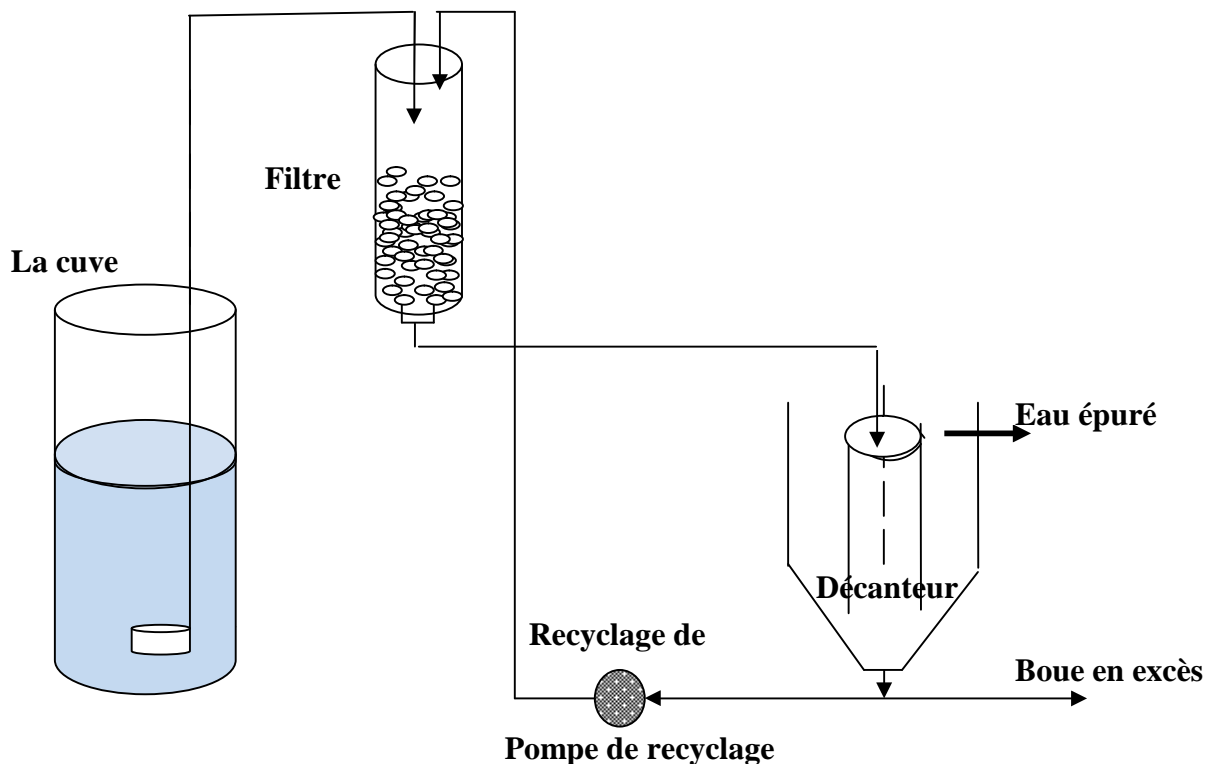


Figure III.5. Schéma fonctionnel d'épuration avec un lit bactérien.

La manipulation est faite selon les actions suivantes :

- Mettre en marche le pilot.
- Préparer votre charge d'eau usée.
- Introduire cette charge dans la cuve d'alimentation prévue à cet effet.
- Mettre en marche la pompe de la cuve d'alimentation de substrat par son bouton (arrêt/marche) sur la position (marche).
- Introduire les boues provenant d'une station d'épuration dans le clarificateur.

- Positionner la vanne à trois voies d'alimentation de la charge d'eau usée VL1 de manière à alimenter le liquide directement vers le clarificateur.
- Ouvrir au maximum la vanne de réglage de sortie de la charge d'eau usée de la cuve d'alimentation VR1.
- Après un quart d'heure de fonctionnement, ouvrir la vanne de recyclage des boues vers le filtre VA2.
- Fermer la vanne de prélèvement de l'eau clarifiée VS3.
- Lorsque le décanteur est au trois quart plein, il convient de commencer le recyclage des boues.
- Mettre en marche la pompe de recyclage des boues par son bouton (arrêt /marche (manu/marche) sur la position (marche manu).
- Régler le débit de recyclage des boues par le variateur de vitesse correspondant de manière à recycler 0.1 fois le débit d'alimentation total pour ne pas brusquer les bactéries.
- Au bout de quelques minutes, il convient d'augmenter le débit de recyclage des boues à 1 fois, puis 1.5 fois et enfin à 2 fois le débit d'alimentation.
- Lors de la phase de démarrage, il convient d'éliminer les boues qui flottent à la surface du décanteur de temps en temps bactéries non floculées ou mortes.
- Régler le timer de commande de la pompe de recyclage des boues.
- Lorsque le pilote est en fonctionnement continu et en régime permanent (environ une semaine), il convient de ne recycler que partiellement les boues.
- Mettre le bouton (arrêt/ marche) de la pompe de recyclage des boues sur la position (MARCHE AUTO) [71].

III.6.2. Procédure générale d'arrêt :

- Fermer la vanne générale d'arrivée d'air comprimé du pilote.
- Introduire 5L d'eau de javel à 12°C dans le décanteur.
- convient de laisser le pilote en fonctionnement pendant une heure environ.
- Arrêter la pompe d'alimentation d'eau usée.
- Vidanger la cuve d'alimentation d'eau usée après neutralisation des bactéries par l'eau de javel par sa vanne de vidange VS1.
- Laver cette cuve avec une solution d'eau javel.
- Fermer la vanne de vidange de la cuve d'alimentation.

- Remplir cette cuve d'eau propre.
- Positionner la vanne trois voies d'alimentation de la charge d'eau usée VL1 de manière à alimenter l'eau propre vers le filtre (T orienté à gauche, clé de vanne verticale).
- Positionner la vanne trois voies d'alimentation du filtre VL3 de manière à alimenter l'eau propre vers le filtre (T orienté à droite, clé de vanne horizontale).
- Positionner la vanne trois voies de sortie du filtre VL4 de manière à alimenter le liquide sortant du filtre dans le décanteur.
- Ouvrir au maximum la vanne de réglage de sortie de la cuve d'alimentation VR1
- Ouvrir la vanne de réglage VR2 de manière à alimenter le filtre.
- Ouvrir la vanne de soutirage du décanteur VS4 (prendre la précaution de neutralisation les boues du décanteur avant leur rejet dans l'égout).
- Mettre en marche la pompe de la cuve d'alimentation.
- Lorsque le liquide alimenté par la pompe de la cuve d'alimentation dans le filtre puis dans le décanteur est clair, il convient de nettoyer ce circuit avec un produit antibactérien.
- Arrêter de la cuve d'alimentation.
- Remplir la cuve d'alimentation avec une solution d'eau de javel.
- Mettre en marche la pompe de la cuve d'alimentation.
- Lorsque la solution d'eau de javel, alimentée par la pompe de la cuve d'alimentation dans le filtre puis le décanteur a désinfecté tout le circuit d'alimentation, il convient de rincer ce circuit abondamment avec de l'eau propre [71].

III.7. Principales méthodes d'analyses d'eau :

III.7.1. Echantillonnages :

Les échantillons d'eau usée brute sont pris à partir d'un collecteur principal ou de différents effluents de la STEP de AIN EL HOUTZ se rencontrent après le traitement physique (prétraitement).

Les échantillons d'analyses ont concerné l'eau usée de la station d'épuration, eau au sein du décanteur, l'eau clarifiée.

III.7.2. Mesures à effectuer :

Les mesures à effectuer avant et après l'épuration sont les suivantes :

- La température ;

- PH ;
- La turbidité ;
- L'oxygène dissous ;
- Les matières en suspension ;
- Les matières organiques ;
- Les matières minérales ;
- DCO.

III.7.2.1. Température:

La température joue un grand rôle dans la solubilité des gaz dans l'eau et sur la vitesse des réactions chimiques et biochimiques [75].

- **Principe :**

La mesure de la température de l'eau est effectuée à l'aide du thermomètre [76].

- **Mode opératoire :**

La température de l'eau sera prise en même temps que le prélèvement de l'échantillon. On prélèvera l'eau dans un bécher de 100 ml de capacité et on y plongera immédiatement l'appareil de mesure soigneusement étalonné. On procédera à la lecture de la température, dès que la stabilisation est observée.

III.7.2.2. pH:

Le pH est l'un des paramètres chimiques importants lorsqu'il s'agit de déterminer la qualité d'une eau destinée à la consommation [76].

- **Principe :**

La détermination du pH est effectuée à l'aide d'un appareil (pH mètre).

Le pH mètre : cet appareil de mesure est constitué d'une électrode de pH que l'on plonge dans la solution dont on veut connaître l'acidité [76].

- **Étalonnage :**

L'étalonnage se fait par une solution d'étalonnage d'un pH le plus proche du pH des solutions à analyser. Dans ce travail on a utilisé une solution d'étalonnage de pH=7.

- **Mode opératoire :**

L'étalonnage dans une solution se fait comme suit : en prolongeant l'électrode préalablement rincée à l'eau distillée puis en solution tampon et en effectuant la lecture de la valeur du pH=7, rincer celle-ci à l'eau distillée et la plonger dans l'échantillon, effectuer la mesure du pH après avoir légèrement agité l'électrode [74].



Figure III.6. pH mètre (manuel) ;(laboratoire du département d'hydraulique université de Tlemcen).

III.7.2.3.Turbidité:

La turbidité d'une eau est due à la présence des particules en suspension, notamment colloïdales, argiles limons, grains de silices, matières organiques,... [76].

➤ Appareillage :

L'appareil utilisé pour la mesure de la turbidité c'est « turbidimètre », il donne une lecture directe en NTU (Unit Turbidité Néphélométrie).

Dans notre travail la mesure est effectuée au moyen d'un spectrophotomètre. Le spectrophotomètre est un appareil qui mesure l'absorbance qui est définie par le ratio entre la lumière incidente I_0 qui traverse un milieu à une longueur d'onde λ , et la lumière transmise I exprimé en logarithme de base 10.



Figure III.7. Appareil de mesure du spectrophotomètre ;(laboratoire du département d'hydraulique université de Tlemcen).

➤ Mode d'opérateur :

- Mètre en marche le spectrophotomètre on/off.
- Sélection de la l'longueur d'onde (720).
- Mesure en mode absorbance.
- Introduire la cuve de référence (blanc) dans la porte cuve.

- Programmer la longueur d'onde désirée.
- Enlever la cuve de référence.
- Introduire la cuve du premier échantillon a mesuré.
- L'appareille affiche en contenu la valeur en absorbance des échantillons.
- Tracé du spectre d'absorption.

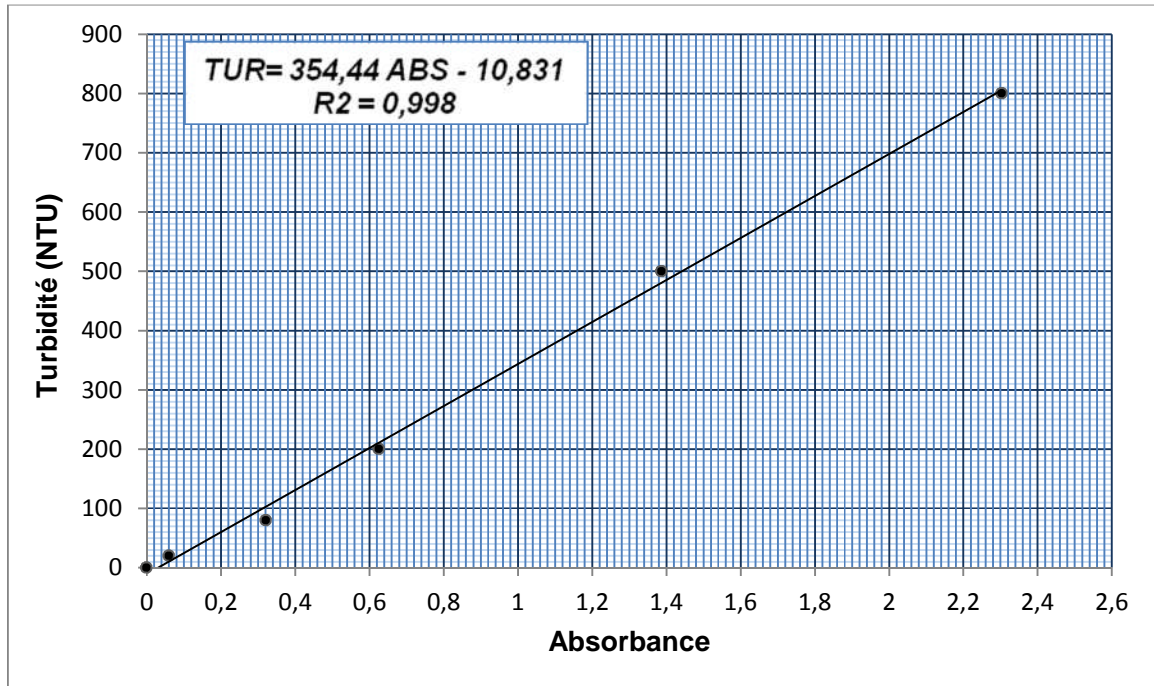


Figure III.8. Courbe d'étalonnage de la turbidité.

Le tableau illustre les seuils de la clarté d'une eau,

Tableau III.2. Classe de turbidité usuelle [77].

Turbidité <5 NTU	Eau Claire
5 < Turbidité <30 NTU	Eau légèrement trouble
Turbidité > 50 NTU	Eau trouble

III.7.2.4. Oxygène dissous:

L'oxygène est l'un des paramètres chimique importants, il sert au contrôle le fonctionnement du traitement biologique.

➤ Appareillage :

L'appareil de mesure l'oxygène dissous c'est l'oxymètre. Les mesures couramment utilisées sont les suivantes: parties par million (ppm) ou la saturation en pourcentage (%), laquelle est définie comme étant le pourcentage d'oxygène dissous dans 1 litre d'eau.



Figure III.9. Oxymètre (laboratoire du département d'hydraulique université de Tlemcen).

➤ **Mode d'opérateur :**

- Etalonner l'appareil avec des solutions tampons.
- Rincer l'électrode de l'oxygène dissous et les immerger dans la solution à mesurer. Lire la valeur sur l'écran une fois le signal se stabilise [78].

III.7.2.5. Matières en suspensions (MES) :

Mesures de poids des matières flottants en suspension et décantables contenues dans les eaux décantés et épurées, dans le but de contrôler le fonctionnement de bassin de décantation [75].

La détermination des matières en suspension dans l'eau est réalisée soit par filtration, soit par centrifugation, séchage à 105 C° et pesée [11].

La centrifugation est préférée pour les eaux chargées (colmatage du filtre).

➤ **Matériels utilisé :**

- Dispositif de filtration ;
- Balance ;
- Capsules ;
- papier Filtres;
- Étuve.



Figure III.10. Dispositif de filtration.



Figure III.11. Balance électronique.



Figure III.12. Etuve ;(laboratoire du département d'hydraulique université de Tlemcen).

➤ **Mode d'opérateur :**

- Rincer le filtre à l'eau distillée et le sécher à l'étuve à 105 °C environ 30 à 60 min ;
- Laisser refroidir puis peser le filtre sec et noter son masse M1 ;
- Homogénéiser l'échantillon à analyser ;
- Filtrer sous vide un volume V de l'échantillon mesuré à l'aide d'une éprouvette graduée ;
- Sécher, refroidir et peser une seconde fois le filtre. Son masse est noté M2.

➤ **Expression des résultats :**

La concentration de la matière en suspension dans l'échantillon analysé est obtenue par la relation suivante :

$$[MES] = \left(\frac{M2 - M1}{V} \right) * 10^3 \dots \dots \dots (III. 1)$$

Avec :

- **M1** : la masse du filtre sec avant filtration (en mg) ;
- **M2** : la masse du filtre sec après filtration (en mg) ;
- **M2-M1**: Poids de la matière retenue par le filtre sec ;
- **V** : Volume d'eau utilisé (en ml) [79].

III.7.2.6. Demande chimique en oxygène DCO :

La demande chimique en oxygène (DCO) c'est la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder par voie chimique certaines matière organique ou inorganique contenue dans l'eau. Elle représente donc, la teneur totale de l'eau en matières oxydables [11].

➤ **Principe :**

La détermination de la DCO se fait essentiellement par oxydation avec le dichromate de potassium « $K_2Cr_2O_7$ » en milieu acide dans une solution portée à ébullition à reflux pendant 2 heures en présence d'ions Ag^+ comme catalyseurs d'oxydation et d'ions Hg^{2+} permettant de complexer les ions chlorures.

L'oxygène consommé en mg/l est calculé après détermination de l'excès de dichromate de potassium par titration avec du sulfate de fer ferreux et d'ammonium (sel de Mohr) [11].

➤ **Matériel nécessaire :**

- Un réacteur pour le chauffage à $105C^\circ$ ECO6 ; les équipements nécessaires sont les suivantes :
 - ✓ Pipette graduée double trait ;
 - ✓ Matras à goulot large ;
 - ✓ Ballons gradués ;
 - ✓ Burette ;
 - ✓ Cylindres gradués.

➤ **Réactifs :**

- Solution de dichromate de potassium ($K_2Cr_2O_7$) à 0,04 mol/l et contenant du sulfate de mercure (II) ;
- Solution d'acide sulfurique ;
- Solution sulfate d'argent ;
- Solution sulfate de fer ferreux et d'ammonium (sel de Mohr) $[(NH_4)_2 Fe(SO_4)_2 \cdot 6H_2O]$ à 0,12 mol/l ;
- Solution indicateur Féroïen.

Remarque : voir annexe B pour leur préparation.

➤ **Mode d'opérateurs :**

✓ **Digestion de l'échantillon :**

- Transvaser 10 ml de l'échantillon pour l'analyse (diluer si nécessaire) dans le tube de l'appareil, ajouter 5 ml de solution de dichromate de potassium;
- Ajouter avec précaution 15 ml d'acide sulfurique et sulfate d'argent et raccorder immédiatement le tube au réfrigérant ;
- Répéter les deux étapes précédentes pour tous les échantillons à analyser mais aussi pour deux échantillons à blanc (10 ml d'eau distillée) ;

- Amener le mélange réactionnel à l'ébullition pendant 120 minutes à 150°C ;
 - Rincer les réfrigérants à l'eau distillée et refroidir les tubes.
- ✓ **Titration de l'échantillon :**
- Transvaser le contenu de chaque éprouvette en matras à goulot large, rincer avec l'eau distillée 3 ou 4 fois.
 - Ajouter 5 ou 6 gouttes l'indicateur coloré Féroïen.
 - Après le refroidissement titrer avec une solution solution de sulfate de fer ferreux et ammonium jusqu'au moment où la couleur de la solution change de vert bleu à orangé

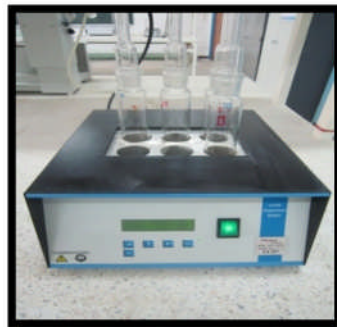


Figure III.13. Réacteur DCO (laboratoire du département d'hydraulique université de Tlemcen).

➤ **Expression des résultats :**

La valeur DCO exprimée en mg/l est calculée par la formule suivante:

$$DCO = 8000 * (Vt - Ve) * \frac{N}{X} \dots \dots \dots (III.2)$$

Où :

N : Concentration de la solution de sel Mohr déterminée par étalonnage, soit dans le cas présent 0,12 mol/l ;

X : Volume de la prise d'essai en ml ;

Vt : Volume en ml de la solution de sulfate de fer (II) et d'ammonium titré pour l'essai à blanc;

Ve : Volume en ml de la solution de sulfate de fer (II) et d'ammonium titré pour l'échantillon ;

III.8. Garnissage du lit bactérien utilisé :

Le matériau filtrant doit vérifier certaines caractéristiques : il doit être insoluble, chimiquement inerte vis-à-vis des eaux agressives et il doit subir sans s'effriter, le frottement intense au cours des lavages.

D'autre part il faut noter que la perméabilité d'un lit filtrant est étroitement liée à sa porosité et à la granulométrie du matériau qui le constitue [80].

En plus des caractéristiques précitées, il y en a d'autre qui a une relation avec la granulométrie, la taille et la forme des grains ; les principales sont : le diamètre effectif, le coefficient d'uniformité, la densité relative, la porosité et la perméabilité. Il existe d'autres caractéristiques beaucoup plus difficiles à mesurer, comme la forme des grains et la surface spécifique. La perméabilité d'un lit filtrant est étroitement liée à ces différentes caractéristiques [6].

Dont notre travail nous avons utilisé le garnissage traditionnelle « la pouzzolane » :

Le nom de "pouzzolane" vient de la ville de Pouzzoles, un port Italien riche en sable volcanique, situé dans le golfe de Naples au pied du Vésuve [81].

La pouzzolane est une Roche siliceuse d'origine volcanique extraite de carrières, faiblement agglomérée, friable, dont la couleur varie du gris au rougeâtre.

La pouzzolane est également un matériau filtrant dont l'utilisation est envisageable dans l'épuration des eaux usées [81].

III.8.1. Propriétés de la Pouzzolane :

- **Insoluble** : C'est une pierre qui ne se dégrade pas dans l'eau et qui n'interagit pas avec elle au niveau du PH (contrairement au calcaire par exemple).
- **Minérale** : ici ce qui compte c'est de ne pas utiliser des substrats organiques.
- **Poreuse** : elle laisse toujours passer l'eau, ne se colmate pas facilement et abrite de très nombreuses bactéries [81].

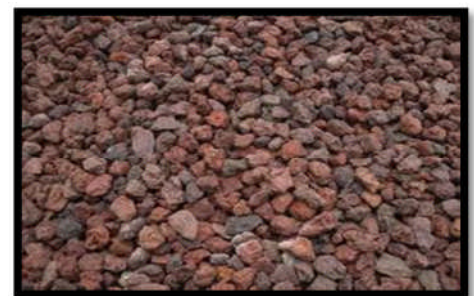


Figure III.14. La pouzzolane.

III.8.2. Caractéristique de matériaux filtrants :

III.8.2.1. Diamètre effectif et coefficient d'uniformité :

Afin de définir ces deux paramètres, on a recours à des courbes. Ces courbes granulométriques appelées encore courbes des tamisât cumulés permettent de déterminer le diamètre effectif et le coefficient d'uniformité, soit :

➤ **La taille effective:**

La taille effective, exprimée en mm et notée D_{10} correspond à l'ouverture de maille laissant passer 10 % en poids de l'échantillon soumis à l'analyse.

➤ **Le coefficient d'uniformité:**

C'est un nombre sans dimension, est égal au quotient de la diversité 60 % par la taille effective.

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} \dots \dots \dots (III.3).$$

Le coefficient d'uniformité Cu doit être inférieur à 1,5 et plus la valeur de Cu se rapproche de 1 plus l'homogénéité obtenue pour le lit filtrant est meilleure, ce qui permet de réduire les pertes de charge et d'obtenir une rétention en profondeur des matières en suspension.

La diversité 60 %, exprimée en mm est donnée par l'ouverture de maille laissant passer 60 % en poids de l'échantillon soumis à l'analyse [80], [6].

III.8.2.2. Masse volumique :

➤ **masse volumique apparente :**

La masse volumique apparente sèche ρ_d c'est la masse granulat sec (M_s) d'un corps par unité de volume totale y compris les vides entre les grains de ce corps (volume apparent).

La masse volumique apparente définie par la relation suivante :

$$\rho_d = \frac{\text{masse des granulats secs}}{\text{volume du récipient}} = \frac{M_1 - M_0}{V} \dots \dots \dots (III.4)$$

➤ **Masse spécifique ou la masse volumique absolue :**

La Masse spécifique ou la masse volumique absolue ρ_s c'est la masse de granulat sec rapporté au volume absolu.

La masse volumique absolue définie par la relation suivante :

$$\rho_s = \frac{M_2}{V} \dots \dots \dots (III.5)$$

III.8.2.3. Densité relative :

Expérimentalement la densité relative de la pouzzolane γ_s est le rapport entre la masse de ce pouzzolane et l'eau qu'il déplace. On procède de la façon suivante :

1. On pèse un certain volume d'eau (on obtient m_e) ;
2. On pèse le granulat sec (on obtient m_s) ;
3. On ajoute le granulat à l'eau (l'eau déplacée déborde du récipient) ;
4. On pèse le mélange d'eau et de le granulat (on obtient m_{es}) [6].

On peut ainsi écrire :

$$\gamma_s = \frac{\text{masse du pouzzolane}}{\text{masse de l'eau déplacée}} = \frac{m_s}{(m_e + m_s - m_{es})} \dots \dots \dots (III.6).$$

III.8.2.4. Coefficient d'absorption des granulats :

Le coefficient d'absorption est défini comme le rapport de l'augmentation de la masse d'un échantillon de granulat après imbibition par l'eau, à la masse sèche de l'échantillon. Cette imbibition est obtenue par immersion de l'échantillon dans de l'eau pendant 24 heures à 20 C°.

Le coefficient d'absorption A_b est défini par la relation :

$$Ab = \frac{M_i - M_s}{M_s} \cdot 100 (\%) \dots \dots \dots (III.7).$$

III.8.2.5. Porosité:

La porosité d'un amas de granules désigne la fraction de son volume occupée par de l'air si l'amas est sec, ou par de l'eau si l'amas est saturée d'eau. Elle dépend de la granulométrie, de l'arrangement des grains et de leur degré de tassement. On peut distinguer deux types de porosité : une porosité totale et porosité efficace [82], [83].

➤ Porosité totale:

La porosité totale ou géométrique noté ϵ représente le rapport du volume des pores (vides) au volume total occupé par le matériau V .

$$\epsilon = \frac{V_v}{V_v + V_s} = \frac{V_v}{V} \dots \dots \dots (III.8).$$

V_v : Volume totale des vides (matériau sec) ;

V_s : Volumes des solides ;

V : Volume apparent (totale) ou $V = V_v + V_s$ [86].

➤ Porosité effective :

La porosité effective est définie par le produit de la porosité géométrique et le degré de saturation ou bien d'une autre façon c'est la différence entre la porosité globale et la capacité de rétention. Elle est notée ϵe .

$$\epsilon e = S_r \cdot \epsilon = \frac{V_1}{V_v + V_g} \dots \dots \dots (III.9).$$

Avec : $S_r = \frac{V_1}{V_v}$ (degré de saturation).

V_1 : volume occupé par l'eau ;

V_v : volume totale des vides

Le degré de saturation indique la quantité d'eau que contient le sol.

Si $\left\{ \begin{array}{l} S_r = 0 \text{ le terrain est sec.} \\ S_r = 1 \text{ le terrain est saturé [86].} \end{array} \right.$

III.8.2.6. Indice de vide :

On utilise fréquemment la notion d'indice de vides en mécanique des sols défini comme étant le rapport de volume des vides au volume de la matière solides noté « e ».

$$e = \frac{V_v}{V_g} \dots \dots \dots (III.10).$$

V_v : volume des vides ;

V_g : volume des grains [86].

III.8.2.7. Perméabilité :

Ce paramètre est exprimé par une constante de proportionnalité K qui a les dimensions d'une vitesse. C'est une vitesse de filtration par unité de pente motrice ou par unité de gradient hydraulique. Ce coefficient est appelé aussi coefficient de perméabilité, le coefficient de filtration, vitesse de filtration de Darcy ou tout simplement coefficient de *Darcy*.

C'est le coefficient de perméabilité K qui figure dans la loi de *Darcy* :

$$Q = KA \frac{\Delta H}{\Delta L} \dots \dots \dots (III.11).$$

Q : débit de l'eau filtré en (m^3/s) ;

A : l'aire de la couche saturée en (m^2) ;

ΔL : l'épaisseur de la couche filtrante en (m) ;

ΔH : la chute totale de pression à travers la couche filtrante (pertes de charges totales [81]).

III.8.3. Etude granulométrique de la pouzzolane :

III.8.3.1. But de l'étude :

Il s'agit de déterminer par l'analyse granulométrique la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différents grains constituant d'échantillon de pouzzolane étudié.

III.8.3.2. Analyse granulométrique par tamisage :

➤ **Matériels utilisés et principes de base:**

Une colonne de tamisage est composée d'une série de tamis empilés les uns sur les autres, par ordre croissant d'ouverture de maille (de bas en haut).

Un échantillon représentatif de la pouzzolane à analyser est déposé sur le tamis supérieur, et l'ensemble des tamis est soumis à des secousses conduisant à la répartition des particules le long de la colonne de tamisage. Ces secousses se produisent à l'aide d'un tamiseur électrique. Chaque tamis divise les particules qui lui sont appliquées en deux fractions:

- ✓ *un refus* : qui correspondent aux particules retenues sur le tamis ;
- ✓ *un tamisât (ou "passant")*: qui correspondent aux particules appliquées au tamis inférieur [85].

➤ **Mode opératoire :**

1. Sécher d'abord l'échantillon (pouzzolane) de manière progressive et à température d'environ 105°C pour ne pas faire éclater les grains et ne pas modifier la nature chimique de l'échantillon ;
2. Emboîter les tamis utilisés les uns sur les autres, les dimensions croissant de bas en haut. Mettre au-dessous un récipient à fond plein pour recueillir les éléments fins, et au-dessus un couvercle pour éviter la dispersion des poussières ;
3. Verser la pouzzolane sur le tamis supérieur, mettre le couvercle, et appliquer à l'ensemble une série de secousses à l'aide d'un tamiseur. Le granula sera ainsi réparti sur les différents tamis;
4. On pèse le refus de chaque tamis séparément et en suite on calcule les refus cumulés. On doit retrouver le poids pesé au départ, aux pertes près.
5. Noter tous les résultats trouvés dans un tableau.

III.8.4. Analyse et interprétation des résultats :

III.8.4.1. Résultats trouvés :

Les résultats du tamisage de pouzzolane sont illustrés dans les tableaux suivant :

Tableau III.3. L'analyse granulométrique de la pouzzolane.

Ouverture des tamis (mm)	Masse des refus mi (g)	Masse des refus cumulés Mc	Pourcentage des refus cumulés Pr= (Mc/ M) 100 (%)	Pourcentage des tamisât cumulés Pt = (100-Pr) (%)
40	0	0	0	100
31,5	116,2	116,2	11,62	88,38
25	194,4	310,6	31,06	68,94
20	217,4	528	52,8	47,2
16	101,8	629,8	62,98	37,02
12,5	227,2	857	85,7	14,3
10	82,6	939,6	93,96	6,04
6,30	58	997,6	99,76	0,24

III.8.4.2. Exploitation des résultats:

L'exploitation des résultats d'échantillons de la pouzzolane est faite sous la forme de courbe (voir l'annexe A).

L'établissement de la courbe est le bute d'une analyse granulométrique, permettant de déterminer les caractéristiques suivantes :

A. Diamètre effectif et coefficient d'uniformité :

➤ La taille effective:

D'après la courbe granulométrique :

D_{10} de la pouzzolane = 11, 78 mm.

➤ Le coefficient d'uniformité:

D_{60} de la pouzzolane = 22, 85 mm.

Coefficients d'uniformités de la pouzzolane : $Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{22,85}{11,78} = 1,93$.

On a trouve que $Cu < 2$ \implies la pouzzolane est uniforme

B. Masse volumique apparente :

La masse volumique apparente par la relation suivante :

$$\rho_d = \frac{\text{masse des granulats secs}}{\text{volume du récipient}} = \frac{M}{V} \dots \dots \dots (3)$$

Echantillon	Masse de récipient plein M1(g)	Volume de récipient (cm ³)	Masse volumique g/cm ³
Echantillon	1283	1000	1,283

$$\rho_d = 1,283 \text{ g/cm}^3$$

C. Masse spécifique ou la masse volumique absolue

La Masse spécifique ou la masse volumique absolue ρ_s donner par :

$$\rho_s = \frac{M_2}{V} \dots \dots \dots (4).$$

Echantillon	Pycnomètre +eau M1 (kg)	Echantillon M2 (kg)	Pycnomètre+eau+ échantillon (M3) kg	Volume (m ³)	Masse volumique absolue Kg/m ³
Echantillon	1,458	0,7000	1,5916	$5,664 \cdot 10^{-4}$	1235,875

$$\rho_s = 1235,875 \text{ kg/m}^3$$

D. Densité relative de la pouzzolane :

$$\gamma_s = \frac{\text{masse du pouzzolane}}{\text{masse de l'eau déplacée}} = \frac{m_s}{(m_e + m_s - m_{es})} \dots \dots \dots (5).$$

Echantillon	m_s (Kg)	m_e (kg)	m_{es} (kg)	γ_s
Echantillon	0,7000	1	1,5916	6,45

$$\gamma_s = 6,45$$

F .Coefficient d'absorption des granulats :

$$Ab = \frac{M_i - M_s}{M_s} \cdot 100 (\%) \dots \dots \dots (6).$$

Pouzzolane immergé dans l'eau pendant 24h à 20 C°	
Ms (g)	463,5
Mi (g)	534,2
Mi - Ms	70,7
$Ab = \frac{Mi - Ms}{Ms} \cdot 100$ (%)	15,25

Ab= 15,25%

E. Porosité:

➤ **La porosité totale:**

$$\varepsilon = \frac{V_v}{V_v + V_s} = \frac{V_v}{V} \dots \dots \dots (6).$$

D'après l'expérience on a trouvé :

- Volume d'eau= 800ml ;
- Volume des solides Vs= 395ml ;
- Volume des vides Vv =605ml.

$$\varepsilon = \frac{V_v}{V_v + V_s} = \frac{V_v}{V} = \frac{605}{605 + 395} = 60,5\%$$

La porosité de la Pouzzolane elle est de 60,5% .

Chapitre IV

Résultats et interprétations

IV.1. Etudes expérimentale d'épuration des eaux usées :

Dans le but d'épurer l'eau usée brute, nous nous sommes proposé d'étudier l'efficacité d'épuration avec un lit bactérien classique au garnissage en matériau local qui est la pouzzolane de carrière de Béni Saf. Ce qui nous à motivé à faire une étude pareille est les avantages qu'offre un tel procédé en particulier sa facilité de mise en œuvre, sa consommation énergétique nettement inférieure au procédé à boue activée largement utilisé en Algérie et surtout son adaptation pour des petites localités.

Notre étude expérimentale à été faite au niveau du laboratoire de traitement et d'épuration des eaux de département d'hydraulique de l'université de Tlemcen.

Avant de commencer l'étude, nous avons fait fonctionner le pilote à l'eau de robinet pendant 3 jours, pour comprendre le fonctionnement du pilote, l'utilisation de ces instruments et le réglage de certains paramètres pour son bon fonctionnement tel que le réglage de fonctionnement et d'arrêt de recyclage des boues.

Nous avons ramené 300 litres d'eau usée brute de la station d'épuration d'Ain El Houtz, prise après prétraitement (après le dessableur déshuileur) pour remplir la cuve d'alimentation du pilot et avec cinq litre de boue fraîches introduite dans la cartouche du filtre pour accélérer le processus de dégradation biologique. Nous avons démarrés le pilote et suivi les étapes cité au (chapitre III).

Nos expériences ont été menées en jouant sur quatre paramètres : la granulométrie du matériau utilisé (la pouzzolane) et la hauteur de la pouzzolane dans la cartouche de filtration, le débit d'entrée (alimentation) et le débit de recyclage. Deux granulométrie de pouzzolane ont été testées; la (10/25 mm) et (25/40mm) sur deux hauteurs de filtration pour chacune (40cm et 80 cm)

Certains paramètres physico-chimiques ont été mesurés au niveau du décanteur pour apprécier et évaluer l'efficacité de traitement..

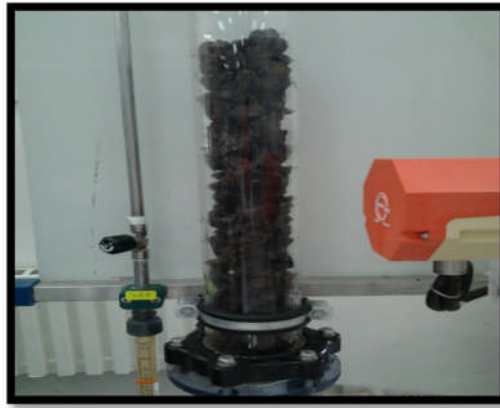


Figure IV.1. Cartouche de filtre à garnissage en pouzzolane (laboratoire du département d'hydraulique université de Tlemcen).

Nos expériences ont été menées comme suite:

- a. Granulométrie de (10/25 mm) sur une hauteur 40 cm : Pour des débits d'alimentation de 8 l/h, 10 l/h et 5l/h.
- b. Granulométrie de (10/25 mm) sur une hauteur 80 cm : Pour des débits d'alimentation de 8 l/h, 10 l/h et 16 l/h, 20 l/h.
- c. Granulométrie de (25/40mm) sur une hauteur 40 cm : Pour des débits d'alimentation de 8 l/h, 16 l/h et 20l/h.
- d. Granulométrie de (25/40mm) sur une hauteur 40 cm : Pour des débits d'alimentation de 8 l/h, 16 l/h, 20l/h.

Notre but consiste d'une part à voir la performance de ce type de matériau (pouzzolane) et en second lieu la disposition pratique qui nous donne de meilleurs résultats.

Chaque expérience est achevée lorsque la DCO de l'eau épurée est stable.

IV.1.1. Prélèvement et échantillonnage :

Le prélèvement est l'opération qui consiste à prendre une partie d'eau du milieu à étudier ; alors que l'échantillonnage consiste à retenir une fraction du prélèvement sur laquelle sera effectuée l'analyse. L'échantillonnage peut se faire sans prélèvement intermédiaire, l'eau est prise directement dans des flacons par une bouteille de prélèvement.

Avant de commencer le prélèvement, il convient de nettoyer le matériel avec de l'eau puis le rincer à l'eau distillé. On peut avant utilisation, rincer le matériel d'échantillonnage dans l'eau dans laquelle sera effectué le prélèvement, afin de réduire au minimum le risque de contamination.

IV.2. lit bactérien (10/25 mm) sur une hauteur 40 cm

Dans cette partie nous avons étudié une épuration sur une granulométrie variable de matériaux utilisés (la pouzzolane) (de l'ordre de 10 à 25 mm). Le matériau est fixé sur une cartouche en forme d'un lit bactérien de 40 cm de hauteur. Le débit d'alimentation du lit a été varié pour en déterminer le débit efficace correspondant à cette hauteur.

IV.2.1. Epuration avec un débit de 8 l/h:

L'expérience a été menée avec un débit d'alimentation de 8 l/h et un débit de recyclage des boues de 0,182 l/min. après stabilisation de la DCO, les résultats obtenus sont résumés dans le tableau IV.1 et représenté sur l'histogramme de la figure IV.2.

Tableau IV.1. Résultats d'analyse physico-chimique de l'eau.

Paramètre	L'eau brute	L'eau épurée
T (°C)	18	18
Ph	8,4	7,2
O ₂ dissout (mg/l)	3,6	0,3
O ₂ dissout (%)	40	5
Turbidité (NTU)	93,01	0,54
MES (mg/l)	140	10
MM (mg/l)	70	5
MO (mg/l)	70	5
DCO (mg/l)	384	19,1

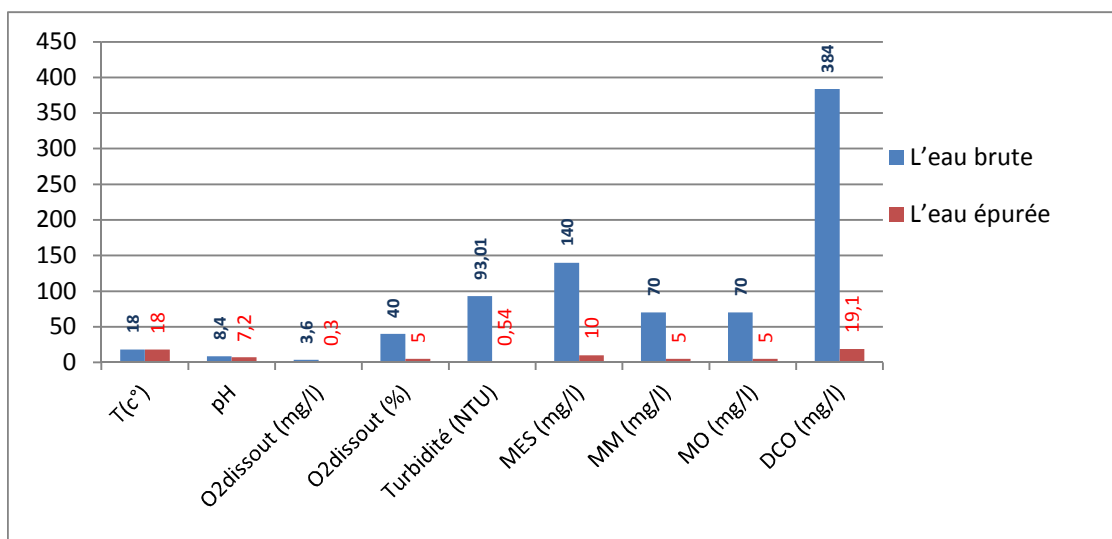


Figure IV.2. Histogramme de la variation des paramètres (entrée et la sortie).

- Les résultats obtenus au fil de l'expérience sont résumés dans l'annexe C1.
- Indice de Mohlman de boue est $IB = 119,04 \text{ ml/g}$ qui confirme que la boue décante bien.



Figure IV.3. Eau à l'entrée (1) du lit bactérien et la sortie du décanteur (2).

Nous avons représenté dans les figures (IV.4 à IV.11) la variation des différents paramètres mesurés en fonction du temps au niveau du décanteur. Il est à signaler que les abscisses de ces courbes (1,2,) correspondent aux moments des prélèvements définis au tableau qui suit:

abscisses	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
temps	26-03-2013 à 9 :00	26-03-2013 à 12 :00	27-03-2013 à 9:00	27-03-2013 à 12 :00	28-03-2013 à 9 :00	28-03-2013 à 12 :00	1-04-2013 à 9 :00	1-04-2013 à 12 :00	2-04-2013 à 9 :00	2-04-2013 à 12 :00

➤ **La température :** la figure suivante représente la variation de la température en fonction du temps.

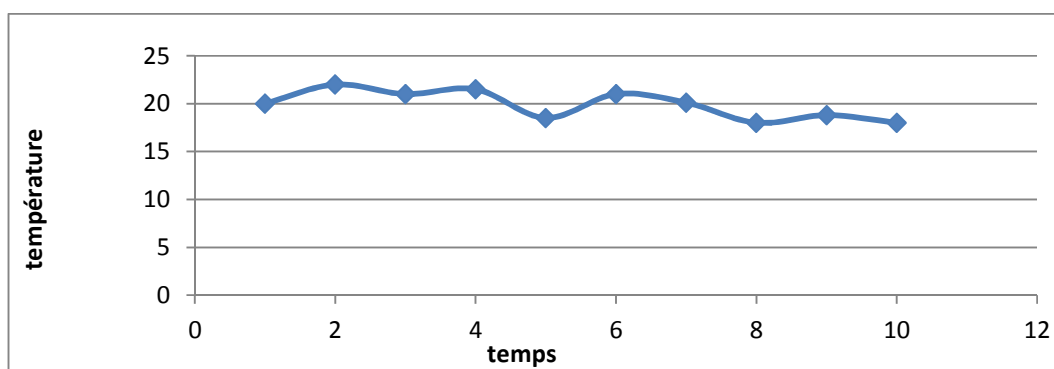


Figure IV.4. Courbe de variation de la température.

La température de l'eau brute avant leur épuration est de 18°C, après l'épuration. D'après la figure nous remarquons que la température reste presque stable dans toute la manipulation.

➤ **pH** : la figure suivante représente la variation du PH en fonction du temps.

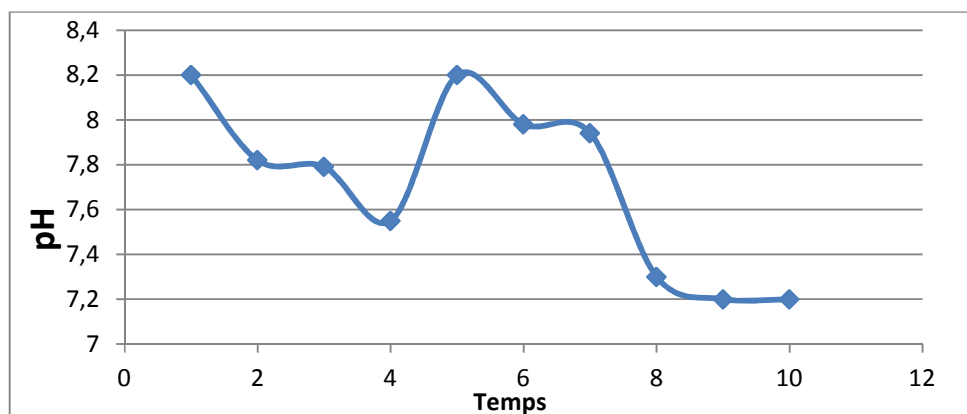


Figure IV.5. Courbe de variation du pH.

Après la figure IV.4 le pH diminue au cours de traitement jusqu'à la valeur 7,5 et ensuite il augmente à 8,2, après il reste stable à 7,2 à la fin de l'expérience. Cette variation de pH ne peut être expliquée que par des réactions probables lors de traitement que nous ne pouvons identifier. Les valeurs du pH (entre 7,2 et 8,4) dans cette expérience sont très proches de la norme.

➤ **O₂ dissous** : la figure suivante représente la variation d'O₂ dissous en fonction du temps.

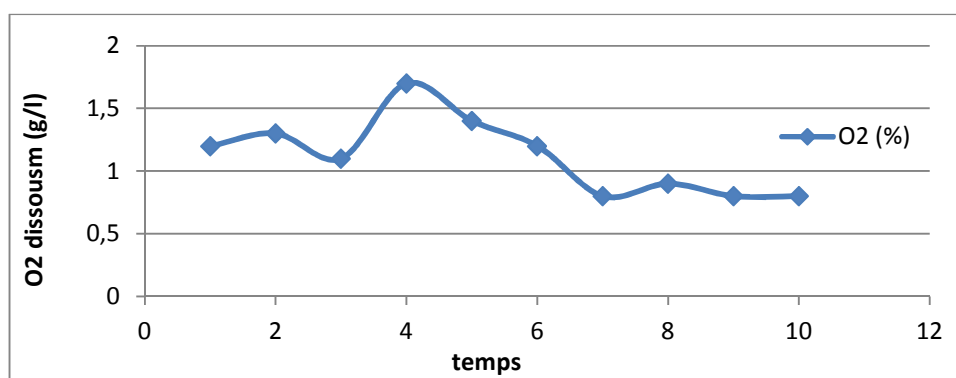


Figure IV.6. Courbe de variation d'O₂ dissous (mg/l).

La concentration de l'O₂ dissous dans l'eau brute est de 3,6 mg/l d'après la (figure IV.6), cette valeur est diminuée à 0,8 mg/l au niveau de décanteur, donc on peut dire que li y'a une

activité bactérien importante au sien de lit bactérien; après on remarque une petit augmentation de la concentration suite à un colmatage de débitmètre qui ne laisse passer les eaux brute dans le lit bactérien. Par apport a la concentration d'entrée nous remarquons que il y'a une grande diminution de O_2 dissous, ce qui s'explique par le fait que les bactéries ont consommée l'oxygène pour dégrader la matière organique.

- **Turbidité** : la figure suivante représente la variation de la turbidité en fonction du temps.

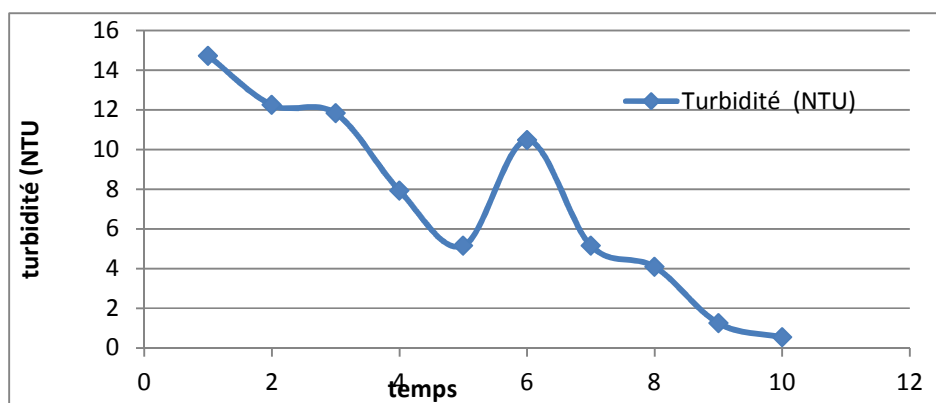


Figure IV.7. Courbe de variation de la turbidité (NTU).

La valeur de la turbidité de l'eau usée brute est de 93,01NTU, d'après l'épuration et la figure IV.7, la turbidité est de 0,54 NTU, qu'il y'avez une élimination importante de la turbidité de l'eau. Dont le rendement d'élimination de la turbidité est de 99,41.

MES: la figure suivante représente la variation de MES en fonction du temps.

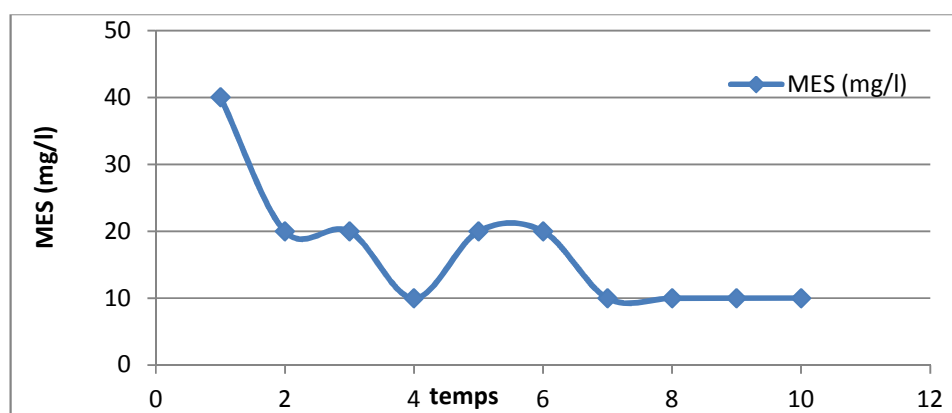


Figure IV.8. Courbe de variation des MES (mg/l).

D'après les résultats obtenus des MES dans la (figure IV.8), nous avons vu qu'une grande quantité des MES a été éliminé après le traitement avec le lit bactérien ; de 140 mg/l dans

l'eau brute, à 10 mg/l après la décantation. Le rendement d'élimination des MES est de 92,85%, donc le lit bactérien contribue efficacement à la réduction des MES dans l'eau épuré. Une grande partie des matières en suspension a été éliminée par cette, donc on peut dire que le procédé avec pouzzolane de BENI SAF est efficace pour l'élimination des MES.

Remarque :

Les mêmes observations sont constatées pour les matières organiques et les matières minérales

➤ **MM:** la figure suivante représente la variation de MM en fonction du temps.

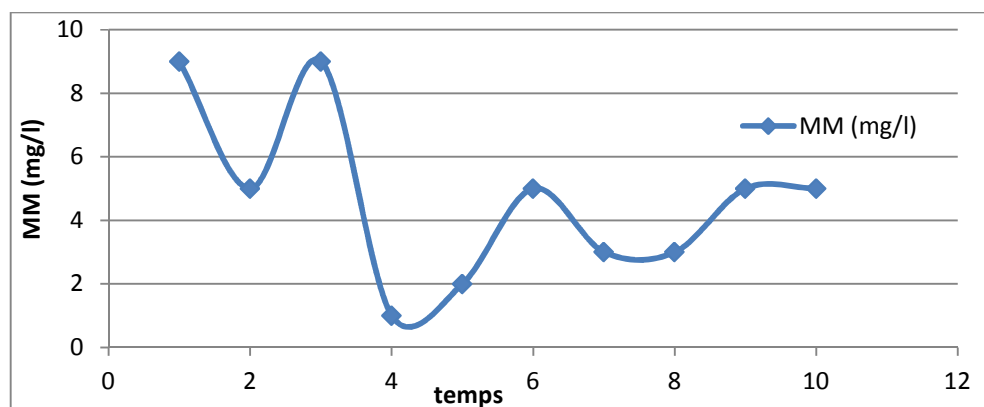


Figure IV.9. Courbe de variation de la MM (mg/l).

D'après la figure IV.9 on ne remarque une variation dans la majorité des prélèvements les valeurs de la matière minérale sont proches les unes des autres.

➤ **MO:** la figure suivante représente la variation de MO en fonction du temps.

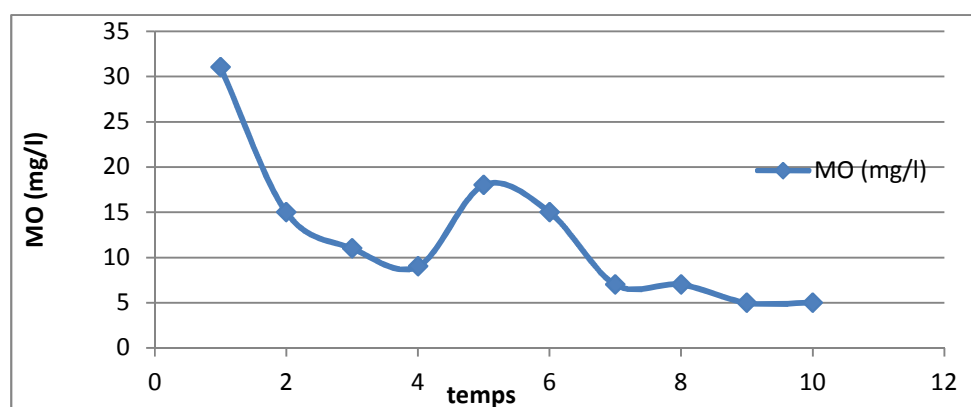


Figure IV.10. Courbe de variation de la MO (mg/l).

La valeur de la matière organique de l'eau brute a été de (70 mg/l) ; d'après l'épuration cette valeur est diminuée à (5 mg/l) soit une élimination de 92,86% de la concentration initiale, donc le lit bactérien contribue efficacement dans la réduction des matières organiques des eaux usées.

➤ **DCO** : la figure suivante représente la variation de DCO en fonction du temps.

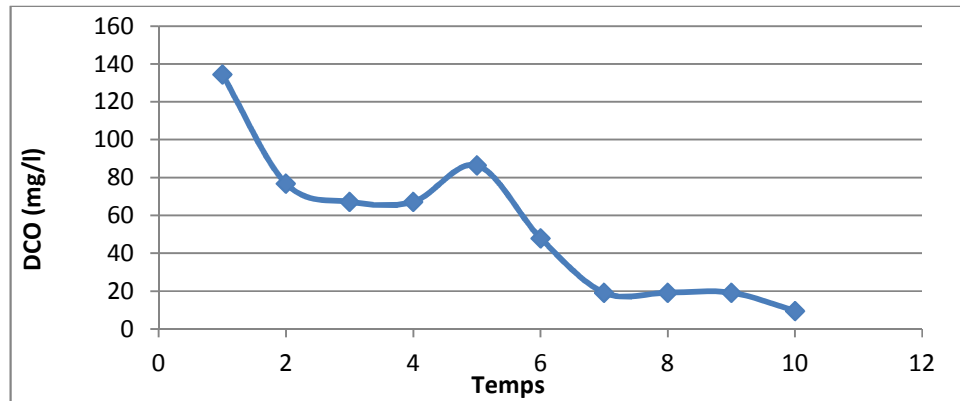


Figure IV.11. Courbe de variation de la DCO (mg/l).

La DCO de l'eau brute est de 384 mg/l, d'après la (figure IV.11), à la fin de l'expérience elle s'est stabilisé à 19,1 après la décantation (soit une élimination de 95% de la DCO initiale). Cette valeur est conforme à la norme algérien de rejet (<120 mg/l), donc une grande concentration a été éliminé par ce procédé car il y'a dégradation importante de la charge polluante.

IV.2.2. Epuration avec un débit de 10 l/h:

Durant cette expérience le débit d'alimentation est de 10 l/h et le débit de recyclage des boues de 0,236 l/min. après stabilisation de la DCO, les résultats obtenus sont résumés dans le tableau IV.2 et représenté sur l'histogramme de la figure IV.12.

Tableau IV.2. Résultats d'analyse physico-chimique de l'eau.

Paramètre	L'eau brute	L'eau épurée
T (°C)	18,20	19
pH	8,1	7,56
O ₂ dissout (mg/l)	4,7	0,8
O ₂ dissout (%)	50	09
Turbidité (NTU)	59,70	0,68
MES (mg/l)	160	10
MM (mg/l)	57	6
MO (mg/l)	103	4
DCO (mg/l)	172,8	48

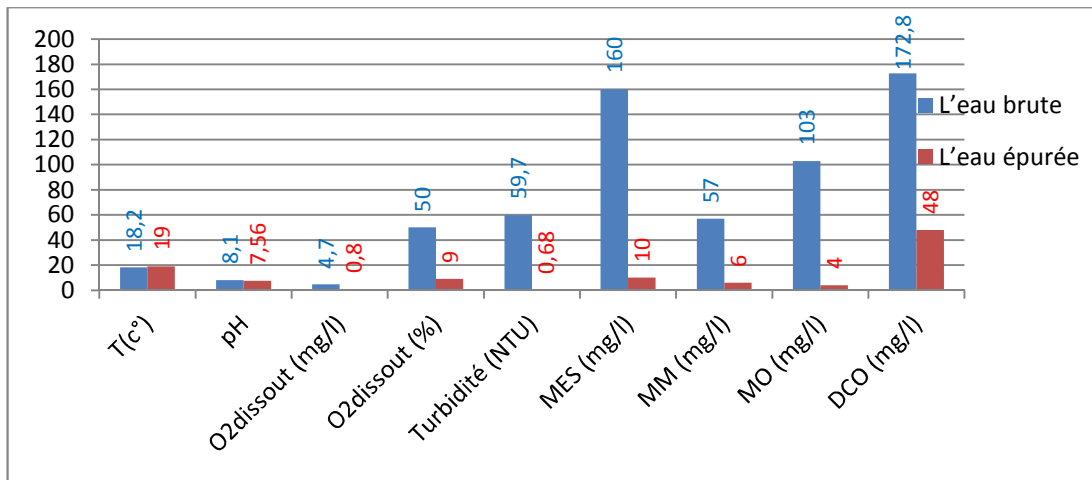


Figure IV.12. Histogramme de la variation de toutes les paramètres (l'entrée et sortie).

- Les résultats obtenus au fil de l'expérience sont résumés dans l'annexe C2.
- Indice de Mohlman de boue est $IB = 138,88 \text{ ml/g}$ qui confirme que la boue décante bien

Nous avons représenté dans les figures (IV.13 à IV.20) la variation des différents paramètres mesurés en fonction du temps au niveau du décanteur. Il est à signaler que les abscisses de ces courbes (1,2,) correspondent aux moments des prélèvements définis au tableau qui suit:

abscisses	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Temps	04-04-2013 à 9 :00	04-04-2013 à 12 :00	07-04-2013 à 9 :00	07-04-2013 à 12 :00	08-04-2013 à 9 :00	08-04-2013 à 12 :00	09-04-2013 à 9 :00	09-04-2013 à 12 :00	10-04-2013 à 9 :00

- **Température** : la figure suivante représente la variation de la température en fonction du temps.

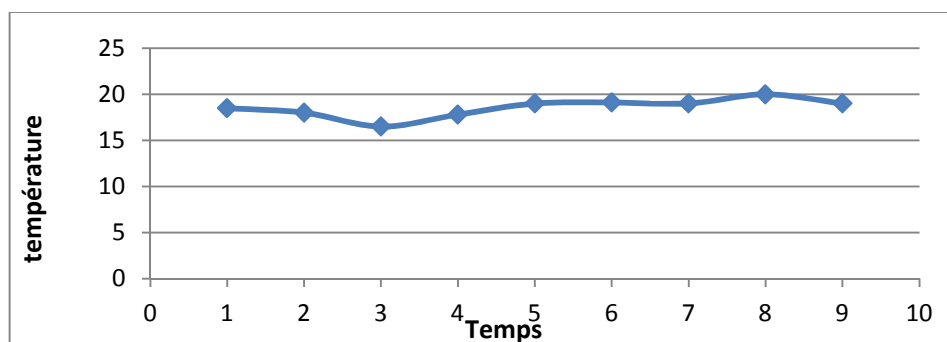


Figure IV.13. Courbe de variation de la température en fonction du temps.

D'après la courbe la température augmente de temps en temps cette augmentation est due à l'activité des boues au cours de la dégradation des matières organiques.

➤ **pH** : la figure suivante représente la variation du pH en fonction du temps.

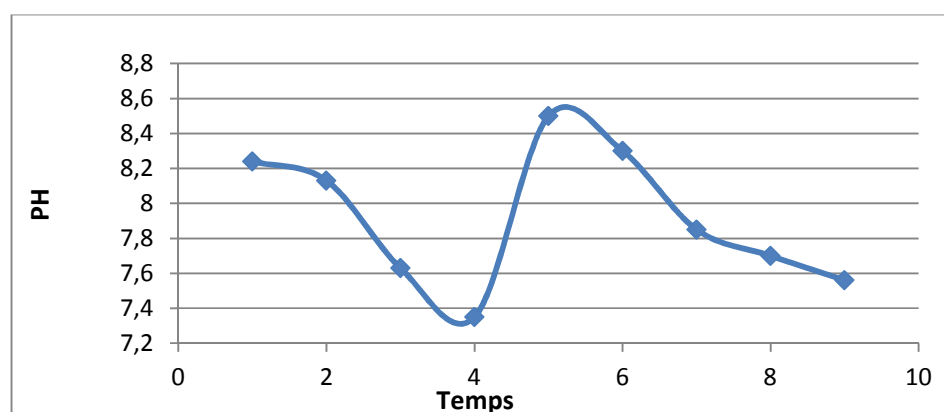


Figure IV.14. Courbe de variation du pH en fonction du temps.

Nous observons que il y'a une petite variation du pH (figure IV.14) à la cour de l'épuration située entre 8,24 à 7,56. Cette variation est due à l'élimination des matières polluante, mais reste toujours conforme à la norme Algérien de rejet pH=8,5.

➤ **Turbidité** : la figure suivante représente la variation de la turbidité en fonction du temps.

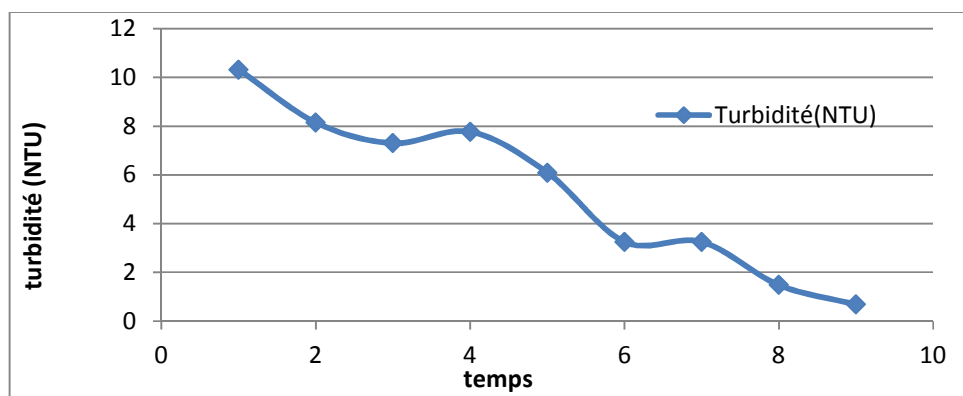


Figure IV.15. Courbe de variation de la turbidité en fonction du temps.

En examinant les résultats trouvés, on constate que la turbidité a chuté de 59,70 NTU dans les eaux usées brute à 0,68 NTU d'après l'épuration. Cette diminution est due à la dégradation des matières organiques contenues dans l'eau brute.

- **O₂ dissous** : la figure suivante représente la variation d'O₂ dissous en fonction du temps.

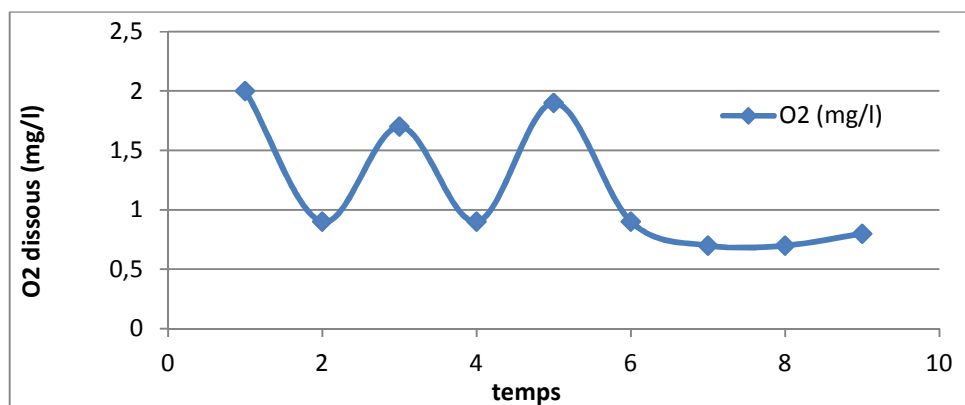


Figure IV.16. Courbe de variation d'O₂ dissous en (mg/l).

D'après les figures précédentes, on remarque une chute importante de l'oxygène dissous dans le décanteur par rapport à la concentration initiale dans l'eau brute de 4,7 mg/l à moins de 1 mg/l, témoin d'une activité bactérienne importante dans le lit bactérien.

- **MES** : la figure suivante représente la variation de MES en fonction du temps.

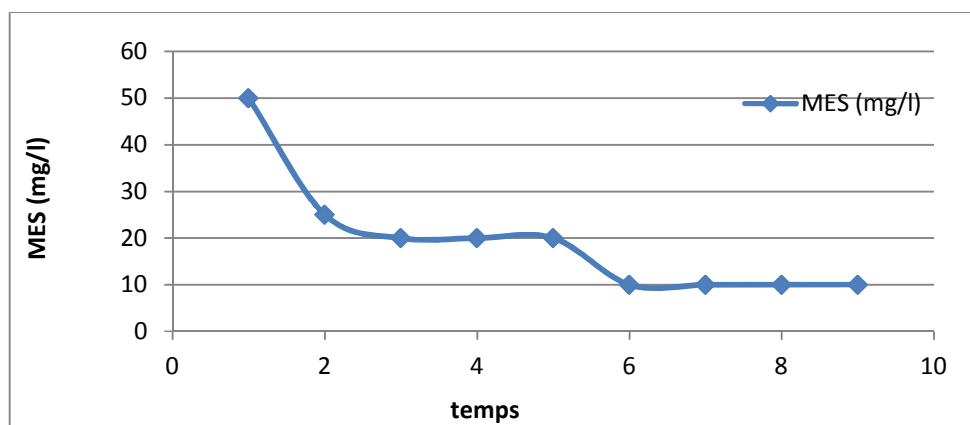


Figure IV.17. Courbe de variation des MES (mg/l).

La quantité des MES de l'eau brute été de (160 mg/l) cette quantité est presque éliminée totalement pendant 5 jours de traitement (10 mg/l à la fin de l'expérience) (figure IV.17), soit une élimination de 96,87% des matières en suspension.

➤ **MM:** la figure suivante représente la variation de MM en fonction du temps.

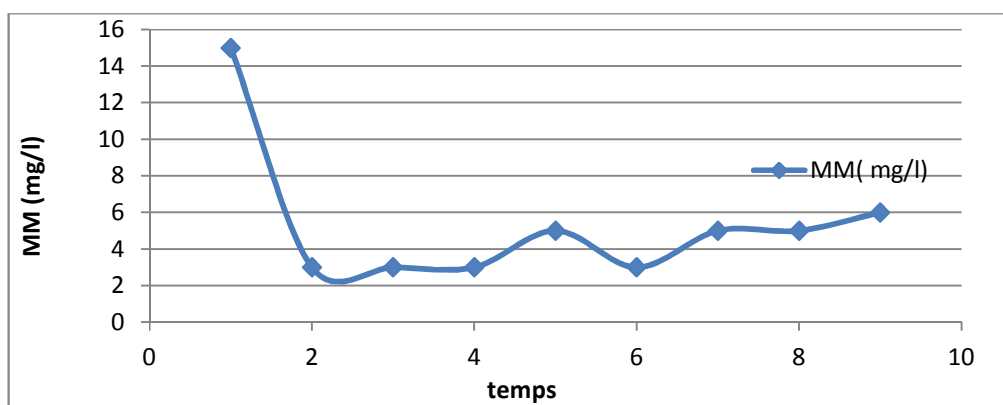


Figure IV.18. Courbe de variation de la MM (mg/l).

La valeur de la MM au niveau de l'eau brute été de 57mg/l, après épuration cette valeur est diminuée à 6 mg/l (après décantation), normalement le lit bactérien n'a aucune influence sur le MM, elles sont juste éliminé par décantation.

➤ **MO:** la figure suivante représente la variation de MO en fonction du temps.

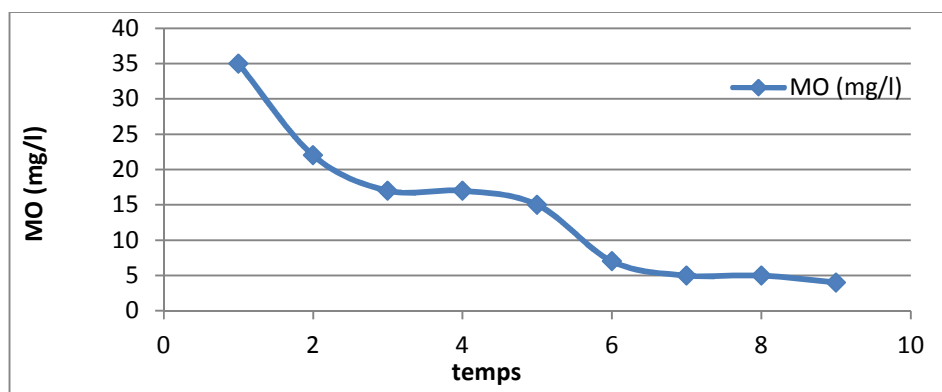


Figure IV.19. Courbe de variation de la MO (mg/l).

D'après la courbe (figure IV.19) nous avons observé une chute importante des matières organiques, est la fin de l'expérience nous avons eu une élimination de 96.11% ce qui confirme l'efficacité du ce procédé dans la dégradation de la matière organique.

➤ **DCO:** la figure suivante représente la variation de DCO en fonction du temps.

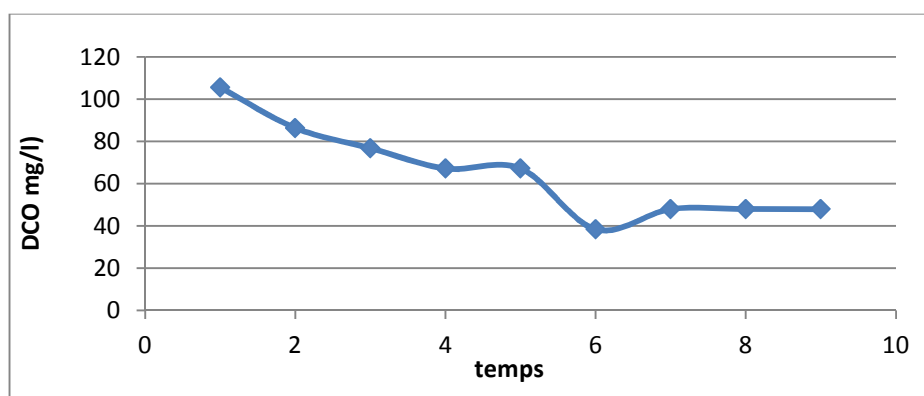


Figure IV.20. Courbe de variation de la DCO (mg/l).

La concentration de la DCO de l'eau brute est de (172,8 mg/l) ; d'après la (figure IV.20), il y'a une chute important (48 mg/l) pendant les 5 jours de traitement, cette valeur est conforme à la norme (<120 mg/l), donc on peut dire que une grande concentration été éliminé par ce procédé avec un rendement d'élimination la DCO de 72,22%.

IV.2.3. Epuration avec un débit de 5 l/h:

L'expérience a été menée avec un débit d'alimentation de 5 l/h et un débit de recyclage des boues de 0,121 l/min. après stabilisation de la DCO, les résultats obtenus sont résumés dans le tableau IV.3 et représenté sur l'histogramme de la figure IV.21.

Tableau IV.3. Résultats d'analyse physico-chimique de l'eau.

Paramètre	L'eau brute	L'eau épurée
T (°C)	20,20	20,5
Ph	7,85	7,60
O ₂ dissout (mg/l)	2,6	0,7
O ₂ dissout (%)	30	09
Turbidité (NTU)	106,84	0,50
MES (mg/l)	100	10
MM (mg/l)	50	5
MO (mg/l)	50	5
DCO (mg/l)	134,4	48

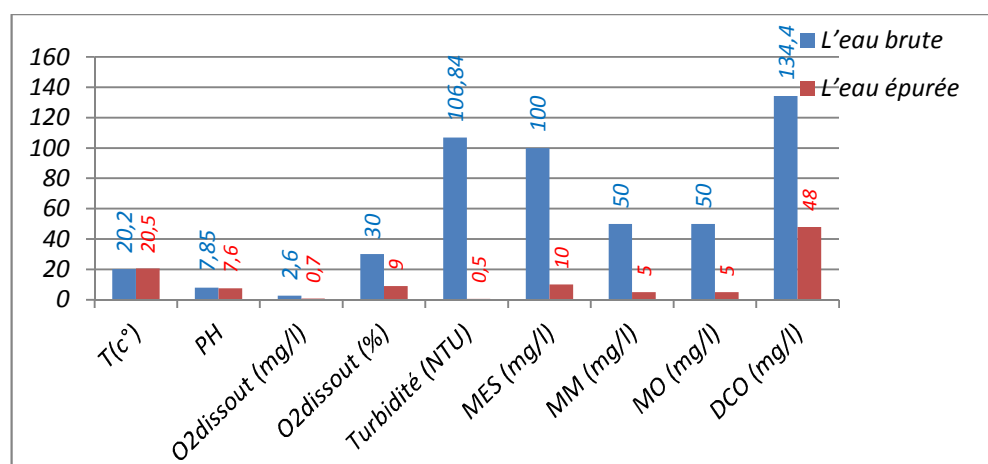


Figure IV.21. Histogramme de la variation de toutes les paramètres (l'entrée et sortie).

- Les résultats obtenus au fil de l'expérience sont résumés dans l'annexe C3.
- Indice de Mohlman de boue est $IB = 115,38 \text{ ml/g}$ qui confirme que la boue décante bien.

Nous avons représenté dans les figures (IV.22 à IV.29) la variation des différents paramètres mesurés en fonction du temps au niveau du décanteur. Il est à signaler que les abscisses de ces courbes (1,2,) correspondent aux moments des prélèvements définis au tableau qui suit:

abscisses	1	2	3	4	5	6	7	8	9
temps	11-5-04-2013 à 9 :00	11-04-2013 à 12 :00	14-04-2013 à 9 :00	14-04-2013 à 12 :00	15-04-2013 à 9 :00	15-04-2013 à 12 :00	16-04-2013 à 9 :00	16-04-2013 à 9 :00	17-04-2013 à 9 :00

➤ **Température** : la figure suivante représente la variation de la température en fonction du temps.

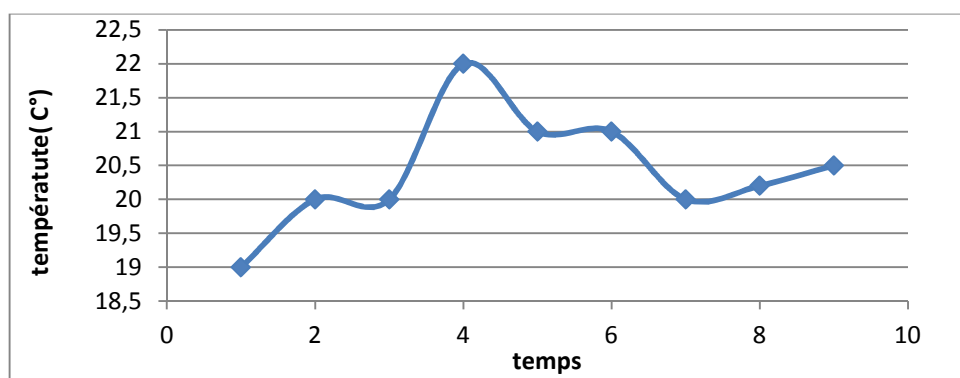


Figure IV.22. Courbe de variation de la température

A partir de ce (figure IV.22), on peut dire que la température a marqué une petite variation varie entre 19°C et 20,5°C, mais on a toujours dans les normes. Cette variation est due au contact eau-air

➤ **pH** : la figure suivante représente la variation du PH en fonction du temps.

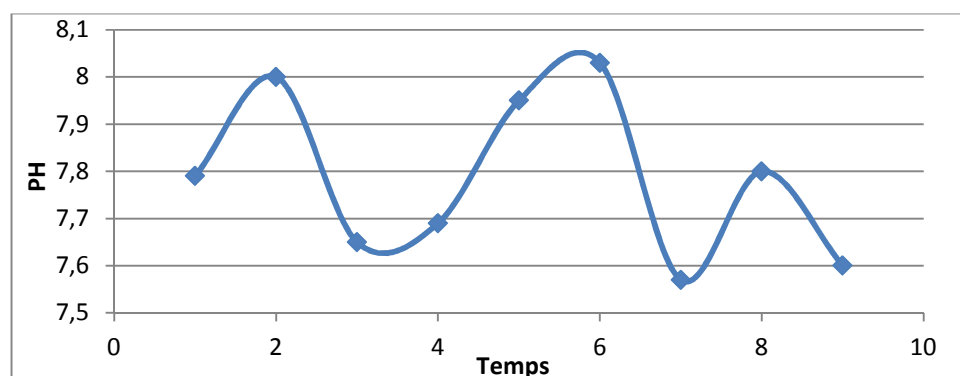


Figure IV.23. Courbe de variation du pH.

On peut remarquer dans cette figure IV.23 qu'il y'a une variation temporelle du pH et après une diminution jusqu'à 7,60, mais il reste toujours raisonnable. Les valeurs du pH (entre 7,6 et 7,8) dans cette expérience sont très proches de la norme.

- **O₂ dissous** : la figure suivante représente la variation d'O₂ dissous en fonction du temps.

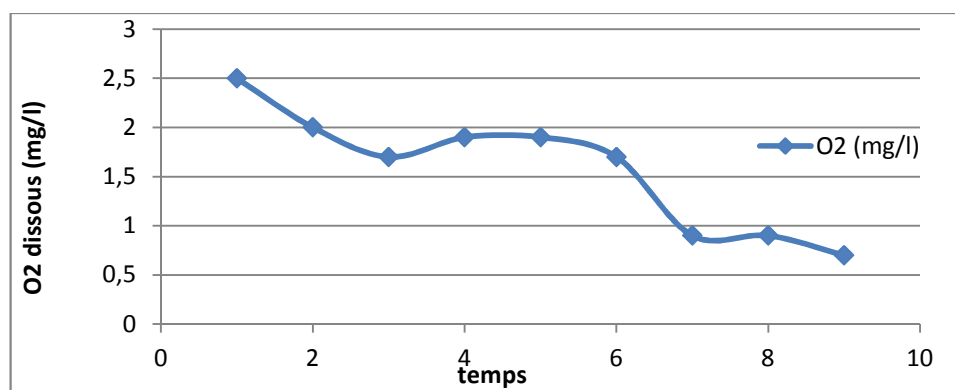


Figure IV.24. Courbe de variation d'O₂ dissous (mg/l)

A partir des figures précédentes nous constatons qu'il n'y a pas une grande variation dans la quantité d'oxygène dissout, dont la quantité maximale affichée par l'oxymètre est de 2,5 mg/l et un minimum de 0,7 mg/l alors qu'elle était de 2,6 dans l'eau brute, donc nous pouvons également constater qu'il y a une activation bactérienne au sein de lit.

- **Turbidité** : la figure suivante représente la variation de la turbidité en fonction du temps.

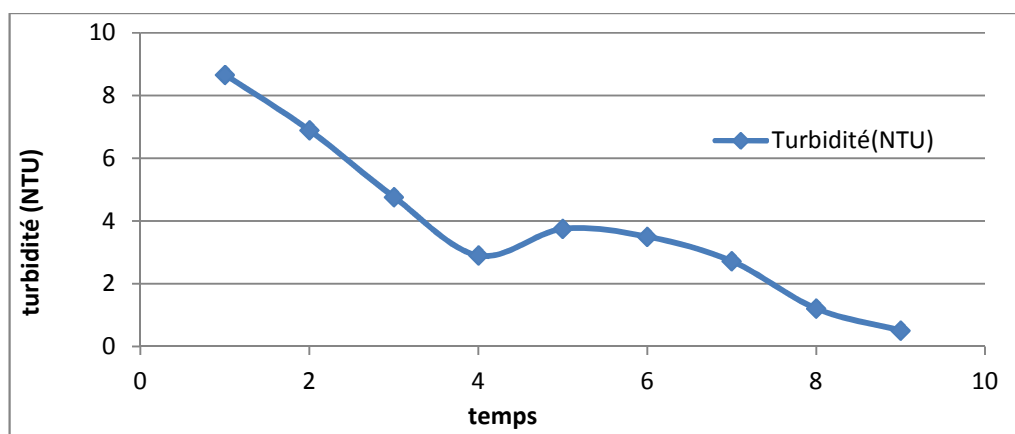


Figure IV.25. Courbe de variation de la turbidité (NTU).

Selon la figure IV.25, on constate que la valeur de la turbidité est égale 106,84 NTU à l'entrée, après elle a diminué après l'épuration à une valeur de 0,50 NTU (soit une élimination de plus de 95%). Donc on peut confirmer que de la filtration sur la pouzzolane contribue efficacement dans la réduction de ce paramètre.

➤ **MES:** la figure suivante représente la variation de MES en fonction du temps.

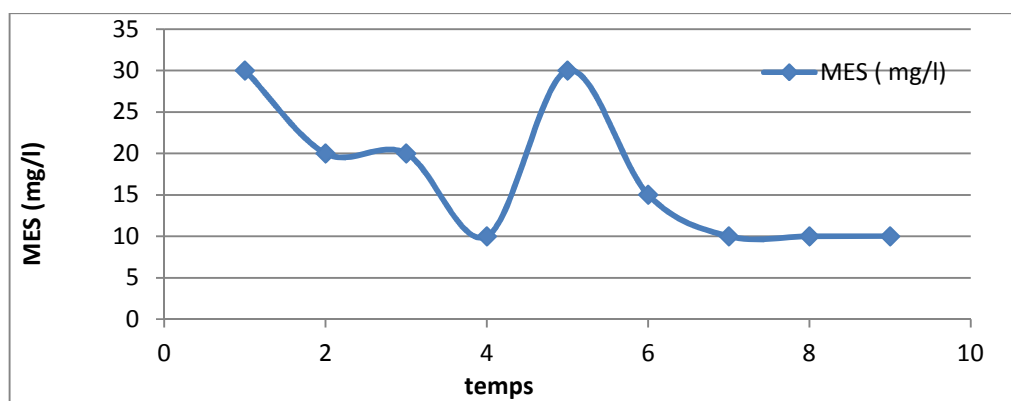


Figure IV.26. Courbe de variation des MES (mg/l).

D'après les résultats obtenus des MES (figure IV.26), nous avons observé une diminution jusqu'au 4^{ème} prélèvement et après nous remarquons un pic au niveau de la 5^{ème} prélèvement à cause d'un problème de colmatage du débitmètre, et puis une grande diminution. À la fin de l'expérience la quantité des MES a chuté de 100 à 10mg/l (élimination de 90%) donc on conclue qu'une grande quantité des MES a été éliminé par la procédé d'épuration.

➤ **MO:** la figure suivante représente la variation de MO en fonction du temps.

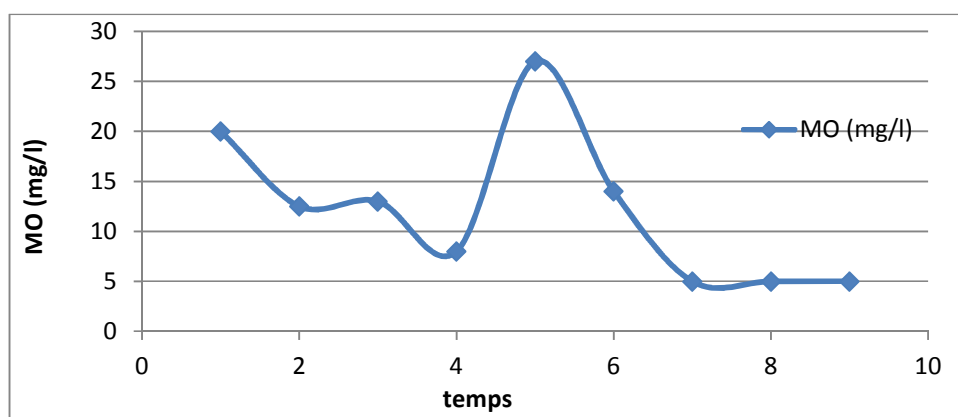


Figure IV.27. Courbe de variation de la MO (mg/l).

La valeur de la matière organique de l'eau brute est de (70 mg/l) ; d'après l'épuration cette valeur est diminuée et stabilisé à (5 mg/l), donc le lit bactérien contribue efficacement dans la dégradation des matières organiques.

➤ **MM:** la figure suivante représente la variation de MM en fonction du temps.

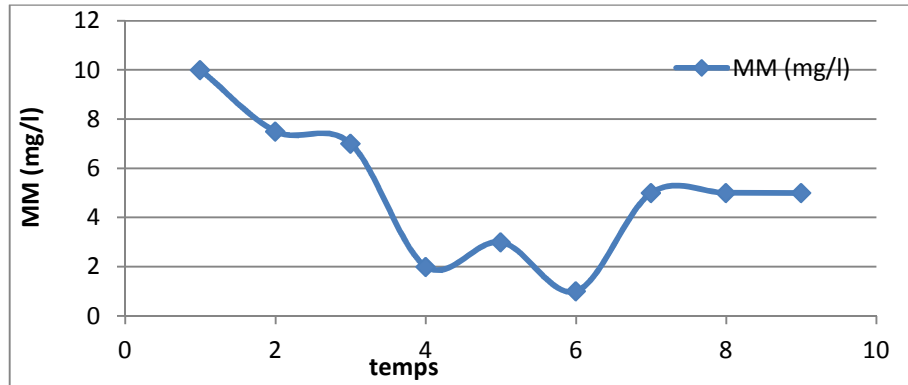


Figure IV.28. Courbe de variation de la MM (mg/l).

On peut remarquer dans la figure IV.28, une variation de la dans la majorité des prélèvements, les valeurs de la matière minérale sont proches les une autre ce qui affirme que le procédé testé n'a aucun d'influence sur ce paramètre.

➤ **DCO :** la figure suivante représente la variation de DCO en fonction du temps.

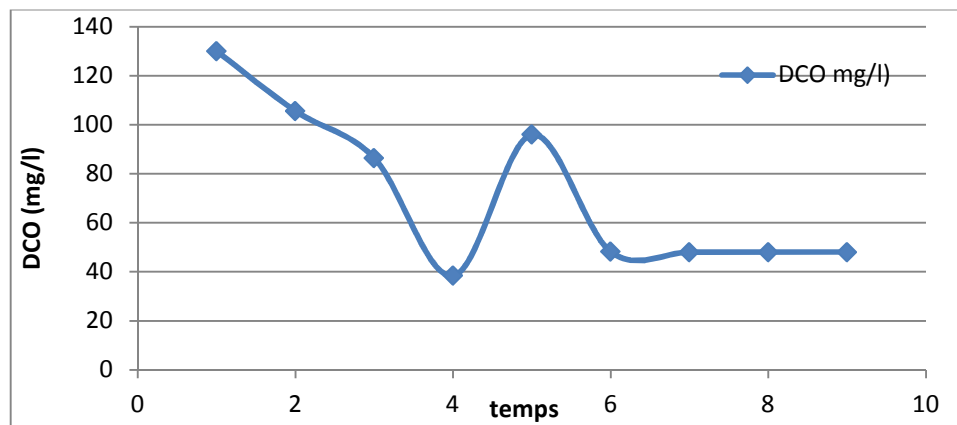


Figure IV.29. Courbe de variation de la DCO (mg/l)

Cette série d'essai sont obtenue par la mesure de chaque échantillons à différents temps dans le décanteur ; on peut constater qu'il ya une chute importante da la concentration de la DCO, sauf dans la 5^{ème} prélèvement on remarque une petite augmentation de la concentration suite à un disfonctionnement du pilote, puis une diminution et une stabilisation de la DCO a 48mg/l

alors qu'elle été de 134,4mg/l dans l'eau brute, pour ce la on peut conclu que une grande concentration a été éliminé par ce procédé.

IV.3. Lit bactérien (10/25 mm) sur une hauteur 80 cm

Une nouvelle série d'expériences de l'épuration à lit bactérien à été complété pour une hauteur de (80cm) avec la même granulométrie du matériau utilisé (la pouzzolane), dans l'espoir de meilleurs résultats.

Avant de commencé notre études, nous avons vérifié le réglage des instruments du pilote. 300 litres d'eau usées brute (STEP de AIN AL HOUTZ) et cinq litres des boues fraiches ont été procurés pour les besoins de la manipulation.

Nous avons travaillé en premier lieu avec un débit d'entré de 8 l/h et en deuxième lieu avec un débit de 10 l/h, en troisième lieu avec un débit de 16 l/h, et en fin avec un débit de 20 l/h, afin de déterminer le débit optimale pour cette hauteur de biofiltration.

Nous avons mesuré certains paramètres physiques, chimique comme le pH, température, la turbidité, l'O₂ dissout, la DCO. Les prélèvements se feront au sien de décanteur.

IV.3.1.Epuration avec un débit de 8 l/h :

L'expérience a été menée avec un débit d'alimentation de 8 l/h et un débit de recyclage des boues de 0,182 l/min. après stabilisation de la DCO, les résultat obtenus sont résumés dans le tableau IV.4 et représenté sur l'histogramme de la figure IV.30.

Tableau IV.4 .Résultats d'analyse physico-chimique de l'eau.

Paramètre	L'eau brute	L'eau épurée
T (°C)	25	19
Ph	7,85	7,5
O ₂ dissout (mg/l)	3,8	0,7
O ₂ dissout (%)	40	09
Turbidité (NTU)	106,84	0,68
MES (mg/l)	380	10
MM (mg/l)	58	04
MO (mg/l)	262	06
DCO (mg/l)	208	28,8

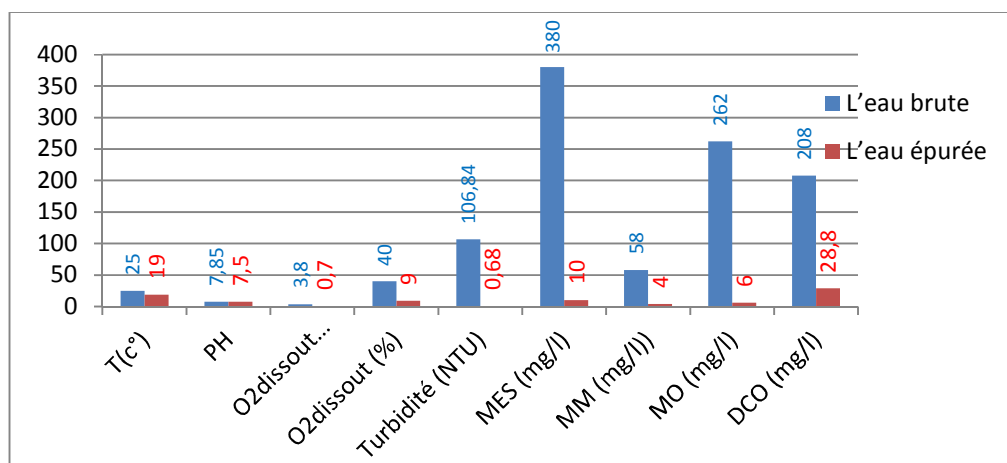


Figure IV.30. Histogramme de la variation de toutes les paramètres (l'entrée et sortie).

- Les résultats obtenus au fil de l'expérience sont résumés dans l'annexe D1.
- Indice de Mohlman de boue est $IB = 105,38 \text{ ml/g}$ qui confirme que la boue décante bien

Nous avons représenté dans les figures (IV.31 à IV.38) la variation des différents paramètres mesurés en fonction du temps au niveau du décanteur. Il est à signaler que les abscisses de ces courbes (1,2,) correspondent aux moments des prélèvements définis au tableau qui suit:

abscisses	1	2	3	4	5	6	7	8
temps	21-04-2013 à 9 :00	21-04-2013 à 12 :00	24-04-2013 à 9 :00	24-04-2013 à 12 :00	25-04-2013 à 9 :00	25-04-2013 à 12 :00	28-04-2013 à 9 :00	28-04-2013 à 12:00

➤ **Température :** la figure suivante représente la variation de la température en fonction du temps.

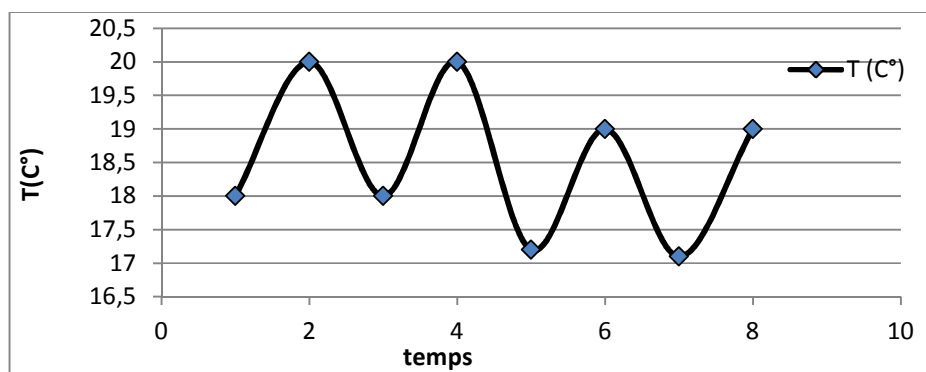


Figure IV.31. Courbe de variation de la température en fonction du temps.

A partir de cette figure nous constatons une grande variation, donc nous pouvons justifier que cette augmentation est due à l'activité des boues au cours de la dégradation des matières organiques.

➤ **pH:** la figure suivante représente la variation du PH en fonction du temps.

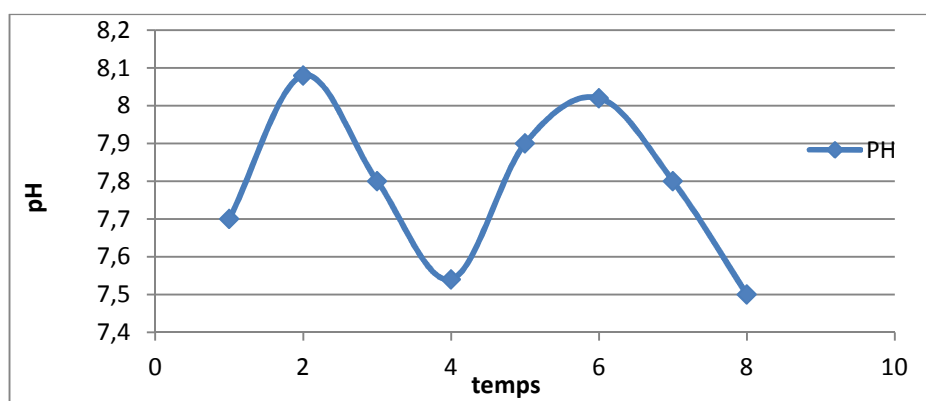


Figure IV.32. Courbe de variation du pH en fonction du temps.

D'après la figure IV.32, il y a une variation du pH cette variation qui demeure basique jusqu'à la fin de l'expérience, mais il reste toujours raisonnable entre 7.5 et 8.1.

➤ **turbidité:** la figure suivante représente la variation de la turbidité en fonction du temps.

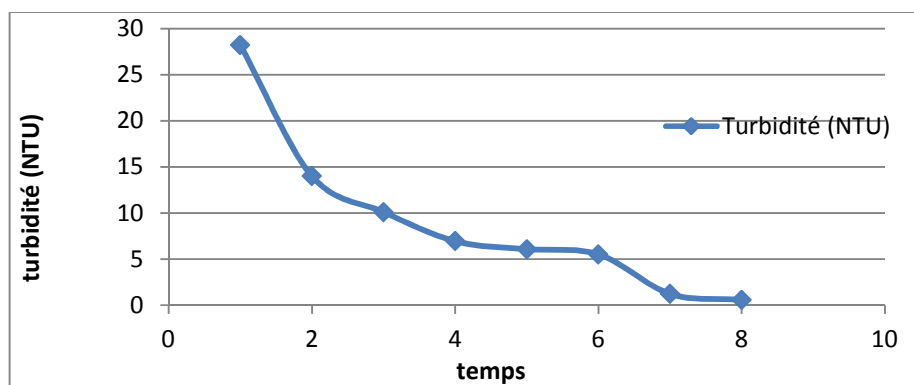


Figure IV.33. Courbe de variation de la turbidité en fonction du temps.

D'après la figure IV.33, on constate que la valeur de la turbidité est égale 106,84 NTU à l'entrée, après elle a diminué après l'épuration à une valeur de 0,68 NTU. Donc on peut conclure que la contribution de la filtration sur la pouzzolane contribue efficacement à la réduction de la turbidité avec une élimination de 99.3%.

- **O₂ dissous:** la figure suivante représente la variation d'O₂ dissous en fonction du temps.

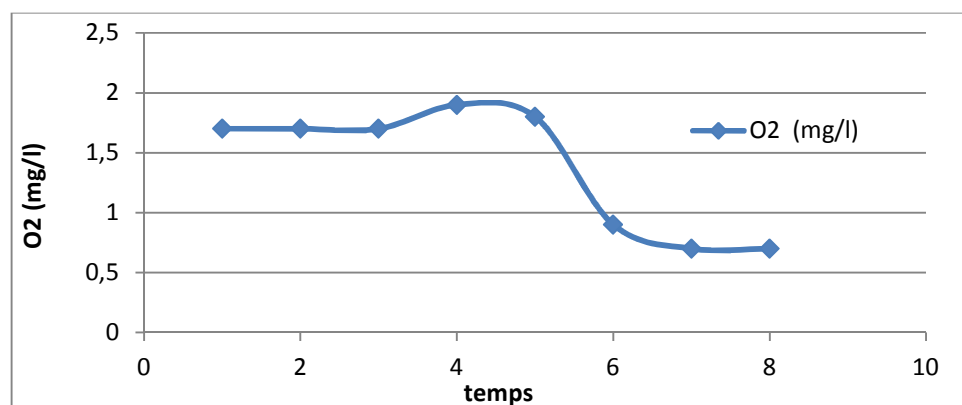


Figure IV.34. Courbe de variation d'O₂ dissous (mg/l) en fonction du temps.

D'après les courbes de la figure IV.34, la concentration de l'O₂ dissous reste presque constante jusqu'à la 5^{ème} prélèvement, en suite une diminution importante (0,7 mg/l), donc cette fluctuation des concentrations est expliquée par l'activité continue des bactéries.

- **MES :** la figure suivante représente la variation de MES en fonction du temps.

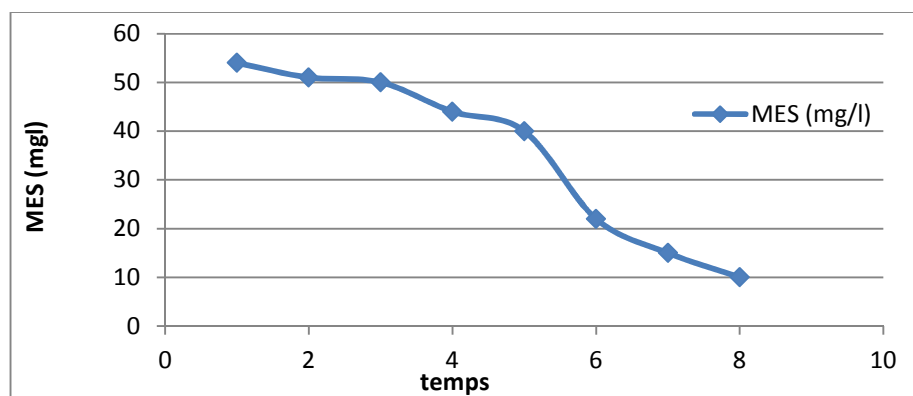


Figure IV.35. Courbe de variation des MES (mg/l) en fonction du temps.

La concentration en MES de l'eau usées brute est de (380 mg/l). Après la figure IV.35, nous avons observé qu'au cours de cette expérience d'une semaine la concentration en MES est en constante diminution et la fin de cette dernière grande quantité de MES a été éliminé (10mg/l restante soit une élimination de 97.37%).

➤ **MO** : la figure suivante représente la variation de la MO en fonction du temps.

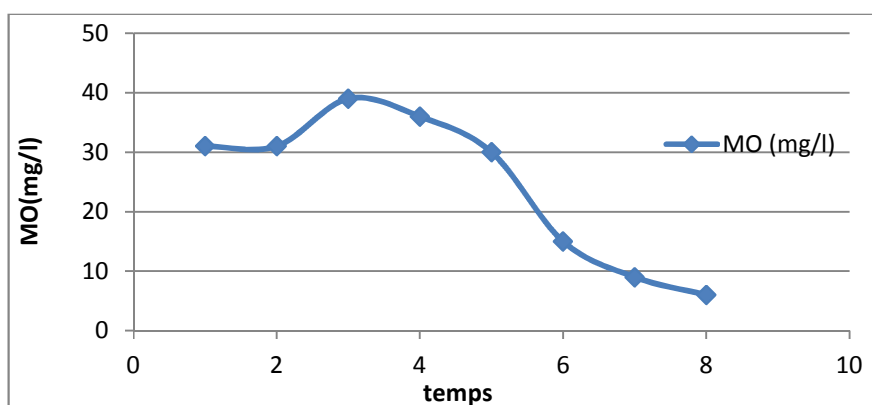


Figure IV.36. Courbe de variation de la MO (mg/l) en fonction du temps.

D'après la figure précédent nous constatons qu'il y'a une chute très important de la matière organique jusqu'à la valeur 5 mg/l alors qu'elle était de 262 mg/l initialement dans l'eau brute, ce qui confirme l'efficacité de procédé dans la dégradation de cette dernier.

➤ **MM** : la figure suivante représente la variation de la MM en fonction du temps.

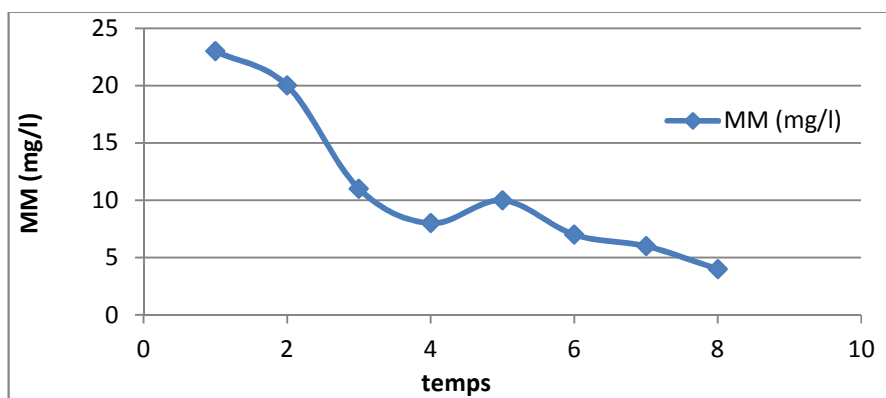


Figure IV.37. Courbe de variation de la MM (mg/l) en fonction du temps.

D'après les résultats obtenus des MM dans la courbe la (Figure IV.37) nous n'avons observé qu'une grande quantité des MM qui se trouvent dans l'eau usées brute à été éliminé par le procédé d'épuration; cette élimination est du à un phénomène physique (fixation sur la pouzzolane ou décantation)

➤ **DCO** : la figure suivante représente la variation de la DCO en fonction du temps.

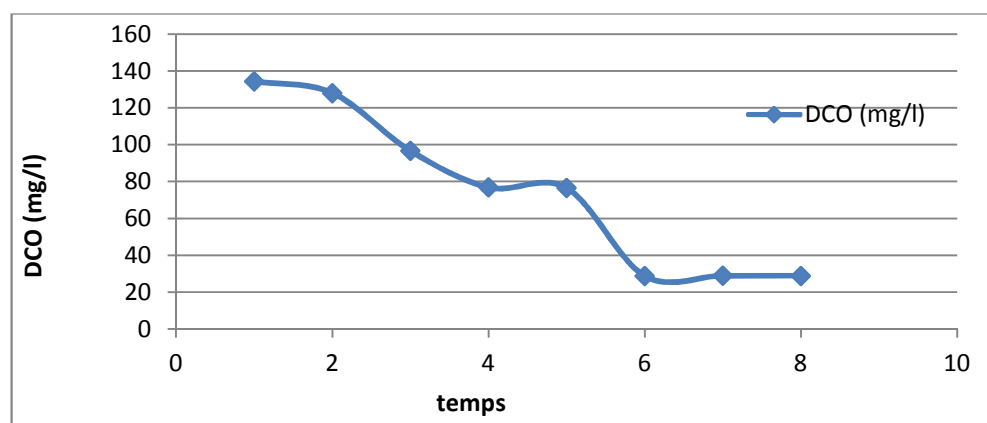


Figure IV.38. Courbe de variation de la DCO en fonction du temps.

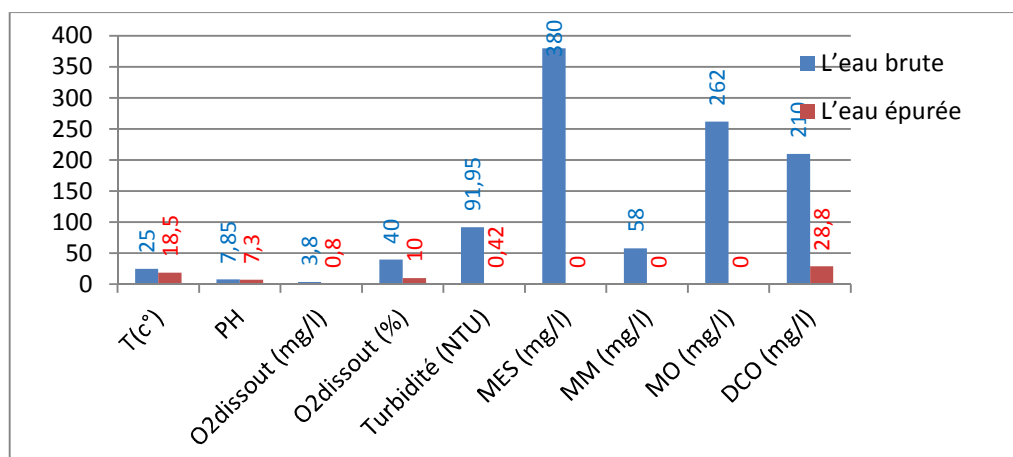
D'après la courbe de la DCO nous avons remarqué une grande chute considérablement de la concentration de la DCO de (208mg/l) à l'entrée, elle arrivée à 28,8 mg/l après l'épuration. Soit une élimination de 86.15%, confirmant l'efficacité du procédé.

IV.3.2. Epuration avec un débit de 10 l/h :

Cette expérience a été menée avec un débit d'alimentation de 10 l/h et un débit de recyclage des boues de 0,236 l/min. après stabilisation de la DCO, les résultat obtenus sont résumés dans le tableau IV.5 et représenté sur l'histogramme de la figure IV.39.

Tableau IV.5. Résultats d'analyse physico-chimique de l'eau.

Paramètre	L'eau brute	L'eau épurée
T (°C)	25	18,5
pH	7,85	7,30
O ₂ dissout (mg/l)	3,8	0,8
O ₂ dissout (%)	40	10
Turbidité (NTU)	91,95	0,42
MES (mg/l)	380	0
MM (mg/l)	58	0
MO (mg/l)	262	0
DCO (mg/l)	210	28,8

**Figure IV.39.** Histogramme de la variation de toutes les paramètres (l'entrée et sortie).

- Les résultats obtenus au fil de l'expérience sont résumés dans l'annexe D2.
- Indice de Mohlman de boue est IB =104 ml/g qui confirme que la boue décante bien.

Nous avons représenté dans les figures (IV.40 à IV.47) la variation des différents paramètres mesurés en fonction du temps au niveau du décanteur. Il est à signaler que les abscisses de ces courbes (1,2,) correspondent aux moments des prélèvements définis au tableau qui suit:

abscisses	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
temps	29-04-2013 à 12 :00	30-04-2013 à 9 :00	30-04-2013 à 12 :00	2-05-2013 à 9 :00	2-05-2013 à 12 :00	5-04-2013 à 9 :00	5-05-2013 à 12 :00	6-05-05-2013 à 9 :00	6-05-2013 à 12 :00	7-05-2013 à 9 :00

➤ **Température :** la figure suivante représente la variation de la température en fonction du temps.

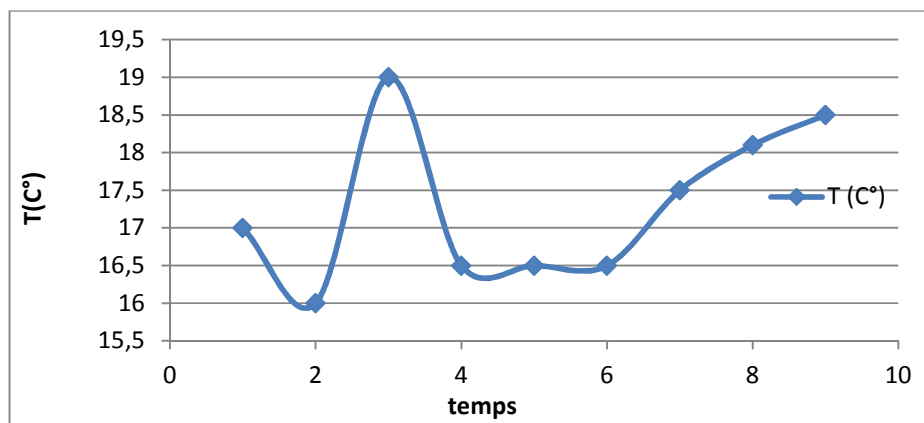


Figure IV.40. Courbe de variation de la température en fonction du temps.

La mesure de la température de chaque échantillon à différents temps pour chaque prélèvement varié entre 16 et 19°C, Cette variation est due au contact eau-air.

➤ **pH:** la figure suivante représente la variation du pH en fonction du temps.

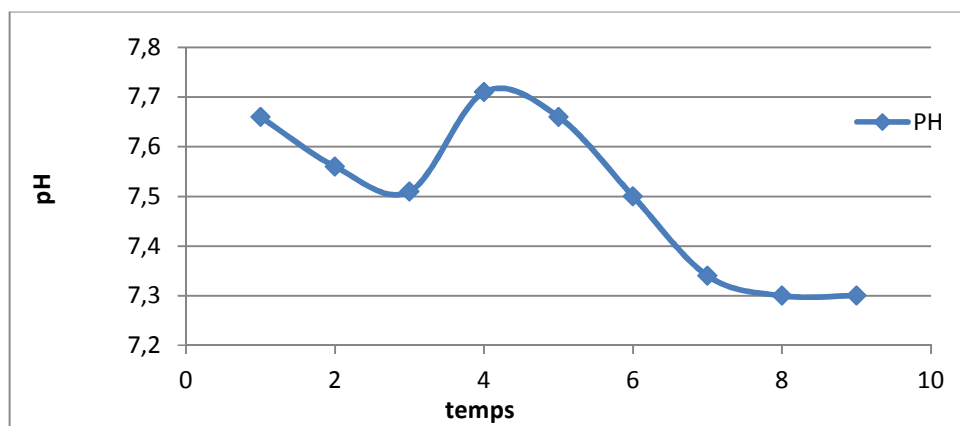


Figure IV.41. Courbe de variation du pH en fonction du temps.

On remarque d'après la figure précédente qu'il n'y a pas une grande différence de variation dans le potentiel d'hydrogène il varie entre 7,6 et 7,3 qui est un milieu proche du neutre.

- **Turbidité** : la figure suivante représente la variation de la turbidité en fonction du temps.

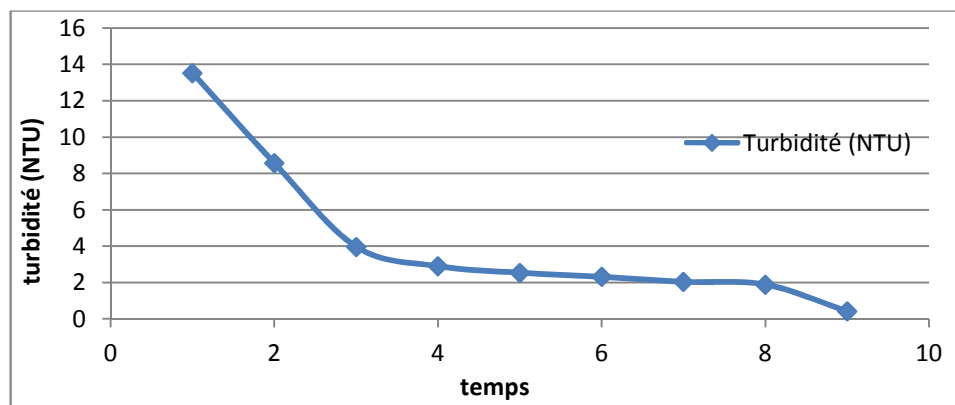


Figure IV.42. Courbe de variation de la turbidité en fonction du temps.

L'examen des résultats obtenus (Figure IV.42) montre que la turbidité des eaux usées est de 13,95 NTU mais après la décantation nous avons observé une chute importante jusqu'à la valeur 0,42 NTU à cause de la dégradation de la matière organique. Le rendement d'élimination est de 99,54%.

- **O₂ dissous** : la figure suivante représente la variation d'O₂ dissous en fonction du temps.

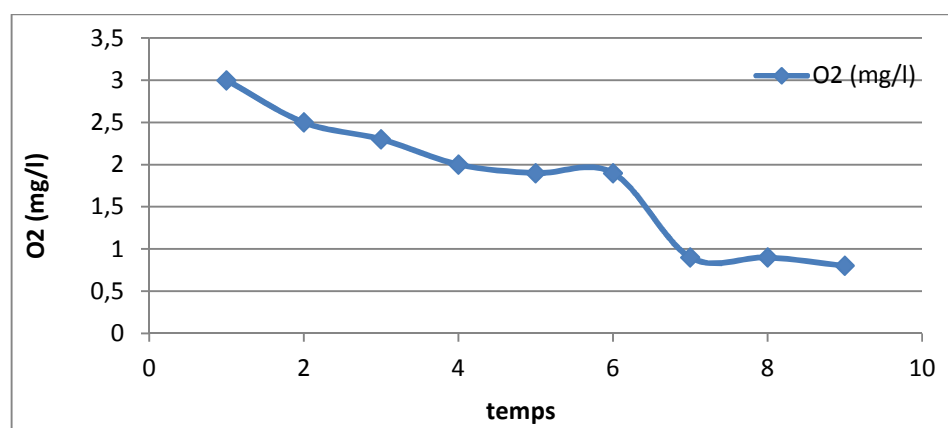


Figure IV.43. Courbe de variation d'O₂ dissous (mg/l) en fonction du temps.

D'après les courbes de la figure IV.43 la concentration de O₂ dissous à l'entrée est de 3,8 mg/l et cette valeur a diminué à 0,8 mg/l après la décantation. Par rapport à la concentration d'entrée

nous remarquons que il y'a une grande diminution de O₂ dissous, ce qui s'explique par le fait que les bactéries ont consommée l'oxygène pour dégrader la matière organique.

➤ **MES:** la figure suivante représente la variation de MES en fonction du temps.

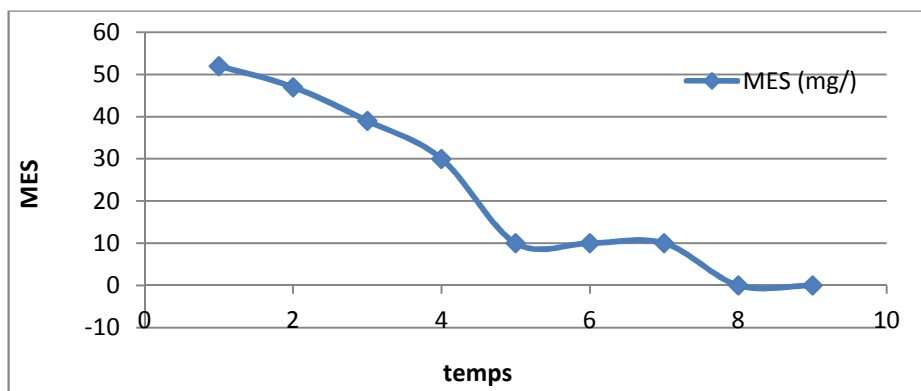


Figure IV.44. Courbe de variation de MES en fonction du temps.

Après la figure IV.44; une diminution remarquable de la concentration de MES après elle se stabilise à 0 mg/l. Par conséquent on peut dire que le procédé est efficace pour l'élimination des MES.

➤ **MO:** la figure suivante représente la variation de MO en fonction du temps.

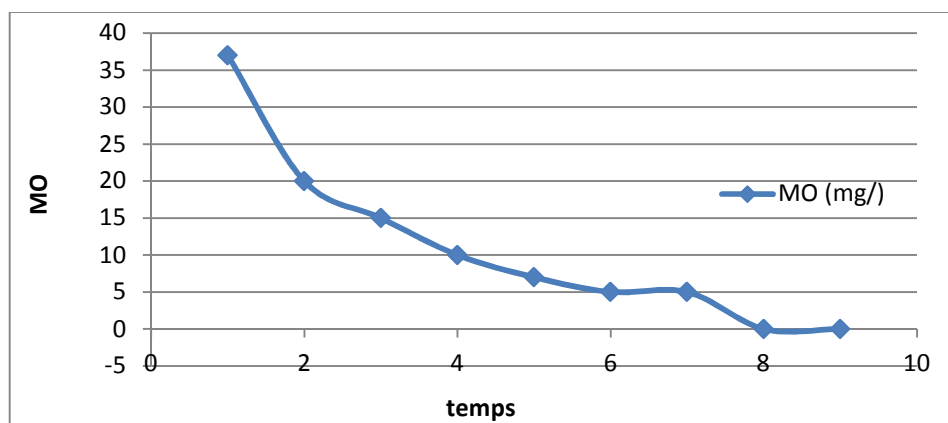


Figure IV.45. Courbe de variation de MO en fonction du temps.

La valeur de la matière organique dans l'eau brute est de 262 mg/l; d'après la figure il ya une grande diminution de la MO dans tous les prélèvements il vient de 0 mg/l. durant cette expérience la totalité de MO a été dégradée, cela peut être par un temps de contact important dans le lit. Donc le lit bactérien contribué efficacement à la dégradation ce paramètre.

- **MM:** la figure suivante représente la variation de MM en fonction du temps.

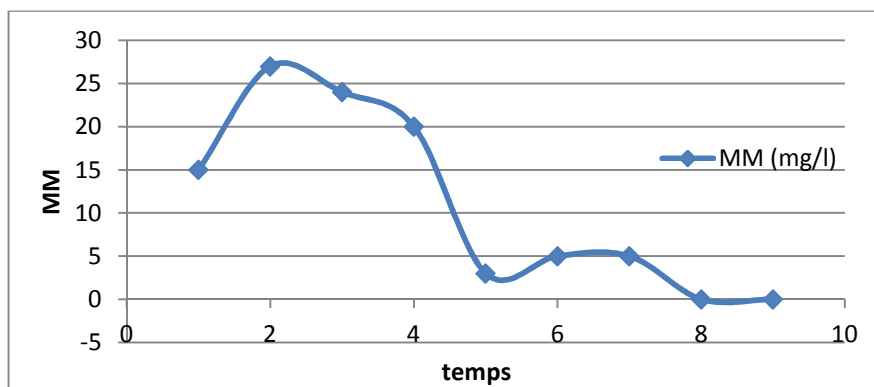


Figure IV.46. Courbe de variation de MM en fonction du temps.

La valeur de la matière minérale dans l'eau brute est de 58 mg/l d'après la figure il ya une faible variation de la MM dans tous les prélèvements il vient de 0 mg/l, donc à la fin de l'expérience la totalité des MM a été éliminée.

- **DCO:** la figure suivante représente la variation de DCO en fonction du temps.

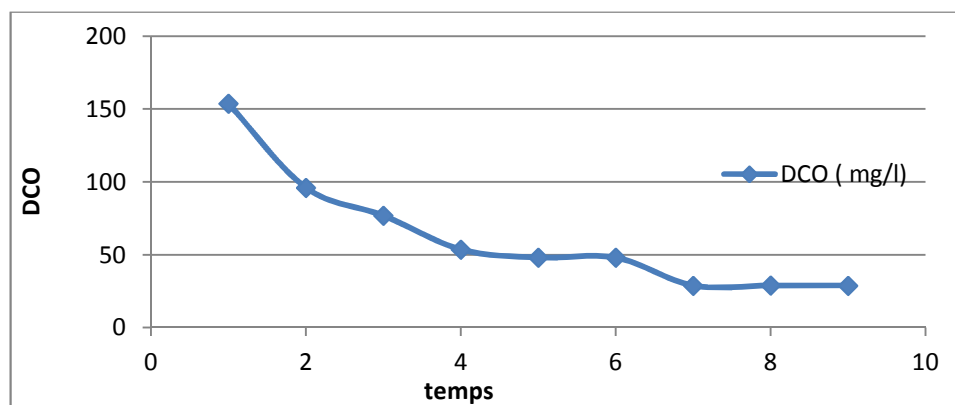


Figure IV.47. Courbe de variation du DCO en fonction du temps

D'après la courbe dans la figure IV.47, nous avons remarqué une chute considérable de la DCO d'entrée qui était de 180,6 mg/l, après l'épuration elle est arrivée à 19,2 mg/l (à la sortie) (cette valeur conforme aux normes); une grande concentration a été éliminé par le procédé d'épuration soit 89.37%.

IV.3.3. Epuration avec un débit de 16 l/h :

L'expérience a été menée avec un débit d'alimentation de 16 l/h et un débit de recyclage des boues de 0,440 l/min. après stabilisation de la DCO, les résultats obtenus sont résumés dans le tableau IV.6 et représenté sur l'histogramme de la figure IV.48.

Tableau IV.6. Résultats d'analyse physico-chimique de l'eau.

Paramètre	L'eau brute	L'eau épurée
T (°C)	22,5	19
pH	7,82	7,30
O ₂ dissout (mg/l)	3,7	0,9
O ₂ dissout (%)	40	10
Turbidité (NTU)	120	0,51
MES (mg/l)	360	10
MM (mg/l)	87	5
MO (mg/l)	337	5
DCO (mg/l)	180,6	19,2

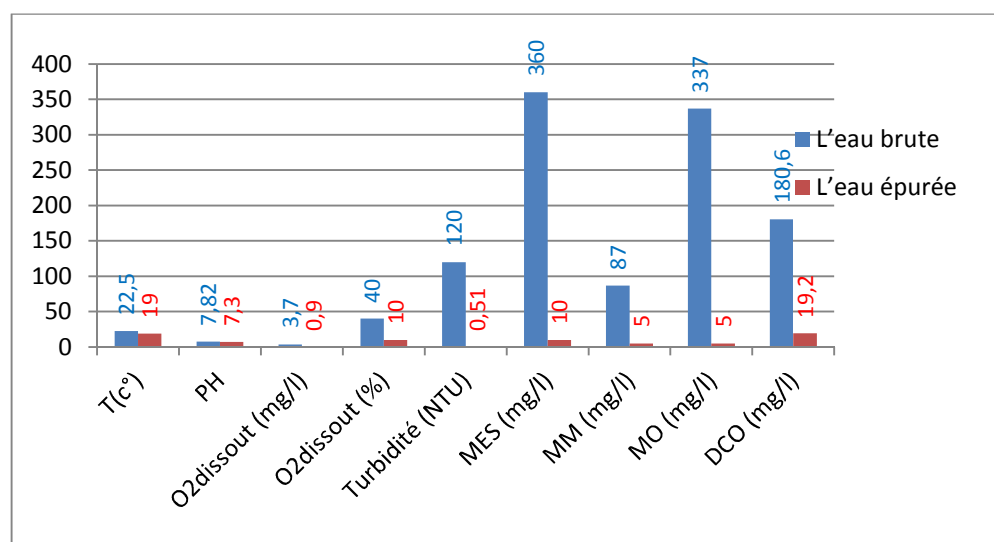


Figure IV.48. Histogramme de la variation de toutes les paramètres (l'entrée et sortie).

- Les résultats obtenus au fil de l'expérience sont résumés dans l'annexe D3.
- Indice de Mohlman de boue est $IB = 95,23 \text{ ml/g}$ qui confirme que la boue décante bien.

Nous avons représenté dans les figures (IV.49 à IV.56) la variation des différents paramètres mesurés en fonction du temps au niveau du décanteur. Il est à signaler que les abscisses de ces courbes (1,2,) correspondent aux moments des prélèvements définis au tableau qui suit:

abscisses	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
temps	8-05-2013 à 9 :00	8-05-2013 à 12 :00	9-05-2013 à 9 :00	12-05-2013 à 9 :00	12-05-2013 à 12 :00	13-05-2013 à 9 :00	13-05-2013 à 12 :00	14-05-2013 à 9 :00	14-05-2013 à 12:00	15-05-2013 à 9 :00

➤ **Température** : la figure suivante représente la variation de la température en fonction du temps.

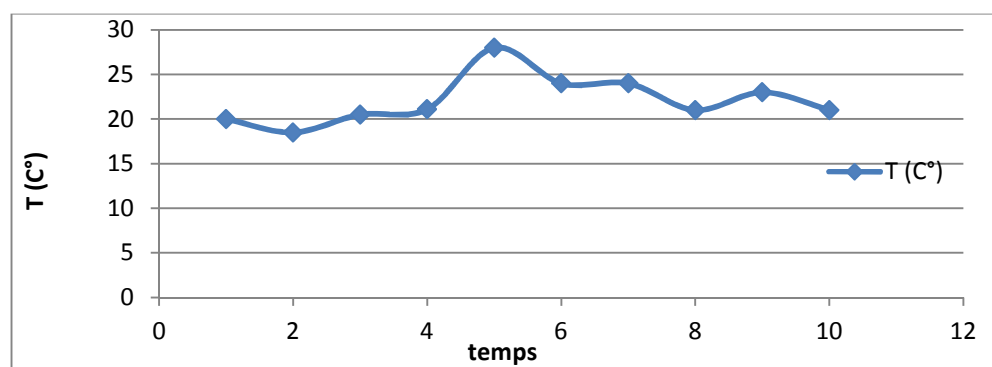


Figure IV.49. Courbe de variation de la température en fonction du temps.

La température de l'eau brute est de 22,5 °C, après la figure IV.49 nous avons constaté qu'il y a une variation de la température. Cette variation est due au contact eau-air dans le décanteur; mais reste toujours dans les normes.

➤ **pH**: la figure suivante représente la variation du pH en fonction du temps.

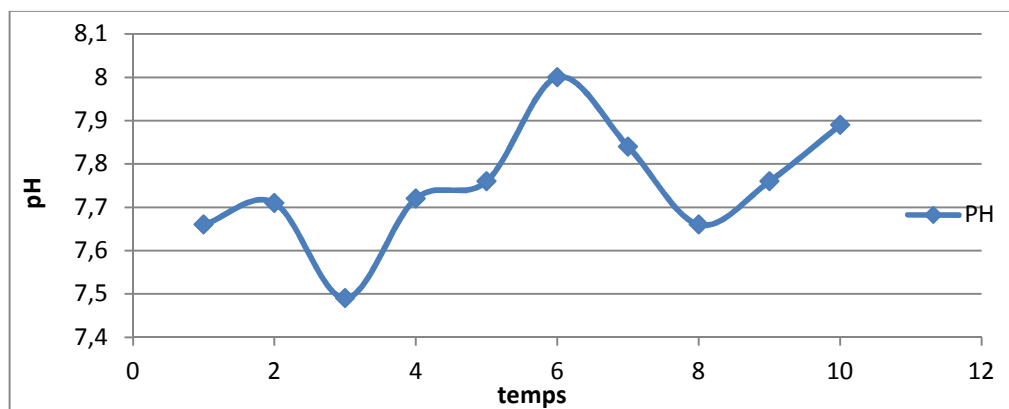


Figure IV.50. Courbe de variation du pH en fonction du temps.

On remarque d'après la figure suivante qu'il n'y a pas une grande différence de variation dans le potentiel d'hydrogène il varie entre 7,65 et 7,90 sauf dans le 6^{ème} prélèvement le pH arrive à la valeur de 8, mais elle ne dépasse pas les normes et demeure dans la plage basique.

- **turbidité:** la figure suivante représente la variation de la turbidité en fonction du temps.

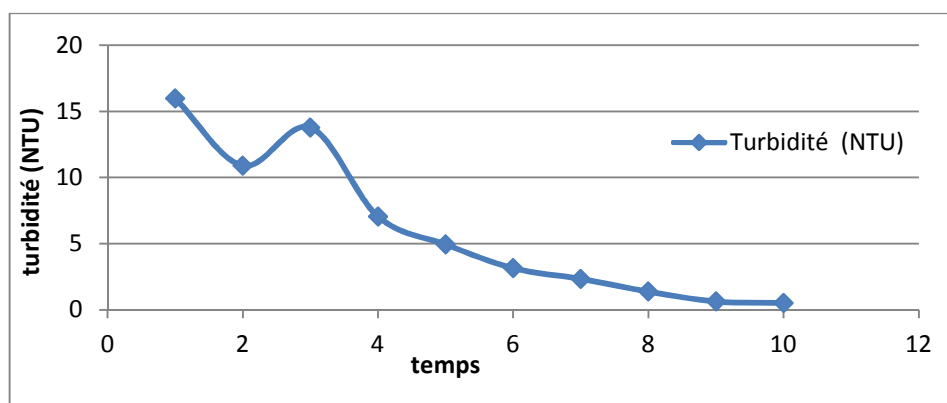


Figure IV.51. Courbe de variation de la turbidité en fonction du temps.

L'examen de la figure IV.51 montre que la valeur de la turbidité était très élevée 120 NTU à l'entrée, après elle a diminué après l'épuration à une valeur de 0,68 NTU. Donc on peut conclure que la contribution de la filtration sur la pouzzolane est influencée sur ce paramètre.

- **O₂ dissous:** la figure suivante représente la variation d'O₂ dissous en fonction du temps.

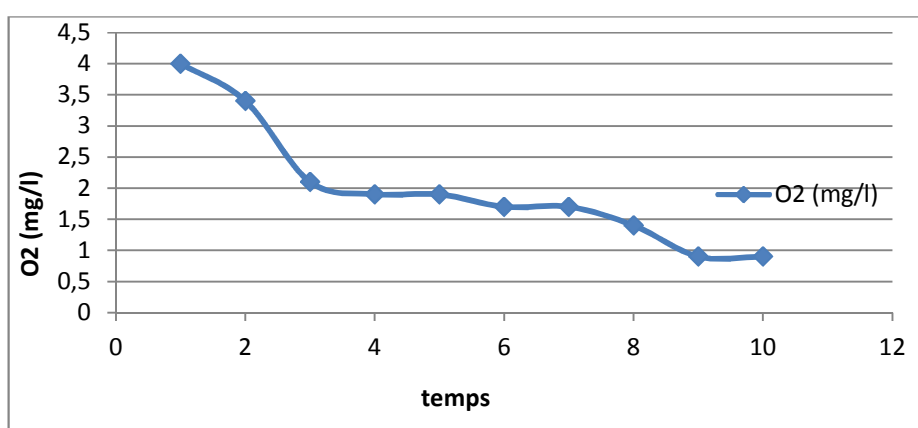


Figure IV.52. Courbe de variation d'O₂ dissous (mg/l) en fonction du temps.

D'après la courbe de la figure IV.52, nous observons une diminution de la concentration de l'O₂ dissous à environ (0,9 mg/l) alors qu'elle était de 3,7 mg/l initialement, ce qui confirme l'activité continue des bactéries au sein du lit bactérien.

- **MES** : la figure suivante représente la variation de MES en fonction du temps.

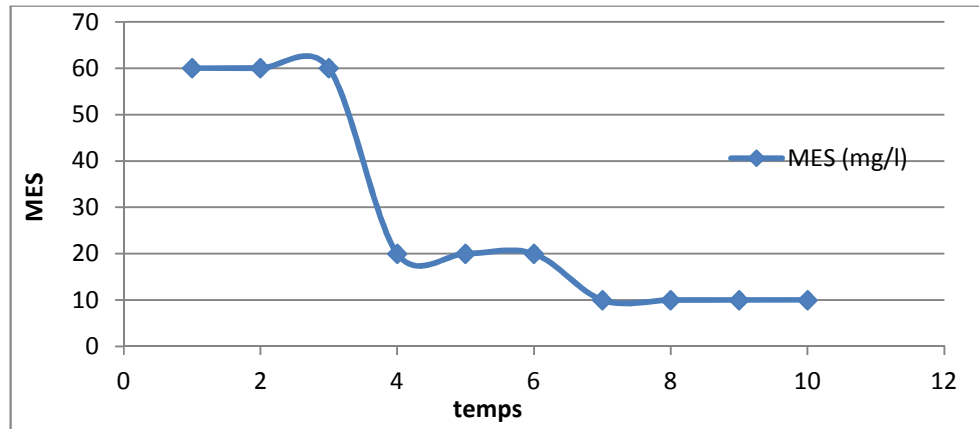


Figure IV.53. Courbe de variation des MES (mg/l) en fonction du temps.

D'après les résultats obtenus des MES dans la figure précédente, nous avons constaté qu'une grande quantité des MES a été éliminée pendant l'épuration ; de 360 mg/l dans l'eau brute à 10 mg/l de l'eau épurée. Donc le lit bactérien élimine 97,22% des MES, on peut conclure que le lit bactérien contribue efficacement dans la réduction de ce paramètre.

- **MO** : la figure suivante représente la variation de la MO en fonction du temps.

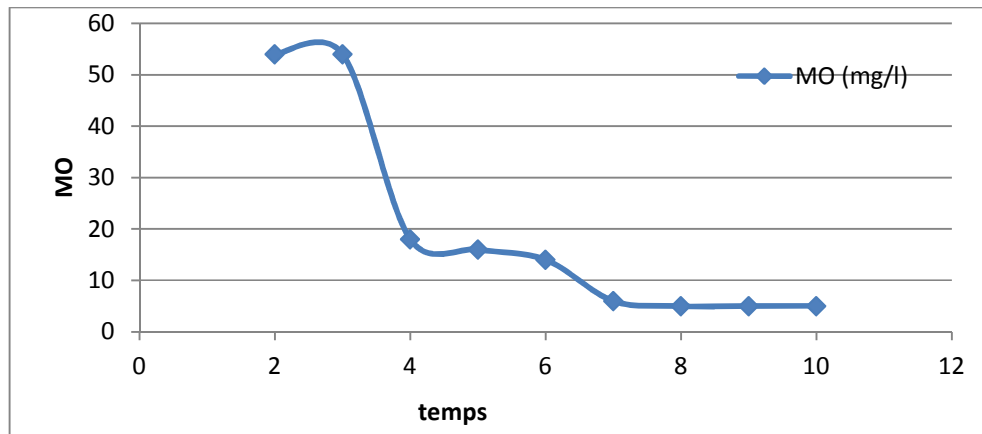


Figure IV.54. Courbe de variation de la MO (mg/l) en fonction du temps.

D'après la figure précédente on constate qu'il y a une chute très importante de la matière organique (337 mg/l) jusqu'à se stabiliser à la valeur de 5 mg/l aux derniers prélèvements. Lors de cette expérience 98,52% des MO ont été éliminés.

- **MM** : la figure suivante représente la variation de la MM en fonction du temps.

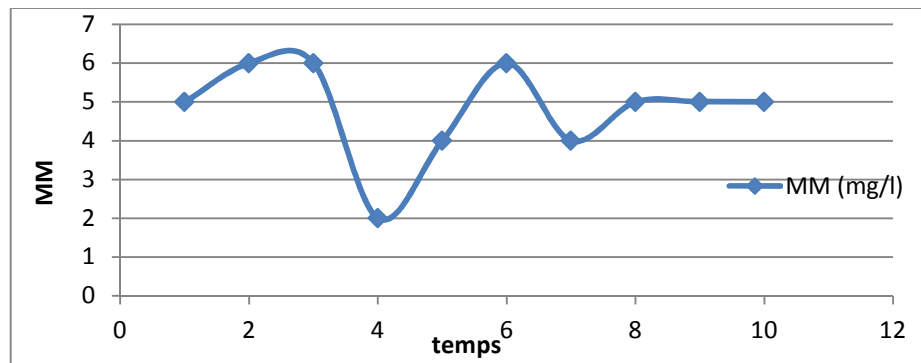


Figure IV.55. Courbe de variation de la MM (mg/l) en fonction du temps.

D'après les résultats obtenus des MM dans la courbe (Figure IV.55) nous n'avons observé qu'une grande quantité des MM qui se trouvaient dans l'eau usées brute a été éliminé par le procédé d'épuration (87mg/l à 5mg/l). Donc on peut dire que ce procédé (lit bactérien et décanteur) contribue dans la réduction de la matière minérale.

➤ **DCO** : la figure suivante représente la variation de la DCO en fonction du temps.

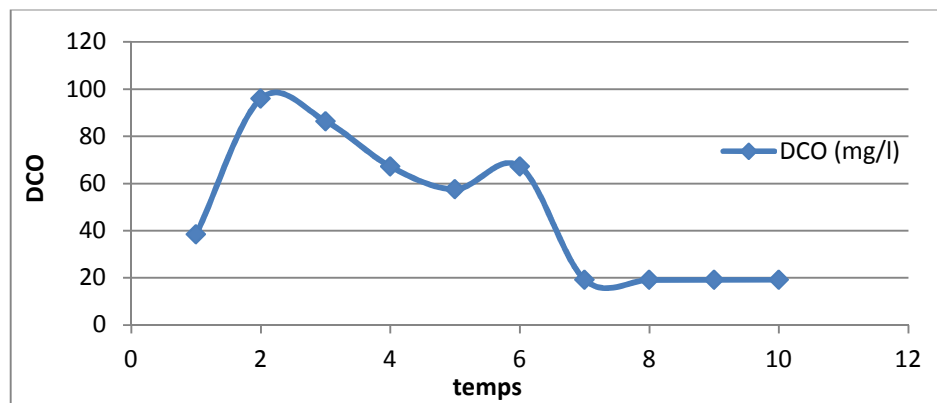


Figure IV.56. Courbe de variation de la DCO en fonction du temps.

D'après la courbe de la DCO nous avons remarqué une variation considérablement de la DCO qui a finis de se stabilisé à 19,1 mg/l après l'épuration alors qu'elle était de 180,6 mg/l à l'entrée; donc une grande quantité de la DCO a été éliminé par ce procédé car il y'avait une activité bactérien très important au sein le lit bactérien qui est reflété par l'élimination de 89,42 % de la DCO initiale.

IV.3.4. Epuration avec un débit de 20 l/h :

L'expérience a été menée avec un débit d'alimentation de 20 l/h et un débit de recyclage des boues de 0,650 l/min. après stabilisation de la DCO, les résultat obtenus sont résumés dans le tableau IV.7 et représenté sur l'histogramme de la figure IV.57.

Tableau IV.7. Résultats d'analyse physico-chimique de l'eau.

Paramètre	L'eau brute	L'eau épurée
T (°C)	22,5	19
pH	7,71	7,30
O ₂ dissout (mg/l)	3,7	0,7
O ₂ dissout (%)	40	07
Turbidité (NTU)	125	0,165
MES (mg/l)	460	10
MM (mg/l)	87	5
MO (mg/l)	337	5
DCO (mg/l)	153,6	9,2

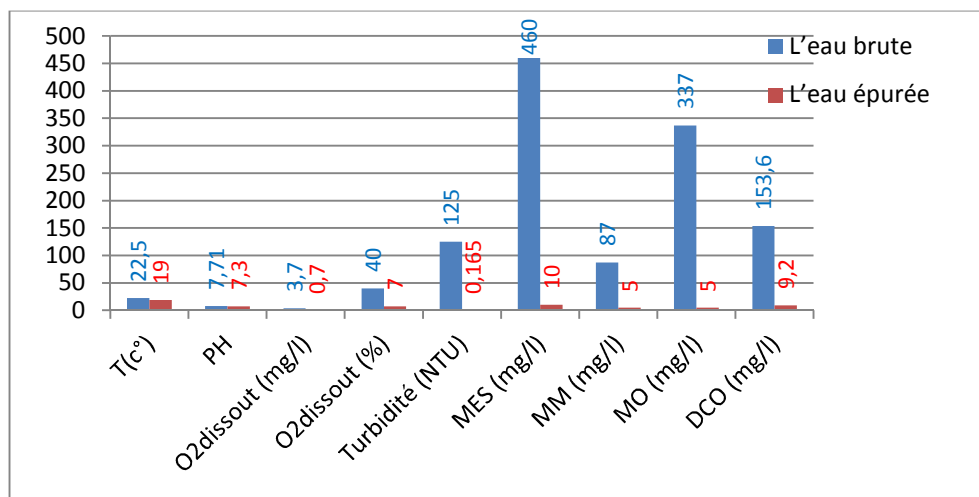


Figure IV.57. Courbe de variation de toutes les paramètres (l'entrée et sortie).

- Les résultats obtenus au fil de l'expérience sont résumés dans l'annexe D4.
- Indice de Mohlman de boue est IB = 95,104 ml/g qui confirme que la boue décante bien.

Nous avons représenté dans les figures (IV.58 à IV.65) la variation des différents paramètres mesurés en fonction du temps au niveau du décanteur. Il est à signaler que les abscisses de ces courbes (1,2,) correspondent aux moments des prélèvements définis au tableau qui suit:

abscisses	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Temps	21-05-2013 à 9 :00	21-05-2013 à 12 :00	22-05-2013 à 9 :00	22-05-2013 à 12 :00	23-05-2013 à 9 :00	23-05-2013 à 12 :00	26-05-2013 à 9 :00	26-05-2013 à 12 :00	27-05-2013 à 9:00	27-05-2013 à 12 :00	28-05-2013 à 9 :00

➤ **Température** : la figure suivante représente la variation de la température en fonction du temps.

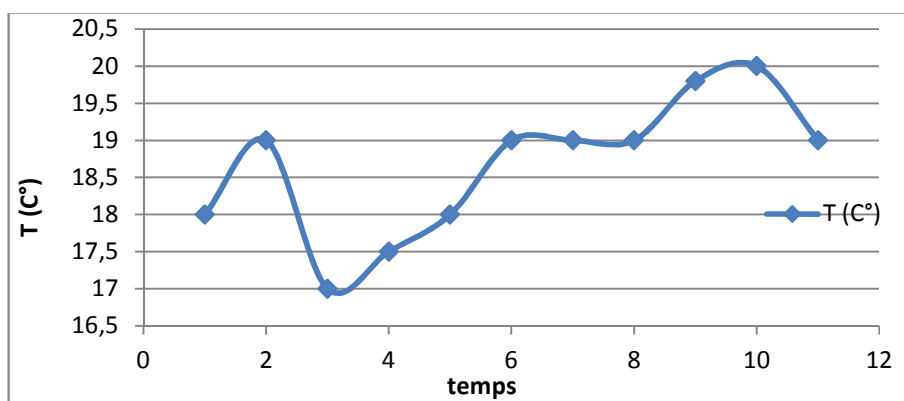


Figure IV.58. Courbe de variation de la température en fonction du temps.

D'après la figure précédente, nous avons observé une variation de la température dans le décanteur, mais elle toujours (<30°C).

➤ **pH**: la figure suivante représente la variation du pH en fonction du temps.

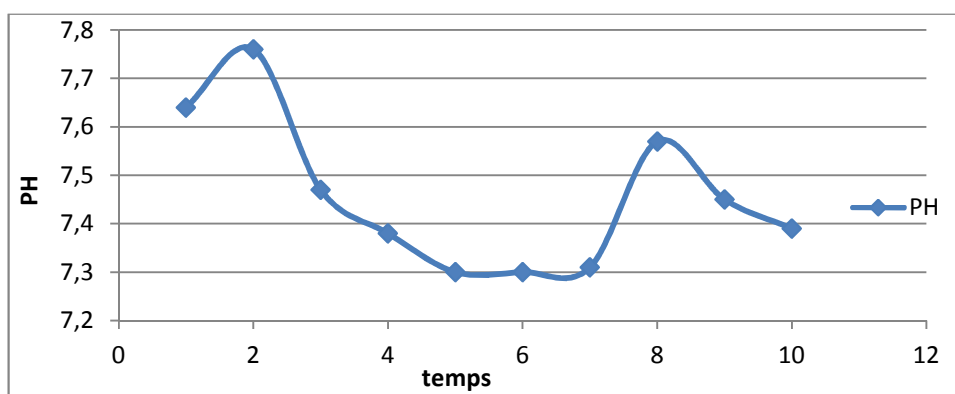


Figure IV.59 : Courbe de variation du pH en fonction du temps.

Le pH de l'eau brute est de 7,71; d'après la figure, et au cours de traitement on constat une diminution à 7,30, après on observe une petite augmentation à 7,56 et ensuite il diminue à 7,40, il reste toujours conforme aux normes ($<8,50$), le pH est resté légèrement basique tout long de l'expérience.

- **turbidité:** la figure suivante représente la variation de la turbidité en fonction du temps.

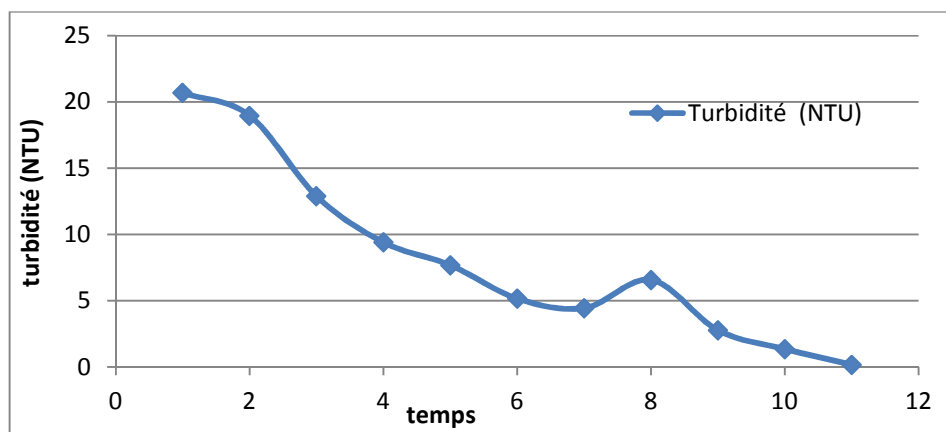


Figure IV.60. Courbe de variation la turbidité en fonction du temps.

Selon la courbe dans la figure IV.60, nous observons une chute très importante de la concentration de la turbidité jusqu'à la 7^{ème} prélèvement après on remarque léger e pic, ce pic peut être du à un détachement de la biomasse fixée sur le lit; en suite elle diminue jusqu'à 0,165. Cette diminution est due à la dégradation de la matière organique.

- **O₂ dissous :** la figure suivante représente la variation d'O₂ dissous en fonction du temps.

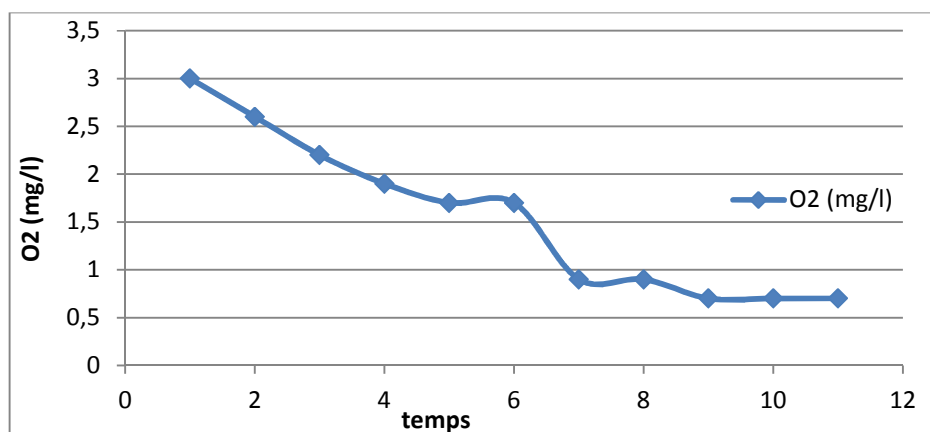


Figure IV.61. Courbe de variation de l'O₂ dissous (mg/l) en fonction du temps.

La concentration de l'oxygène dissous dans l'eau usée était de 3,70 mg/l; d'après la courbe de la figure IV.61 et après l'épuration, il diminue après décantation et reste stable à 0,7 mg/l,

donc il y'a une activation bactérien au niveau du lit bactérien qui réduit l'oxygène dissous dans l'eau.

➤ **MES** : la figure suivante représente la variation des MES en fonction du temps.

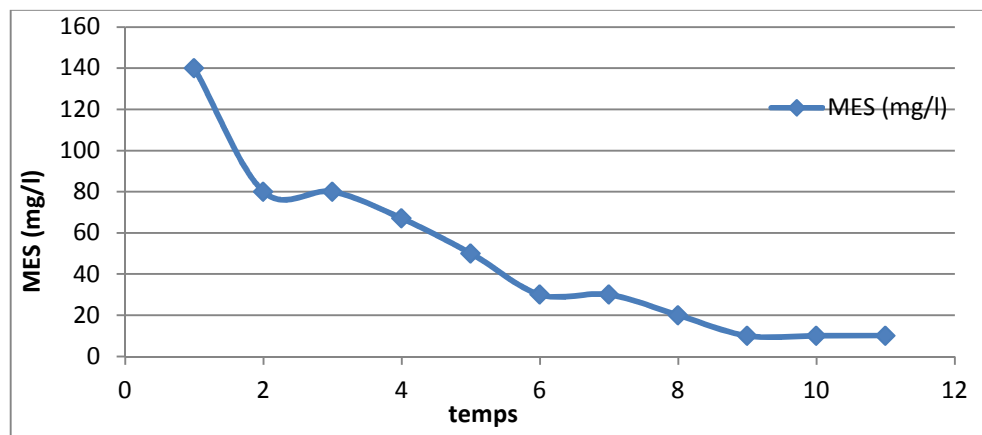


Figure IV.62. Courbe de variation des MES en fonction du temps.

La valeur des MES dans l'eau brute est de 460 mg/l, et après la figure précédente, nous avons remarqué qu'il y a une diminution très importante de MES pendant les jours de l'épuration à 10 mg/l. avec une élimination de 97,82%. Donc on peut dire que l'épuration avec le lit bactérien contribue efficacement dans l'élimination de ce paramètre.

➤ **MO**: la figure suivante représente la variation des MO en fonction du temps

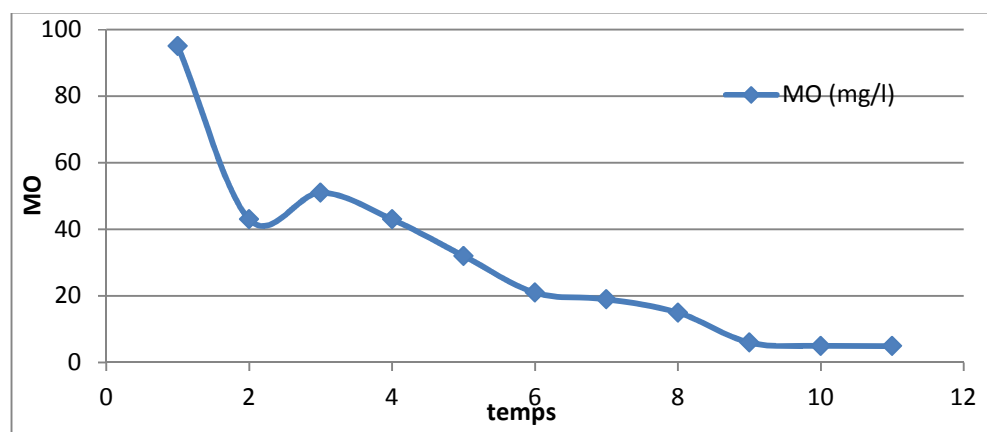


Figure IV.63. Courbe de variation de la MO en fonction du temps.

La valeur de la MO dans l'eau brute est de 337 mg/l, et après la figure précédente, nous avons remarqué qu'il y a une diminution très importante de MO pendant les jours de l'épuration à 5 mg/l. avec une élimination de 98,51%. Donc on peut dire que l'épuration avec le lit bactérien contribue efficacement dans l'élimination de ce paramètre.

➤ **MM**: la figure suivante représente la variation des MM en fonction du temps.

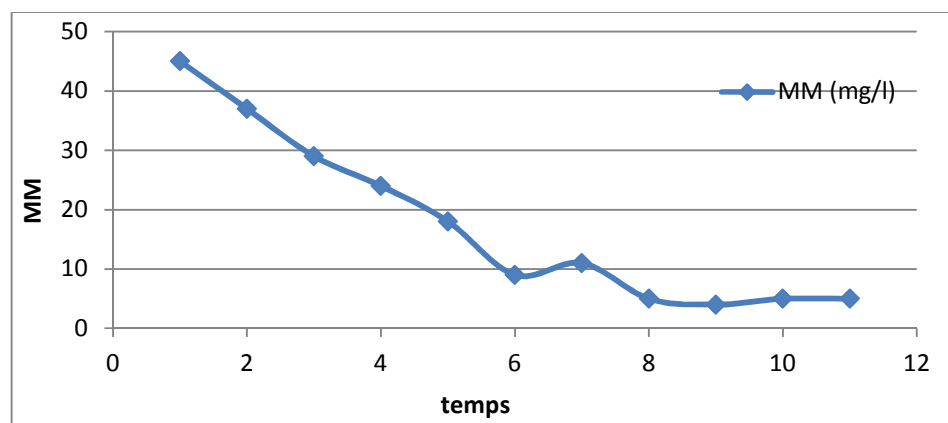


Figure IV.64. Courbe de variation de la MM en fonction du temps

La valeur de la MM dans l'eau brute est de 87mg/l, et après la figure précédente, nous avons remarqué qu'il y a une diminution très importante de MM pendant les jours de l'épuration à 5 mg/l; avec une élimination de 94,25%. Mais le lit bactérien n'a aucun rôle en principe dans l'élimination de ce paramètre.

➤ **DCO:** la figure suivante représente la variation des DCO en fonction du temps.

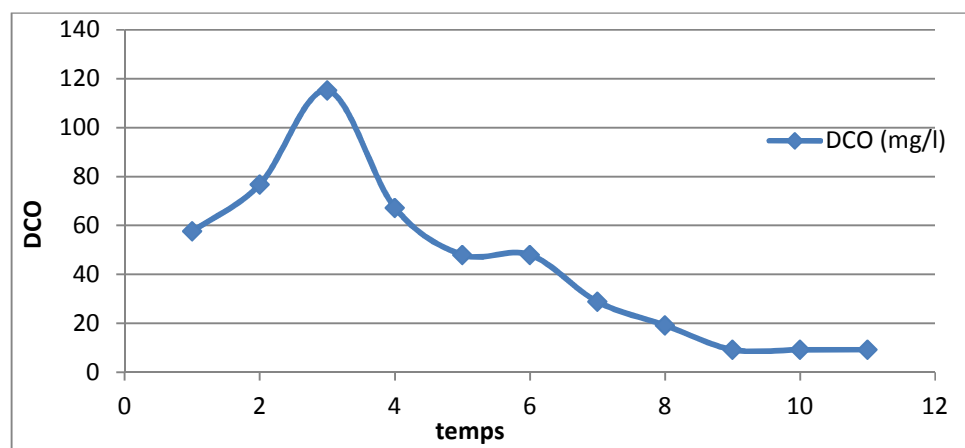


Figure IV.65. Courbe de variation de la DCO en fonction du temps

La DCO d'eau usée brute est de 153,6 mg/l, d'après la figure IV.65, nous avons observé qu'il y a une augmentation au 3^{ème} prélèvement à la valeur 115,2mg/l qui peut être expliquée par un détachement de la biomasse du lit ou un dysfonctionnement du pilote, après ce pic il y a eu une chute considérable de la DCO (9,2mg/l), donc une grande concentration a été éliminée par ce procédé car il y a une activation bactérienne très importante dans le lit bactérien ; avec une élimination de 94,01%.

IV.4. Lit bactérien (25/40mm) sur une hauteur 40 cm

Dans cette partie on va étudier une épuration sur une granulométrie de pouzzolane de l'ordre de 25 à 40 mm. Le matériau est fixé sur une cartouche en forment un lit bactérien de 40 cm de hauteur.

Notre but est de voir si cette granulométrie avec cette hauteur améliorer la qualité des eaux épurés et est ce qu'il y a une bonne influence sur les paramètres.

IV.4.1.Epuration avec un débit de 8 l/h:

L'expérience a été menée avec un débit d'alimentation de 8 l/h et un débit de recyclage des boues de 0,182 l/min. après stabilisation de la DCO, les résultat obtenus sont résumés dans le tableau IV.8 et représenté sur l'histogramme de la figure IV.66.

Tableau IV.8.Résultats d'analyse physico-chimique de l'eau.

Paramètre	L'eau brute	L'eau épurée
T (°C)	20	22
Ph	8,20	7,85
O ₂ dissout (mg/l)	3,8	0,9
O ₂ dissout (%)	43	18
Turbidité (NTU)	134,35	0,320
MES (mg/l)	220	10
MM (mg/l)	97	3
MO (mg/l)	123	7
DCO (mg/l)	220,8	28,8

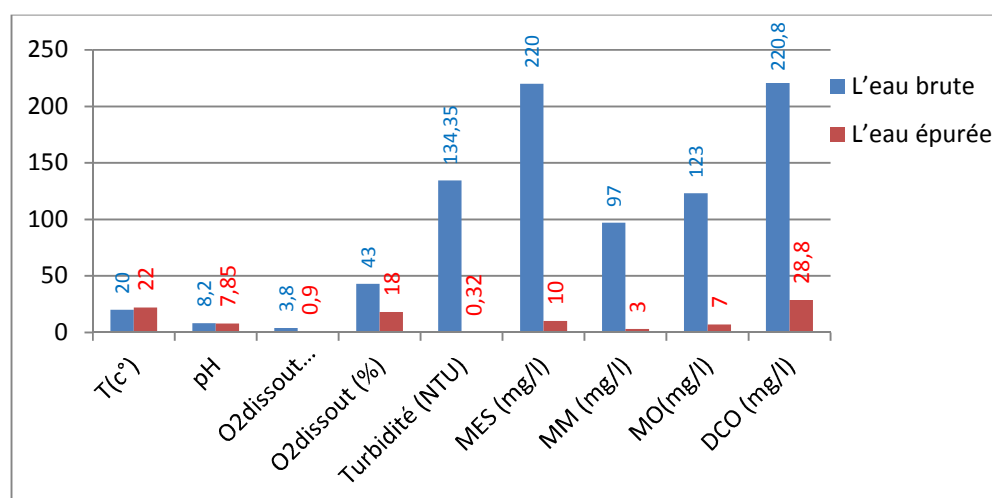


Figure IV.66. Histogramme de la variation de toutes les paramètres (l'entré et sortie).

- Les résultats obtenus au fil de l'expérience sont résumés dans l'annexe E1.
- Indice de Mohlman de boue est $IB = 125,104 \text{ ml/g}$ qui confirme que la boue décante bien.

Nous avons représenté dans les figures (IV.67 à IV.74) la variation des différents paramètres mesurés en fonction du temps au niveau du décanteur. Il est à signaler que les abscisses de ces courbes (1,2,) correspondent aux moments des prélèvements définis au tableau qui suit:

abscisses	1	2	3	4	5	6
temps	29-05-2013 à 9 :00	29-05-2013 à 12 :00	30-05-2013 à 9 :00	2-06-2013 à 9 :00	3-06-2013 à 9 :00	3-06-2013 à 12 :00

- **La température** : la figure suivante représente la variation de la température en fonction du temps.

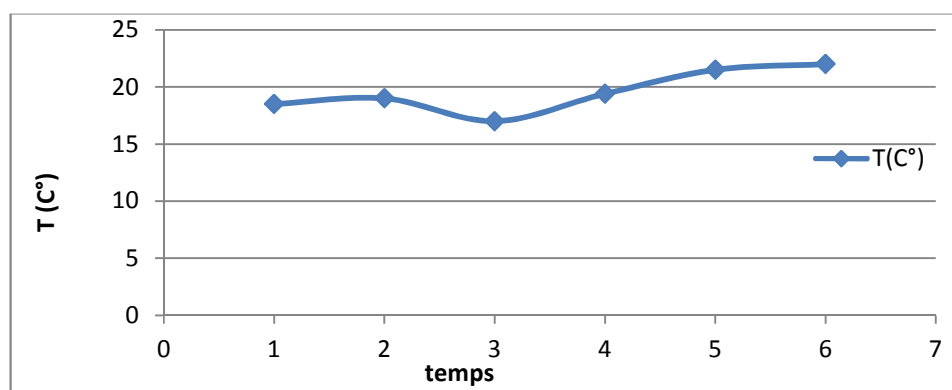


Figure IV.67. Courbe de la variation de la température.

Après l'analyse de l'échantillon, on remarque que les valeurs de la température de l'épuré varient entre 17 à 22°C. la température de l'eau est largement inférieure à 30°C.

- **pH** : la figure suivante représente la variation du PH en fonction du temps.

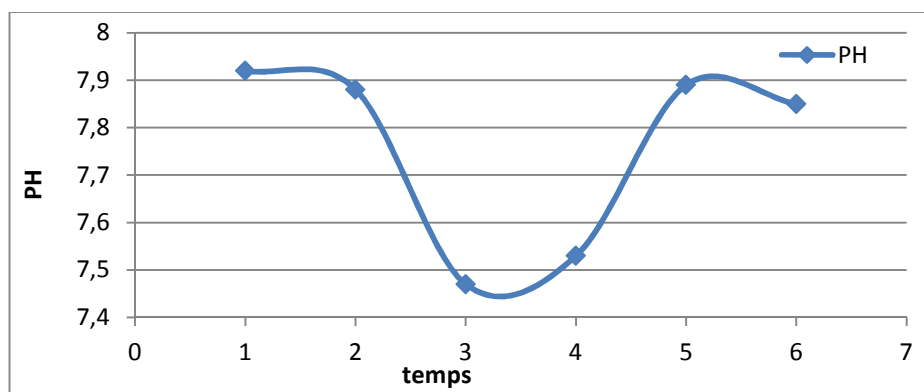


Figure IV.68. Courbe de la variation du pH.

De la figure IV.68 ; nous constatons une variation du pH lors du traitement cette variation reste toujours dans le gamma du légèrement basique (entre 7,47 et 7,90); qui reste dans la plage recommandée entre 6,5 à 8,5.

- **Turbidité** : la figure suivante représente la variation de la turbidité en fonction du temps.

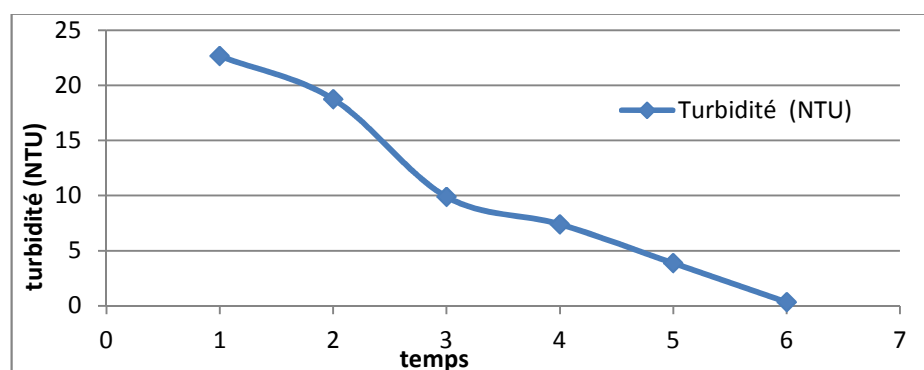


Figure IV.69. Courbe de variation de la turbidité.

La valeur de la turbidité dans l'eau brute était de 134,35 NTU, d'après la figure IV.69, cette valeur est diminuée après à la fin de l'expérience à 0,320 NTU, soit une diminution de 99,76%. Donc la biofiltration sur la pouzzolane influe sur ce paramètre.

- **O₂ dissous** : la figure suivante représente la variation d'O₂ dissous en fonction du temps.

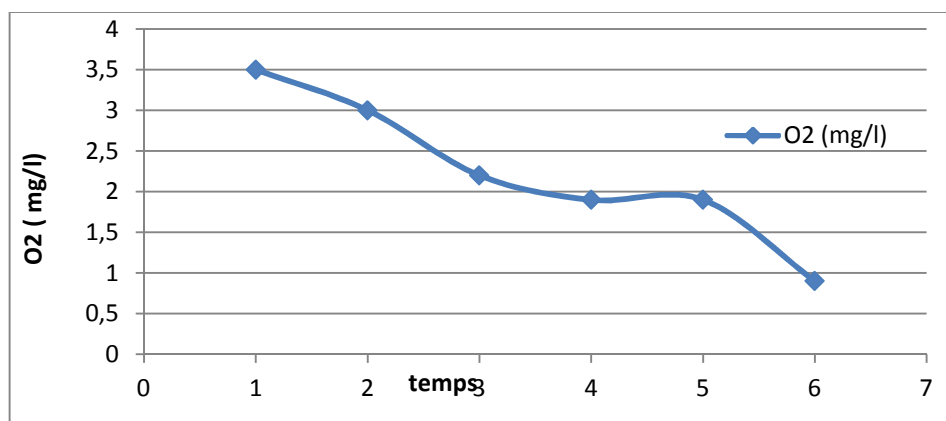


Figure IV.70. Courbe de variation d'O₂ dissous (mg/l).

L'examen des résultats obtenus Figure IV.70 montre que la teneur de l'O₂ dissous arrive à 0,9 mg/l à la fin de l'expérience alors elle était de 3,8 mg/g dans l'eau ce qui affirme le degré important de l'activité bactérienne au passage dans le lit.

➤ **MES:** la figure suivante représente la variation des MES en fonction du temps.

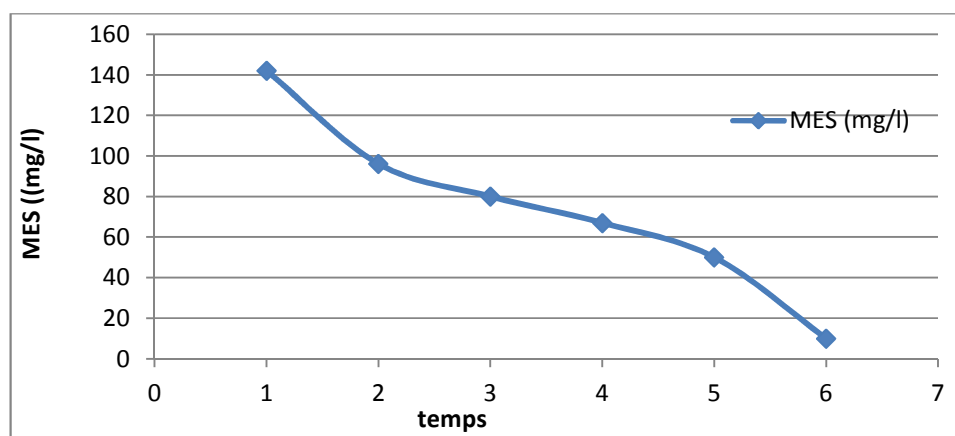


Figure IV.71. Courbe de la variation des MES.

L'examen de la figure IV.71 montre qu'une quantité importante des MES dans l'eau a été éliminée; elle était de 140 mg/l dans l'eau brute et réduite à 10 mg/l après l'épuration. Donc le lit bactérien permet d'éliminer 92,86% de MES. On peut dire que le procédé contribue efficacement à la réduction des MES de l'eau.

➤ **MM:** la figure suivante représente la variation de la MM en fonction du temps.

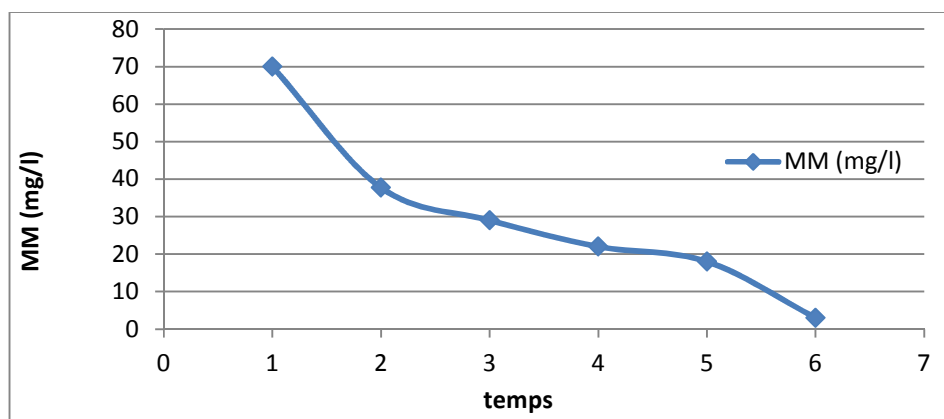


Figure IV.72. Courbe de la variation de la MM.

D'après les résultats obtenus des MM dans la figure IV.72, nous avons observé qu'une grande quantité de MM a été éliminée, de 70 mg/l dans l'eau brute à 3 mg/l après l'épuration. Donc le procédé permet d'éliminer 96,90% de MM. Cette élimination est due à un phénomène physique et non pas biologique.

➤ **MO:** la figure suivante représente la variation de la MO en fonction du temps.

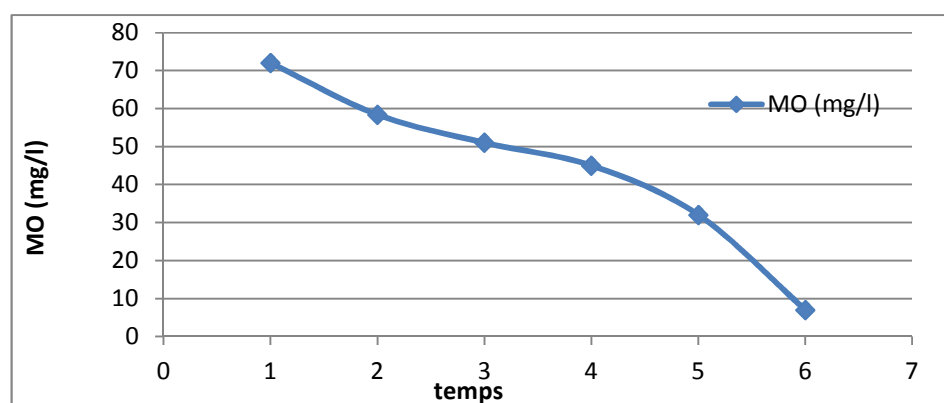


Figure IV.73. Courbe de variation de la MO.

D'après les résultats obtenus des MO dans la figure IV.73, nous avons observé une grande quantité de matière organique "MO" a été éliminée, de 70 mg/l dans l'eau brute à 7 mg/l après l'épuration. Donc le lit bactérien permet d'éliminer 94,30%. On peut confirmer que le lit bactérien contribue efficacement à la dégradation de cette dernière.

➤ **DCO:** la figure suivante représente la variation de la DCO en fonction du temps.

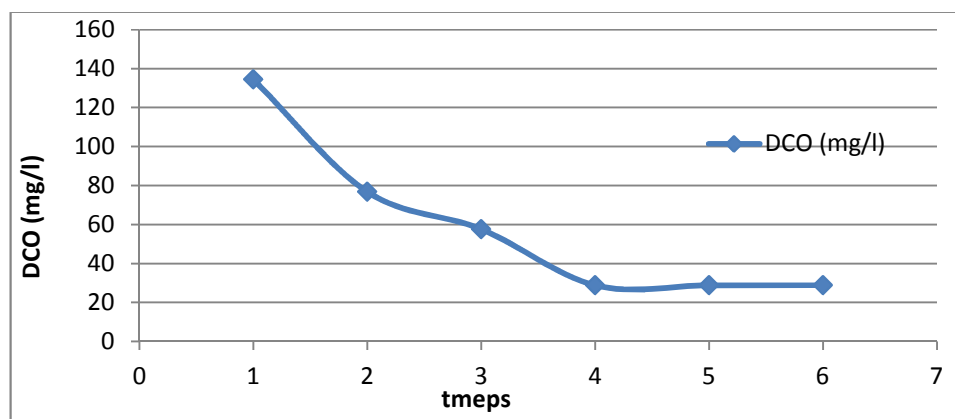


Figure IV.74. Courbe de variation de la DCO.

Selon les résultats obtenus (Figure IV.74), il en résulte que les valeurs de la DCO de l'eau, diminue de 134,4 et 28,8 mg/l au fil de l'expérience, qui s'explique par l'accroissement de l'activité bactérienne dans le lit bactérienne dans le temps. À terme de l'expérience la DCO de l'eau brute (220,8mg/l) a été réduite à 28,8 mg/l soit une élimination de 86,95%.

IV.4.2. Epuration avec un débit de 16 l/h:

L'expérience a été menée avec un débit d'alimentation de 16 l/h et un débit de recyclage des boues de 0,440 l/min. après stabilisation de la DCO, les résultats obtenus sont résumés dans le tableau IV.9 et représenté sur l'histogramme de la figure IV.75.

Tableau IV.9. Résultats d'analyse physico-chimique de l'eau.

Paramètre	L'eau brute	L'eau épurée
T (°C)	20	21,1
pH	8,20	7,33
O ₂ dissout (mg/l)	3,8	0,7
O ₂ dissout (%)	43	15
Turbidité (NTU)	143,35	0,80
MES (mg/l)	220	10
MM (mg/l)	97	6
MO (mg/l)	123	4
DCO (mg/l)	220,8	28,8

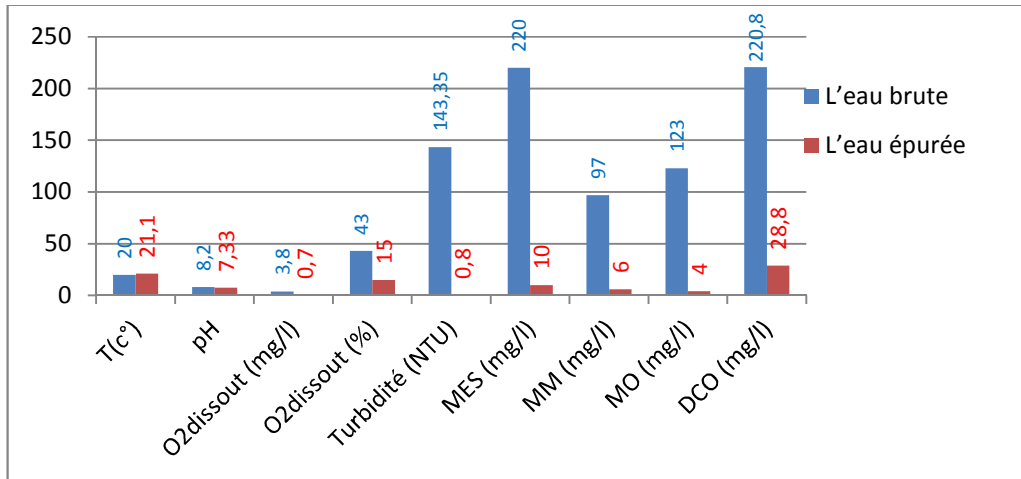


Figure IV.75. Histogramme de la variation de toutes les paramètres (l'entrée et sortie).

- Les résultats obtenus au fil de l'expérience sont résumés dans l'annexe E2.
- Indice de Mohlman de boue est $IB = 95,104 \text{ ml/g}$ qui confirme que la boue décante bien.

Nous avons représenté dans les figures (IV.76 à IV.83) la variation des différents paramètres mesurés en fonction du temps au niveau du décanteur. Il est à signaler que les abscisses de ces courbes (1,2,) correspondent aux moments des prélèvements définis au tableau qui suit:

abscisses	1	2	3	4	5	6	7
temps	4-06-2013 à 9 :00	4-06-2013 à 12 :00	5-06-2013 à 9 :00	5-06-2013 à 12 :00	6-06-2013 à 9 :00	6-06-2013 à 12 :00	9-06-2013 à 9 :00

- **La température :** la figure suivante représente la variation de la température en fonction du temps.

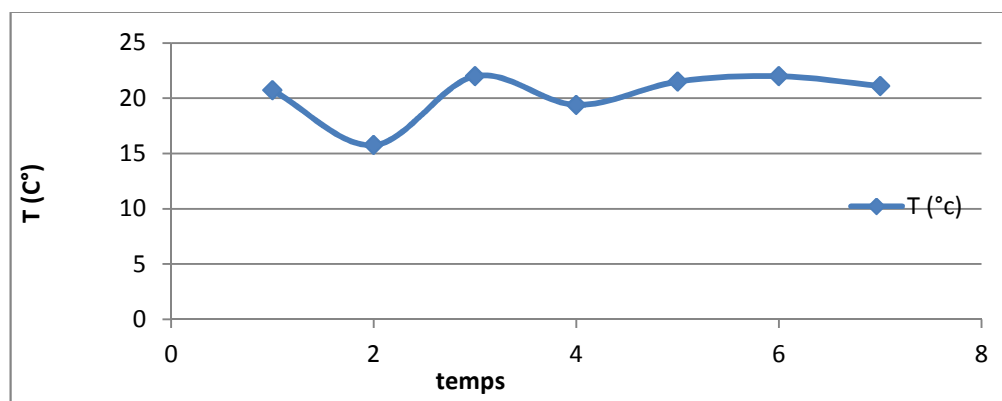


Figure IV.76. Courbe de la variation de la température en fonction du temps.

Selon les résultats présentés sur la figure IV.76, on remarque clairement une variation de la température dans l'eau épuré comprise entre 15,70 à 22 °C. Cette variation est due au contact eau-air dans le décanteur, mais demeure dans les normes.

➤ **pH** : la figure suivante représente la variation du pH en fonction du temps

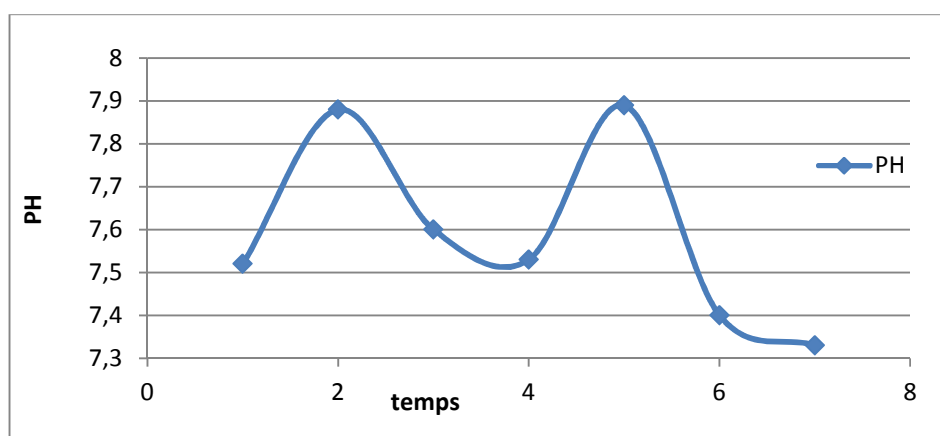


Figure IV.77. Courbe de la variation du pH en fonction du temps.

Selon les résultats indiqués dans la figure IV.77, les valeurs du pH dans l'eau épuré varient de 7,33 à 7,89 reste au long de manipulation basique. Cette variation est due au contact de la suspension avec la colonne de la pouzzolane.

➤ **turbidité**: la figure suivante représente la variation de la turbidité en fonction du temps.

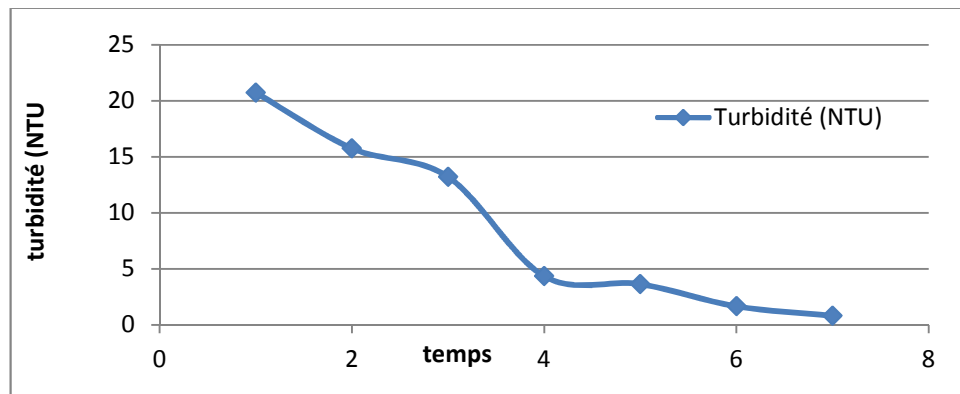


Figure IV.78. Courbe de la variation de la turbidité en fonction du temps.

D'après la courbe de la turbidité (figure IV.78), nous avons remarqué que la valeur de la turbidité est de 143,35 NTU à l'entrée, une diminution remarquable a été constatée à la fin de l'expérience 0,80 NTU à la sortie. Une contribution efficace du procédé sur turbidité est à signaler.

- **O₂ dissous:** la figure suivante représente la variation de l'O₂ dissous en fonction du temps.

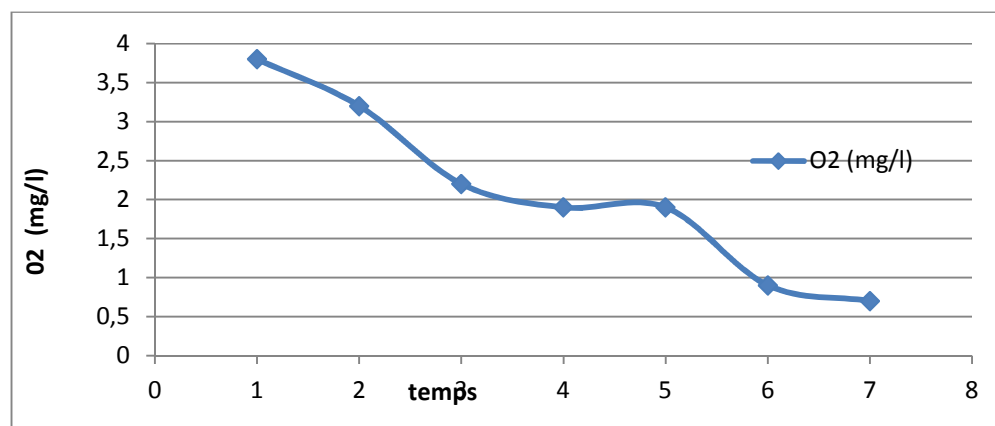


Figure IV.79. Courbe de la variation de l'O₂ dissous en fonction du temps.

Selon les résultats indiqués sur la figure IV.79, on observe une chute importante de la teneur de l'O₂ dissous. Cette fluctuation signifie l'existence importante de l'activité bactérienne dans le lit, et sa diminution (de 3.8 à 0.7mg/l) et sa consommation par les bactéries épuratrices.

- **MES:** la figure suivante représente la variation de MES en fonction du temps.

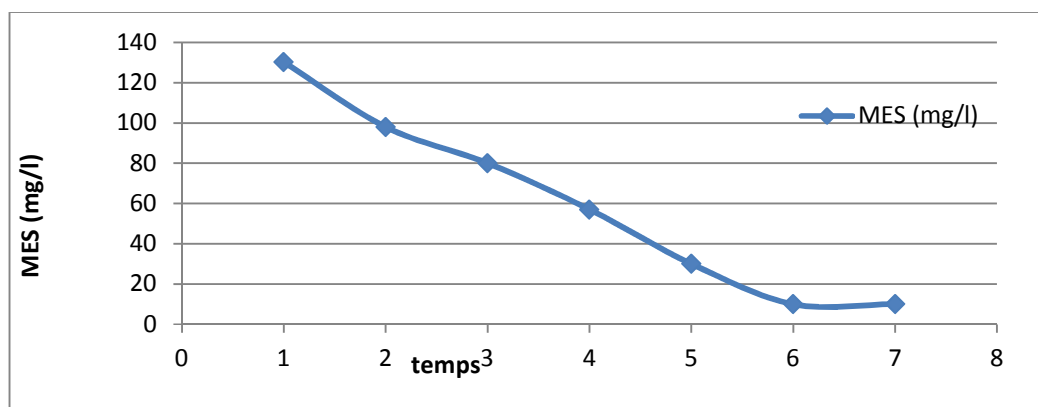


Figure IV.80. Courbe de la variation des MES en fonction du temps.

D'après la figure IV.80, nous apercevons une décroissance de la teneur des matières en suspension dans l'eau épuré jusqu'à 10mg/l; alors dans l'eau brute elles étaient de 220 mg/l. Ces résultats mis en évidence l'efficacité de ce procédé dans la réduction les MES. Le rendement d'élimination des matières en suspension est de 95,54%.

➤ **MM:** la figure suivante représente la variation de MM en fonction du temps.

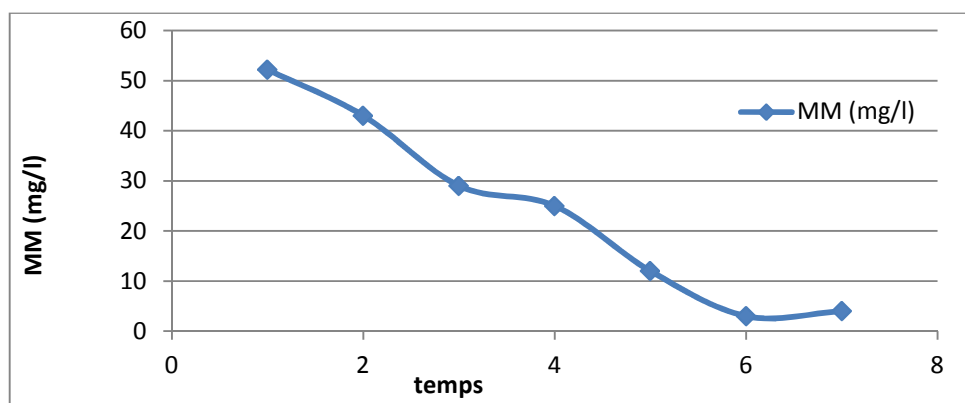


Figure IV.81. Courbe de la variation de la MM en fonction du temps.

Selon les résultats indiqués sur la figure IV.81, on remarque nettement une diminution des matières minérales par rapport au temps des prélèvements. En eau brute elles étaient de 97 mg/l puis à la fin de l'expérience elles sont réduites à 6 mg/l dans le décanteur. On constate que le procédé d'épuration éliminé une grande quantité des MM, donc ce procédé est contribue efficacement pour l'élimination des MO. Le rendement d'élimination des matières en suspension est de 93,81%.

➤ **MO:** la figure suivante représente la variation de MO en fonction du temps.

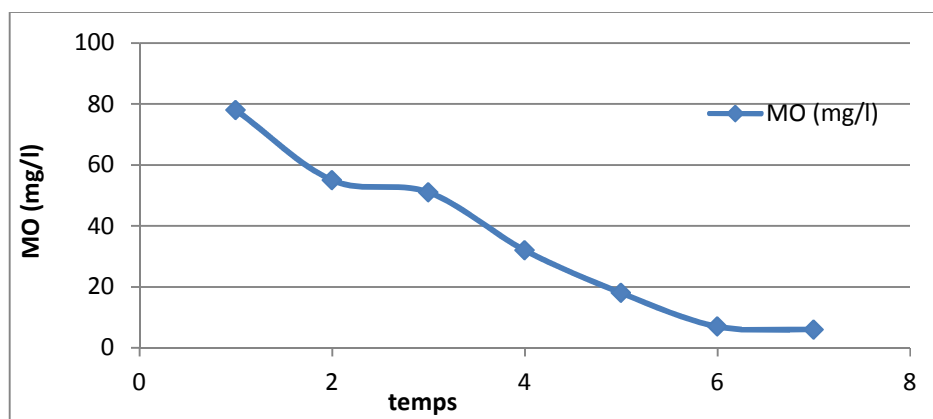


Figure IV.82. Courbe de la variation de la MO en fonction du temps.

D'après la figure IV.82, on aperçoit une diminution de la valeur des matières organique dans le temps des prélèvements. Dans l'eau brute 123 mg/l de MO ou elle réduite à 4 mg/l dans le décanteur. On constate que le procédé d'épuration élimine une grande quantité des MO, donc ce procédé contribue efficacement dans l'élimination des MO. Le rendement d'élimination des matières en suspension est de 96,74%.

➤ **DCO:** la figure suivante représente la variation de DCO en fonction du temps.

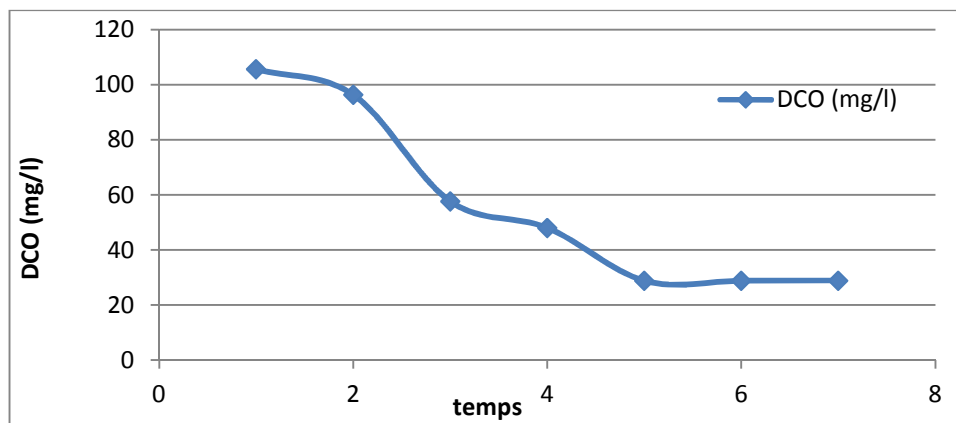


Figure IV.83. Courbe de la variation de la DCO en fonction du temps.

D'après la figure IV.83, il en résulte que les valeurs de la DCO de l'eau, diminue de 105,6 et 28,8 mg/l au fil de l'expérience, qui s'explique par l'accroissement de l'activité bactérienne dans le lit bactérienne dans le temps. à terme de l'expérience la DCO de l'eau brute (220,8mg/l) a été réduite à 28,8 mg/l après épuration soit une élimination de 86,95%.

IV.4.3. Epuration avec un débit de 20l/h:

L'expérience a été menée avec un débit d'alimentation de 20 l/h et un débit de recyclage des boues de 0,650 l/min. Après stabilisation de la DCO, les résultats obtenus sont résumés dans le tableau IV.10 et représenté sur l'histogramme de la figure IV.84.

Tableau IV.10. Résultats d'analyse physico-chimique de l'eau.

Paramètre	L'eau brute	L'eau épurée
T (°C)	20	20
pH	8,20	7,10
O ₂ dissout (mg/l)	3,8	0,7
O ₂ dissout (%)	43	10
Turbidité (NTU)	143,35	0,89
MES (mg/l)	220	10
MM (mg/l)	97	6
MO (mg/l)	123	4
DCO (mg/l)	220,8	19,2

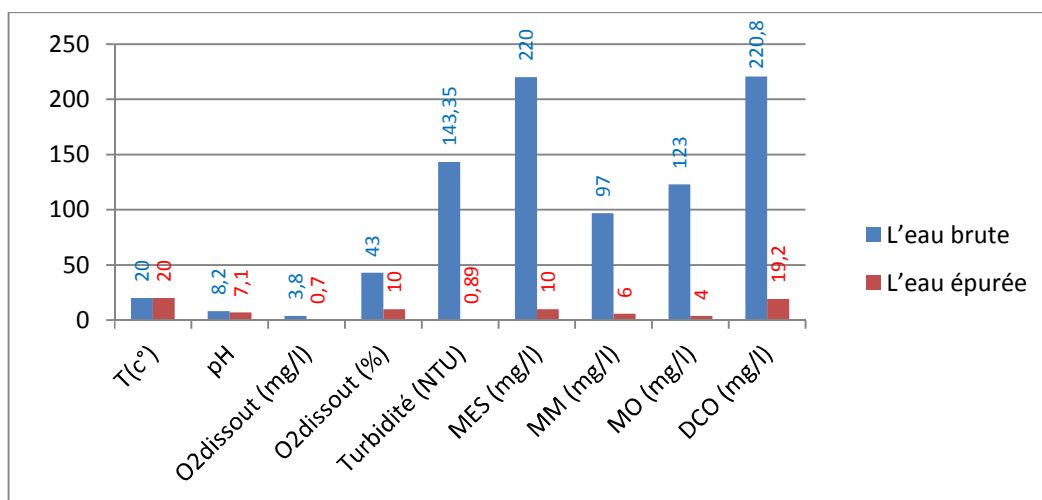


Figure IV.84. Histogramme de la variation de toutes les paramètres (l'entrée et sortie).

- Les résultats obtenus au fil de l'expérience sont résumés dans l'annexe E3.
- Indice de Mohlman de boue est $IB = 95,104 \text{ ml/g}$ qui confirme que la boue décante bien.

Nous avons représenté dans les figures (IV.85 à IV.92) la variation des différents paramètres mesurés en fonction du temps au niveau du décanteur. Il est à signaler que les abscisses de ces courbes (1,2, ...) correspondent aux moments des prélèvements définis au tableau qui suit:

abscisses	1	2	3	4	5	6	7
temps	10-06-2013 à 9 :00	10-06-2013 à 12 :00	11-06-2013 à 9 :00	11-06-2013 à 12 :00	12-06-2013 à 9 :00	12-06-2013 à 12 :00	13-06-2013 à 9 :00

- **La température :** la figure suivante représente la variation de la température en fonction du temps.

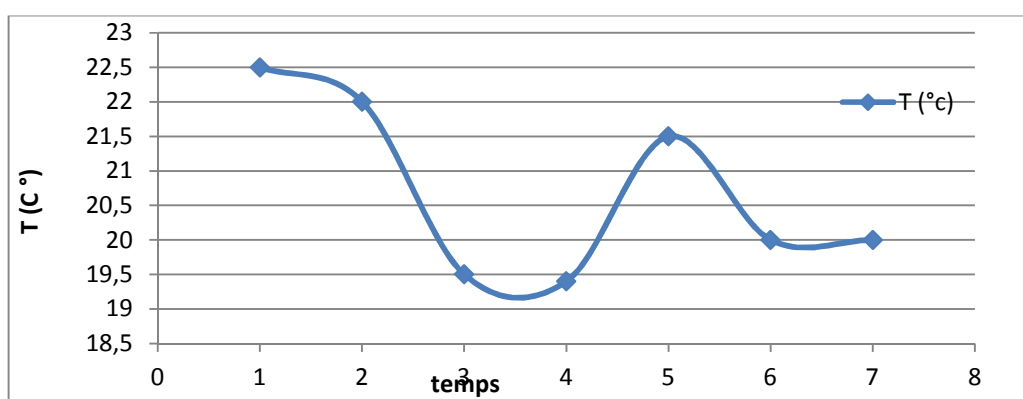


Figure IV.85. Courbe de la variation de la température.

Le teste de la température montre qu'on a une faible variation de cette dernière (entre 19,4 à 22,5 °C). La température de l'eau est largement inférieure à la limite recommandée pour l'eau usée (<30 °C).

- **pH :** la figure suivante représente la variation du pH en fonction du temps.

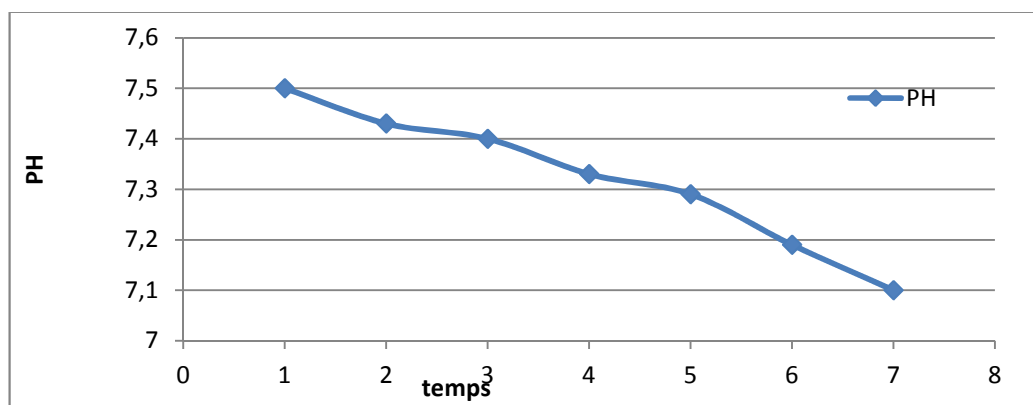


Figure IV.86. Courbe de la variation du pH.

A partir de la figure IV.86, on constate que les valeurs du pH des eaux épurées sont proches de la neutralité. Elles varient de 7,10 à 7,5. Les valeurs du pH (entre 7,1 et 7,5) dans cette expérience sont très proches de la norme.

➤ **turbidité:** la figure suivante représente la variation de la turbidité en fonction du temps.

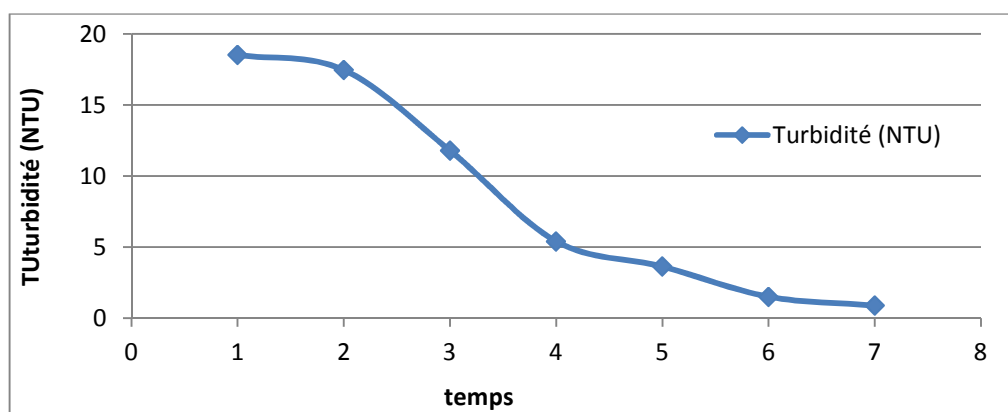


Figure IV.87. Courbe de la variation de la turbidité.

Selon la figure IV.87, on remarque qu'il y'a diminution importante de la turbidité entre l'entrée et la sortie de l'eau usées située; de 18,35 NTU et 0,89. Le procédé élimine 97,38% de la turbidité de l'eau.

➤ **O₂ dissous:** la figure suivante représente la variation de l'O₂ dissous en fonction du temps.

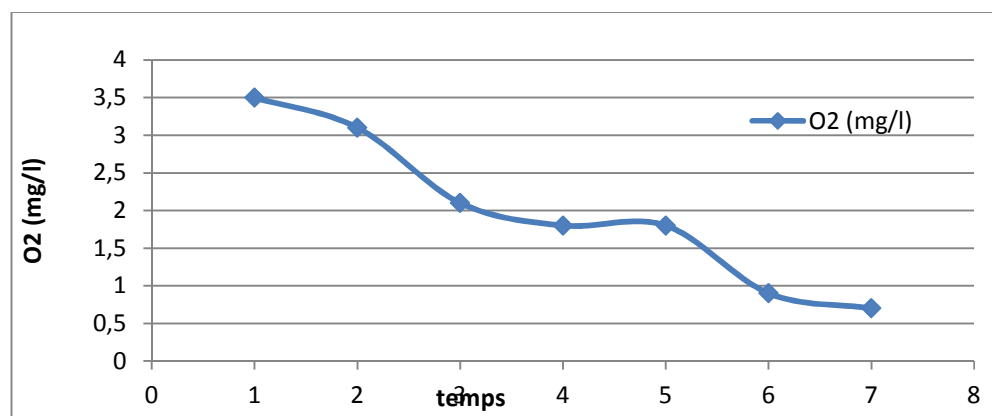


Figure IV.88. Courbe de la variation de l'O₂ dissous.

D'après la figure IV.88, on remarque une chute importante de la teneur en oxygène dissous de l'eau épurée; elle varie entre 3,8 mg/l et 0,7 mg/l. l'Oxygène est diminué au décanteur à cause de l'augmentation des bactéries dans le lit bactériens.

➤ **MES:** la figure suivante représente la variation de MES en fonction du temps

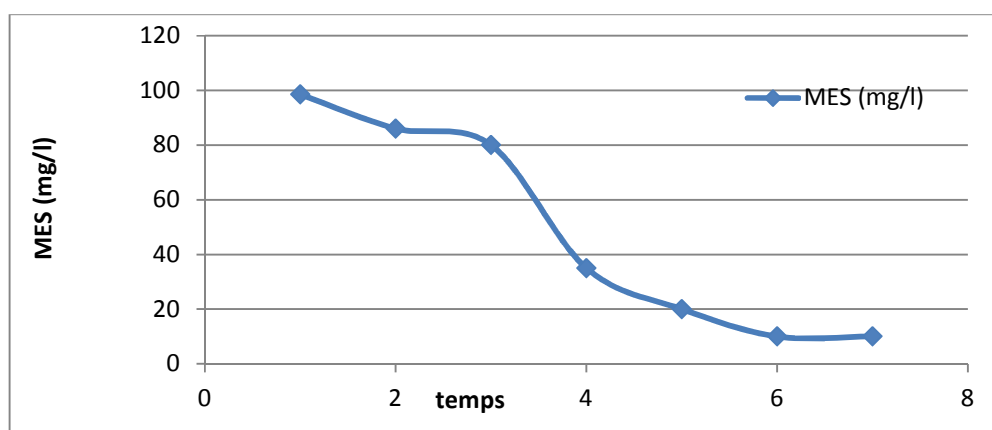


Figure IV.89. Courbe de la variation des MES.

D'après la figure IV.89, la concentration en matières en suspension varie de 98,5 mg/l à 10 mg/l dans le décanteur au cours de l'expérience. A terme de l'expérience le procédé les a réduit de 95,45%.

➤ **MM:** la figure suivante représente la variation de MM en fonction du temps.

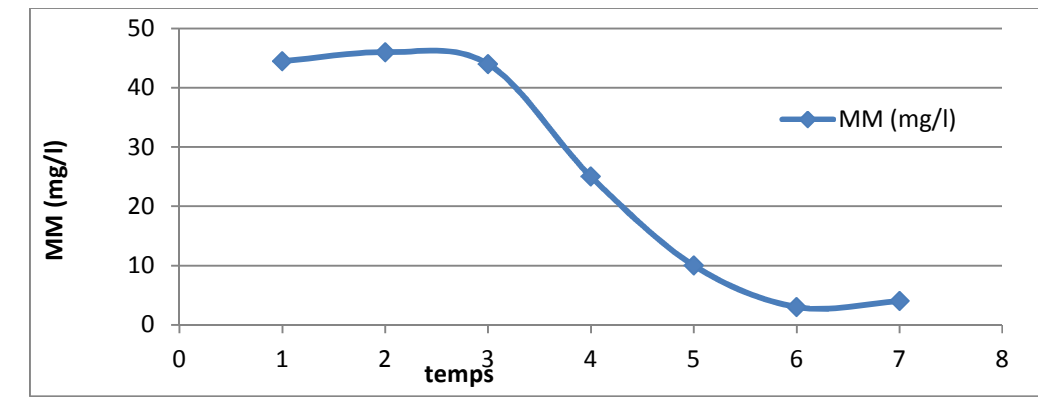


Figure IV.90. Courbe de la variation de la MM.

La valeur de la matière organique de l'eau brute est de 97 mg/l ; d'après Figure IV.90 et après épuration cette valeur est diminuée et stabilisé à 6 mg/l (toujours par un procédé physique)

➤ **MO:** la figure suivante représente la variation de MO en fonction du temps.

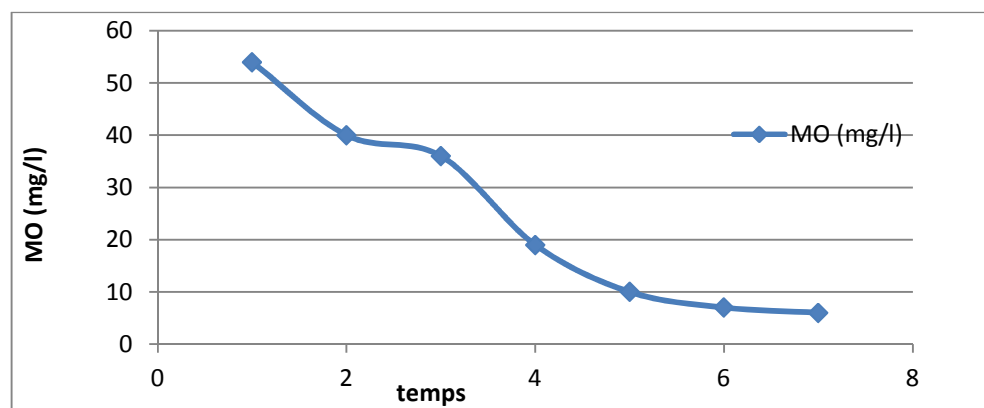


Figure IV.91. Courbe de la variation de la MO.

La valeur de la matière organique de l'eau brute est de 123 mg/l, et l'analyse de la figure IV.91 ; après l'épuration cette valeur est diminuée s'est stabilisée à 4 mg/l, donc le lit bactérien contribue efficacement dégradation des matières organiques.

➤ **DCO:** la figure suivante représente la variation de DCO en fonction du temps.

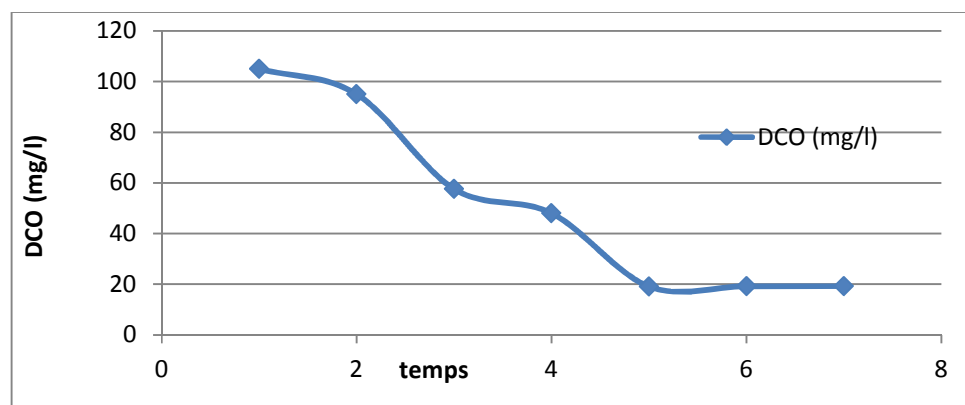


Figure IV.92. Courbe de la variation de la DCO.

La DCO de l'eau brute est de 220,8 mg/l ; d'après la figure IV.92, il y'a une diminution important; jusqu'à 19,2 mg/l pendant les jours de traitement, cette valeur conforme à la norme (<120 mg/l), donc on peut dire une grande concentration été éliminé par ce procédé, pour voir finalement un rendement d'élimination la DCO 91,30 %.

IV.5. Lit bactérien (25/40mm) sur une hauteur 80 cm:

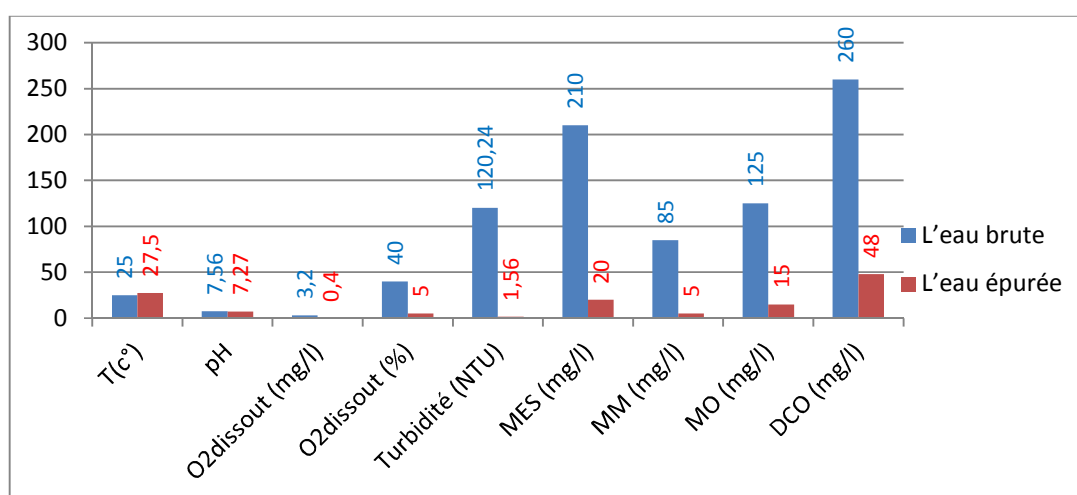
Dans cette partie nous allons étudier une épuration une granulométrie de garnissage (la pouzzolane) variant de 25 à 40 mm. Le matériau est fixé sur une cartouche en forment un lit bactérien de 80 cm de hauteur. Le but est de voir si cette hauteur améliore la qualité des eaux épurées et es ce qu'il y a une influence de la hauteur de lit bactérien sur la qualité finale de l'eau. Idem que pour les expériences précédentes le débit d'alimentation sera varié pour essayé d'en déterminé le débit optimale pour cette hauteur.

IV.5.1.Epuration avec un débit de 8 l/h:

L'expérience a été menée avec un débit d'alimentation de 8 l/h et un débit de recyclage des boues de 0,182 l/min. après stabilisation de la DCO, les résultat obtenus sont résumés dans le tableau IV.11 et représenté sur l'histogramme de la figure IV.93.

Tableau IV.11. Résultats d'analyse physico-chimique de l'eau.

Paramètre	L'eau brute	L'eau épurée
T (°C)	25	27,5
pH	7,56	7,27
O ₂ dissout (mg/l)	3,2	0,4
O ₂ dissout (%)	40	5
Turbidité (NTU)	120,24	1,56
MES (mg/l)	210	20
MM (mg/l)	85	5
MO (mg/l)	125	15
DCO (mg/l)	260	48

**Figure IV.93.** Histogramme de la variation de toutes les paramètres (l'entrée et sortie).

- Les résultats obtenus au fil de l'expérience sont résumés dans l'annexe F1.
- Indice de Mohlman de boue est $IB = 89,65$ ml/g qui confirme que la boue décante bien.

Nous avons représenté dans les figures (IV.94 à IV.101) la variation des différents paramètres mesurés en fonction du temps au niveau du décanteur. Il est à signaler que les abscisses de ces courbes (1,2, ...) correspondent aux moments des prélèvements définis au tableau qui suit:

abscisses	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
temps	16-06-2013 à 9 :00	16-06-2013 à 12 :00	17-06-2013 à 9 :00	17-06-2013 à 12 :00	18-06-2013 à 9 :00	18-06-2013 à 12 :00	19-06-2013 à 9 :00	19-06-2013 à 12 :00	20-06-2013 à 9 :00	20-06-2013 à 9:12:00

➤ **La température :** la figure suivante représente la variation de la température en fonction du temps.

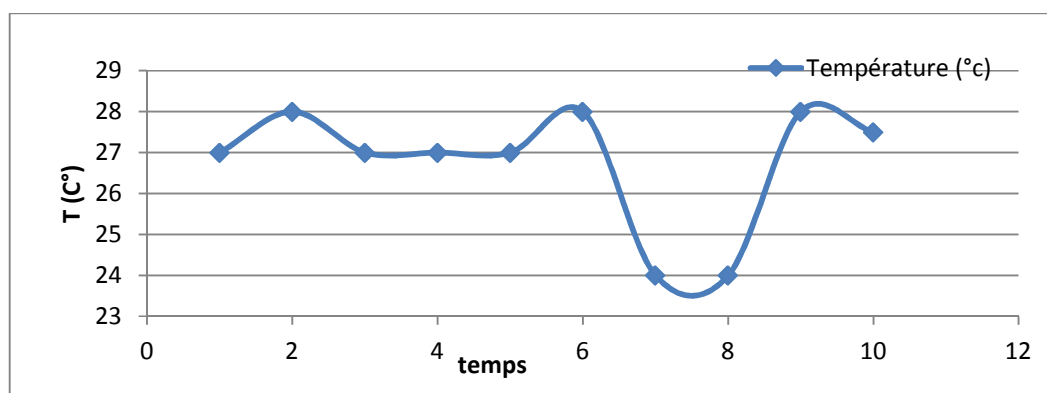


Figure IV.94. Courbe de la variation de la température.

Les résultats obtenus représentés dans figure IV.94 montre que la température de l'eau épurée varient de 24 à 28 °C, La température de l'eau est largement inférieure à 30°C. Cette variation est due au contact eau-air dans le décanteur.

➤ **pH :** La figure suivante représente la variation du pH en fonction du temps.

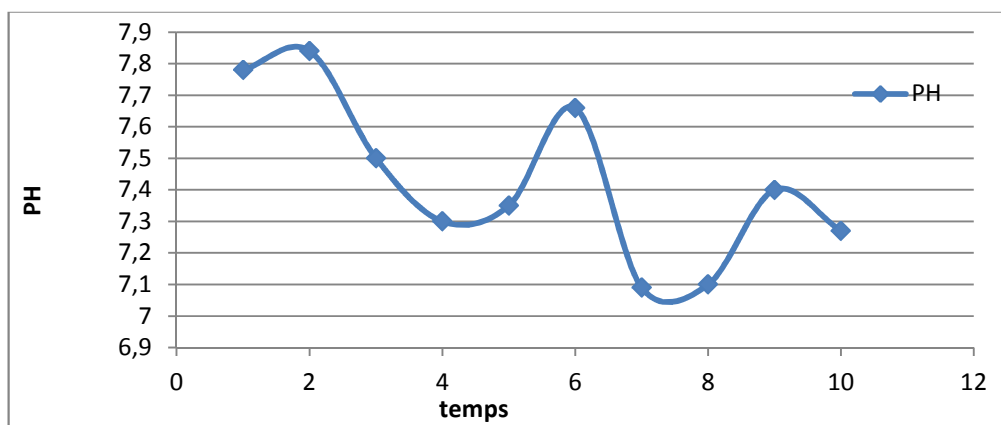


Figure IV.95. Courbe de la variation du pH.

D'après la figure IV.95 du pH, nous avons remarqué qu'il y'a une faible variation. Elles varient 7,84 à 7,09 (ces valeurs sont toujours conformes aux normes), la fluctuation des valeurs du pH est due au la contacte de la suspension avec la colonne de la pouzzolane.

- **Turbidité** : la figure suivante représente la variation de la turbidité en fonction du temps.

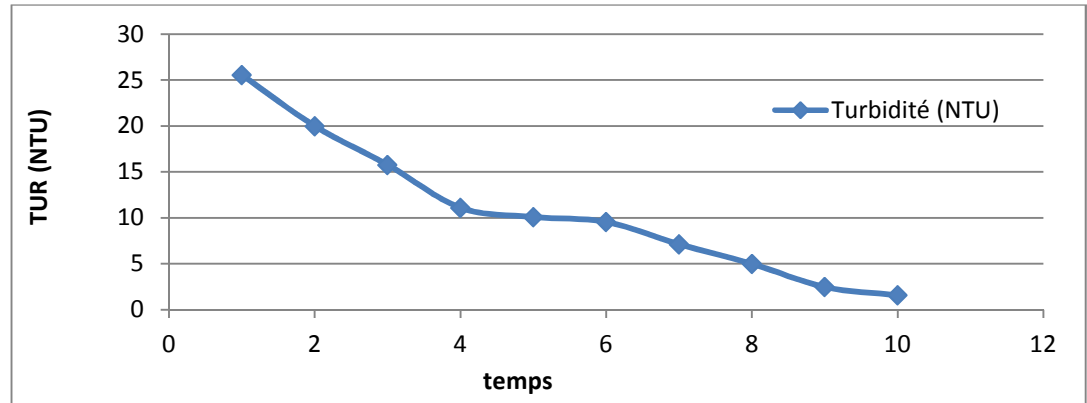


Figure IV.96. Courbe de la variation de la turbidité.

La turbidité de l'eau usée est de 120,24 NTU et selon la figure IV.96, cette dernière à été diminuée à 1,56 NTU à la fin de l'expérience. Cette diminution est due à la dégradation des matières organiques.

- **O₂ dissous** : La figure suivante représente la variation d'O₂ dissous en fonction du temps.

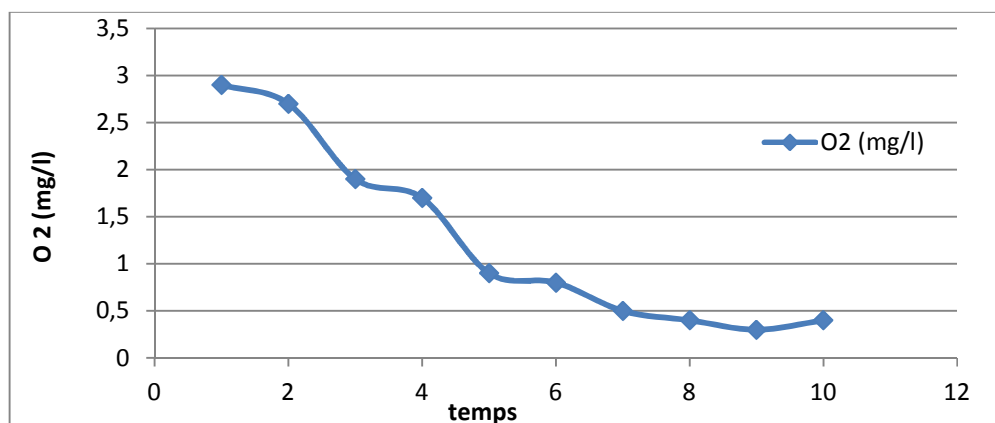


Figure IV.97. Courbe de la variation de l'O₂ dissous.

L'examen des résultats obtenus (Figure IV.97) montre que la concentration de l'O₂ dissous a été diminuée pour atteindre une valeur de 0,4 mg/l après l'épuration, alors à l'entrée il était de 3,2 mg/l, ce qui est s'expliqué par l'activité des bactéries au sien du lit bactérien.

➤ **MES:** La figure suivante représente la variation des MES en fonction du temps.

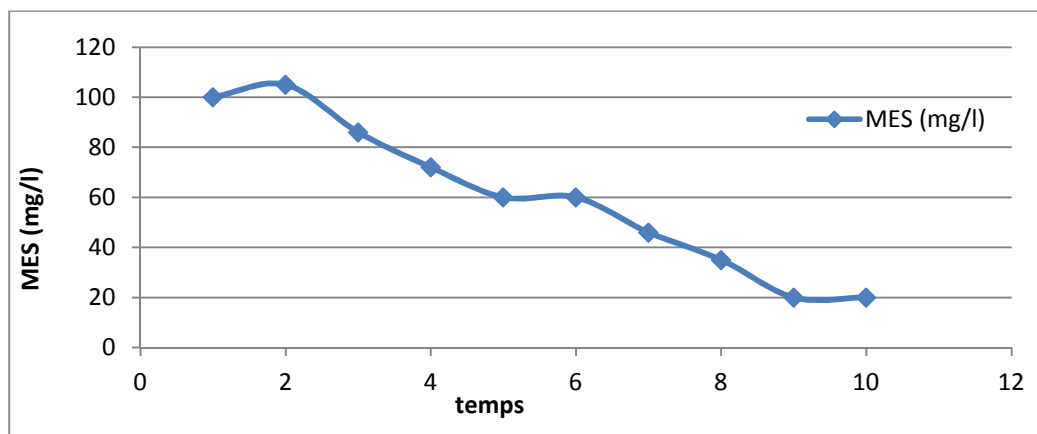


Figure IV.98. Courbe de la variation des MES.

La teneur en MES dans l'eau brute a été de 210mg/l et d'après la figure IV.98, il y'a une réduction importante des MES dans le décanteur (20 mg/l à la fin), soit une élimination de 90,47%. Une diminution de la teneur en MES suite une bonne épuration amputé à efficacité de la pouzzolane.

➤ **MM:** La figure suivante représente la variation de la MM en fonction du temps.

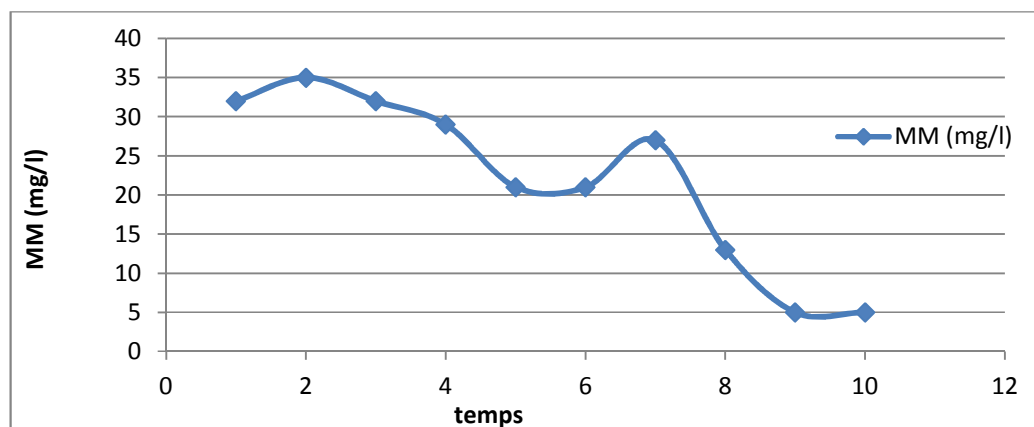


Figure IV.99. Courbe de la variation de la MM.

De la figure IV.99, on peut clairement voir la variation de la teneur en MM de l'eau qui est en constante diminution; elles varient de 35 à 5 mg/l au fil du temps dans le décanteur. Le

rendement d'élimination des MM est de 94,11%. Donc une grande concentration a été éliminée par ce procédé.

➤ **MO:** la figure suivante représente la variation de la MO en fonction du temps.

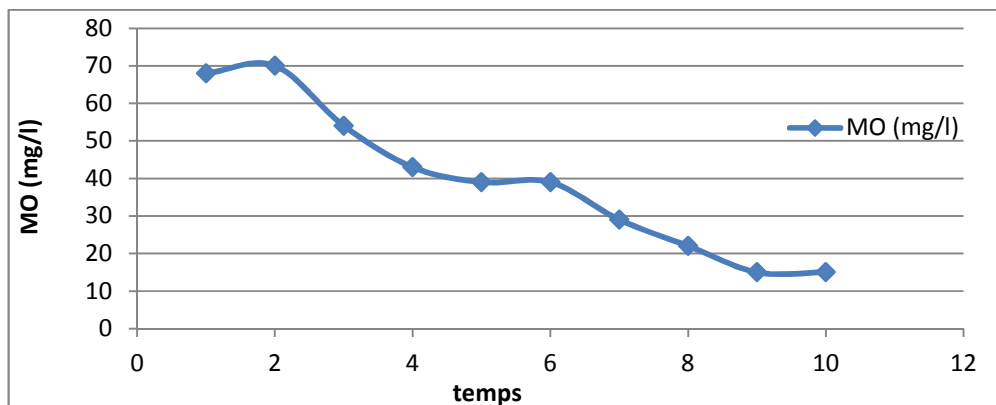


Figure IV.100. Courbe de la variation de la MO.

La figure IV.100 montre que la teneur en MO dans l'eau épurée est faible. Elle a varié de 70 à 15mg/l dans le décanteur du à l'accroissance de l'activité bactérienne dans le lit bactérien au cours de l'expérience. Ces résultats mis en évidence l'efficacité de l'épuration biologique par le matériau utilisé (la pouzzolane). Le rendement d'élimination de MO est de 88%.

➤ **DCO:** la figure suivante représente la variation de la DCO en fonction du temps.

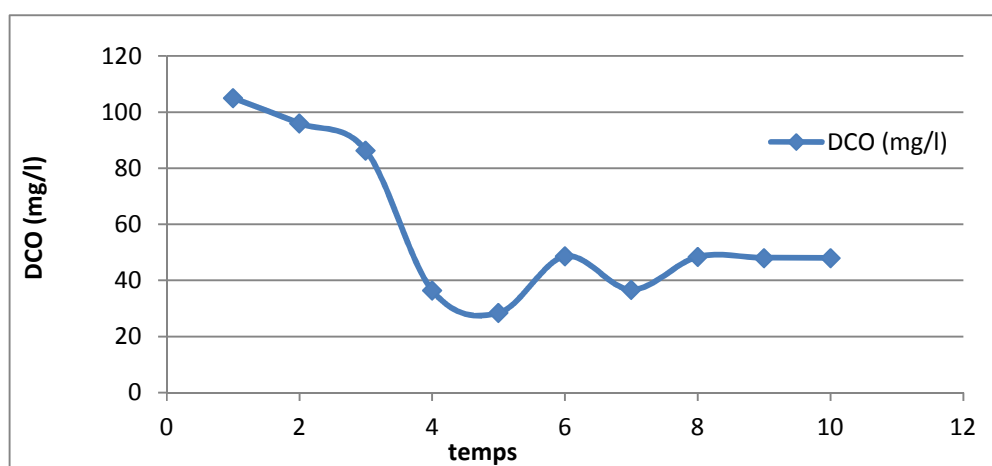


Figure IV.101. Courbe de la variation de la DCO.

Selon les résultats obtenus (Figure IV.101), la DCO de l'eau épurée a diminué de 105 à 48 mg/l au cours de l'expérience, Ces valeurs sont largement inférieure à la valeur limite de rejet (120 mg/l). Cette diminution de la DCO au décanteur s'explique par l'accroissement de

l'activité bactérienne dans le lit bactérien. A terme de l'expérience la DCO est réduite de 260 mg/l (eau brute) à 48 mg/l (eau épurée); soit une élimination 81.53%.

IV.5.2. Epuration avec un débit de 16 l/h:

L'expérience a été menée avec un débit d'alimentation de 16 l/h et un débit de recyclage des boues de 0,404 l/min. après stabilisation de la DCO, les résultats obtenus sont résumés dans le tableau IV.12 et représenté sur l'histogramme de la figure IV.102.

Tableau IV.12. Résultats d'analyse physico-chimique de l'eau.

Paramètre	L'eau brute	L'eau épurée
T (°C)	24	21
pH	7,56	7,10
O ₂ dissout (mg/l)	3,2	0,4
O ₂ dissout (%)	40	6
Turbidité (NTU)	120,24	8,18
MES (mg/l)	210	30
MM (mg/l)	85	9
MO (mg/l)	125	21
DCO (mg/l)	260	28,4

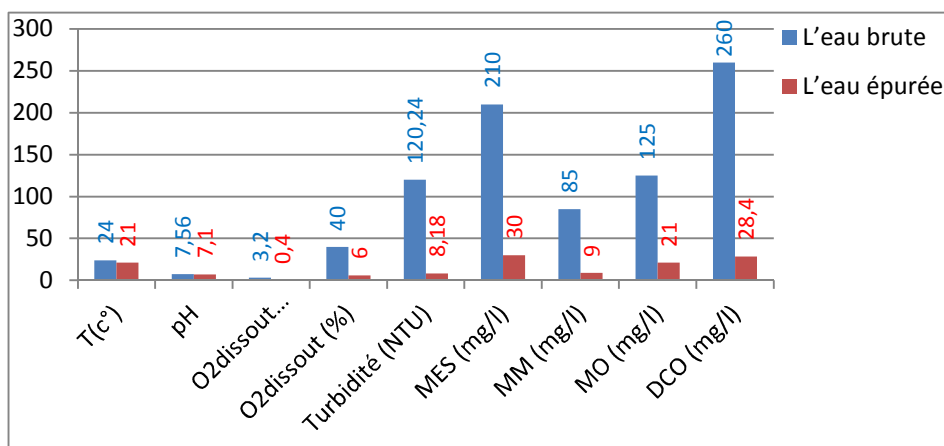


Figure IV.102. Histogramme de la variation de toutes les paramètres (l'entré et sortie).

- Les résultats obtenus au fil de l'expérience sont résumés dans l'annexe F2.
- Indice de Mohlman de boue est IB =102,14 ml/g qui confirme que la boue décante bien.

Nous avons représenté dans les figures (IV.103 a IV.110) la variation des différents paramètres mesurés en fonction du temps au niveau du décanteur. Il est à signaler que les abscisses de ces courbes (1,2, ...) correspondent aux moments des prélèvements définis au tableau qui suit:

abscisses	1	2	3	4	5	6	7	8
temps	23-06-2013 à 9 :00	23-06-2013 à 12 :00	24-06-2013 à 9 :00	24-06-2013 à 12 :00	25-06-2013 à 9 :00	25-06-2013 à 12 :00	26-06-2013 à 9 :00	26-06-2013 à 12 :00

- **La température :** La figure suivante représente la variation de la température en fonction du temps.

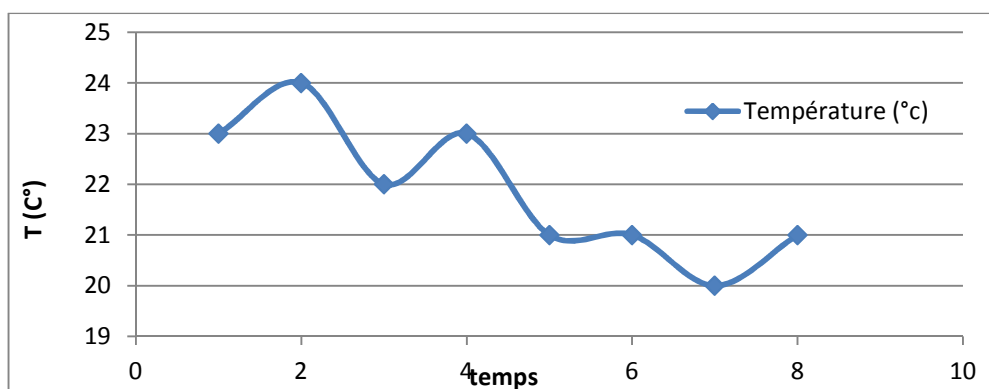


Figure IV.103. Courbe de la variation de la température.

Les résultats obtenus (figure IV.103) présente la variation de la température de l'eau épurée varient de 24 à 20 °C, La température de l'eau est largement inférieure à 30°C. Cette variation est due au contact eau-air dans le décanteur.

- **pH :** La figure suivante représente la variation du pH en fonction du temps.

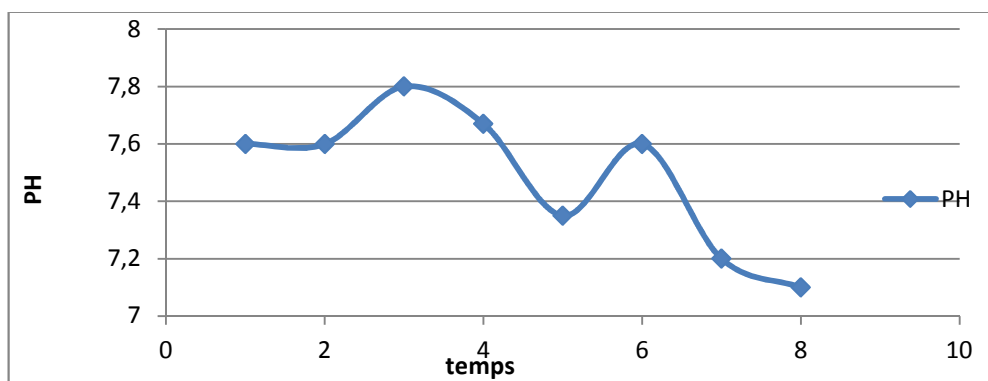


Figure IV.104. Courbe de la variation du pH.

D'après la figure IV.104 du pH nous avons remarqué qu'il y'a une faible variation. Elles varient 7,84 à 7,09 (ces valeurs sont toujours conformes aux normes de rejet), la fluctuation des valeurs du pH est due au contact de la suspension avec la colonne de la pouzzolane.

- **Turbidité** : la figure suivante représente la variation de la turbidité en fonction du temps.

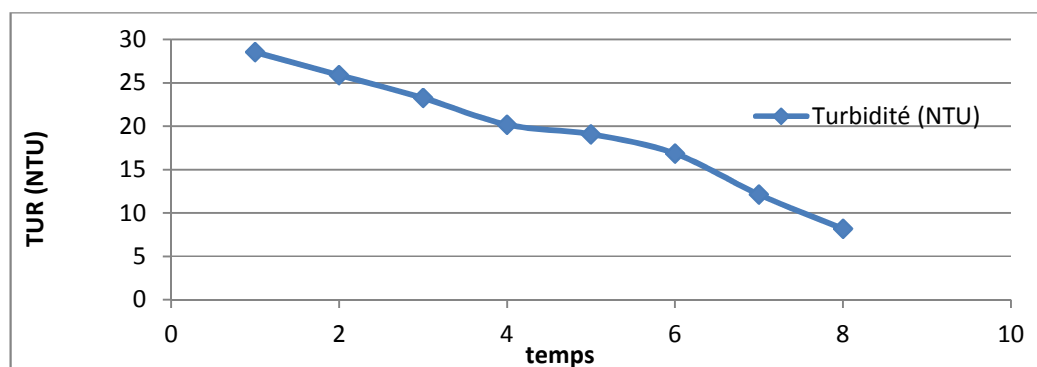


Figure IV.105. Courbe de la variation de la turbidité.

La valeur de la turbidité de l'eau usées brute est très élevé 120,24 NTU, après l'épuration cette valeur est diminuée à 8,18NTU cette diminution de turbidité est due à la dégradation de la matière organique par ce procédé d'épuration proposé.

- **O₂ dissous** : la figure suivante représente la variation d'O₂ dissous en fonction du temps.

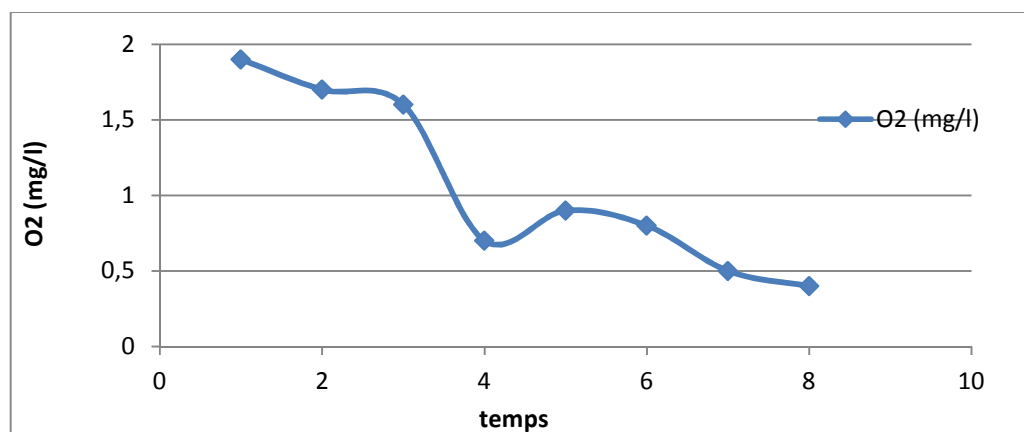


Figure IV.106. Courbe de la variation de l'O₂ dissous.

Après un temps de fonctionnement du pilote adéquat la concentration en O₂ dissous diminue à 0,4 mg/l (figure IV.106) alors qu'elle était de 3,2mg/l initialement en eau brute, ce résultat s'explique par la consommation bactérienne de l'oxygène.

➤ **MES:** la figure suivante représente la variation des MES en fonction du temps.

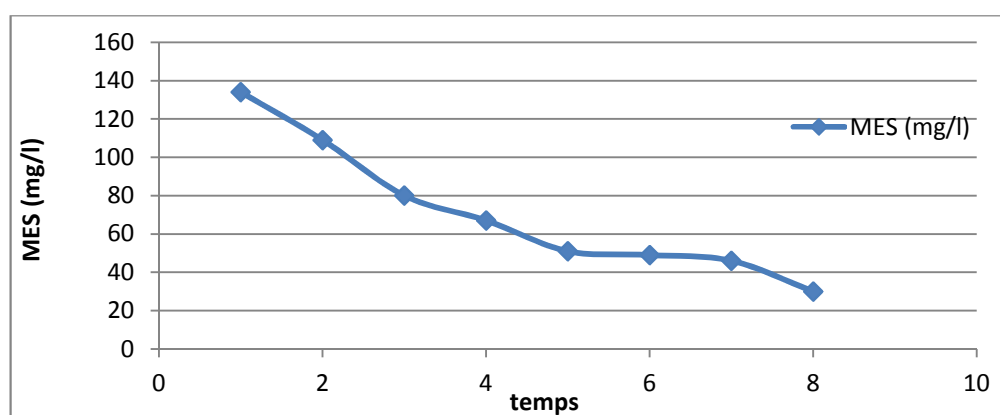


Figure IV.107. Courbe de la variation des MES.

La figure IV.107, montre que la concentration en MES dans l'eau épurée est diminuée à une valeur faible (30mg/l). Elle est variable de 134 à 30 mg/l au sein du décanteur et elle était de 210mg/l dans l'eau brute donc 85,71% des MES ont été éliminées. Ces résultats mis en évidence l'efficacité de l'épuration par le lit bactérien.

➤ **MM:** La figure suivante représente la variation de la MM en fonction du temps.

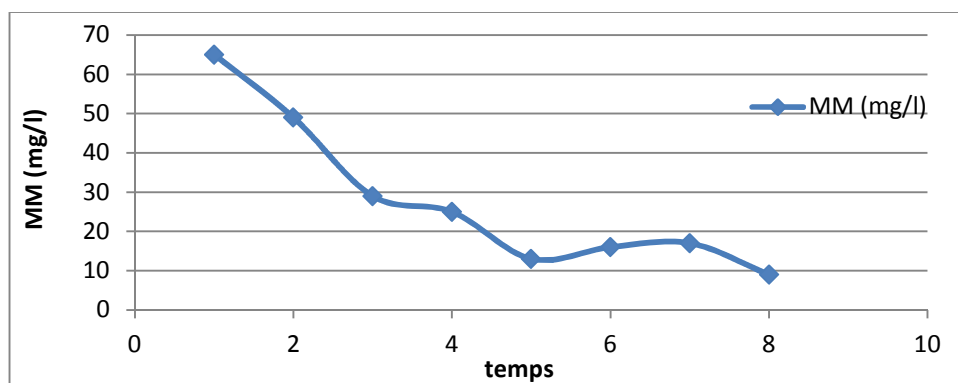


Figure IV.108. Courbe de la variation de la MM.

De la figure IV.108, on peut clairement voir la variation de la teneur en MM de l'eau qui est en constante diminution. Elles varient de 65 à 9mg/l au fil du temps dans le décanteur alors qu'elle était de 85 mg/l dans l'eau brute. Le rendement d'élimination des MM est de 89,41%. Donc une grande concentration a été éliminée par ce procédé.

➤ **MO:** La figure suivante représente la variation de la MO en fonction du temps.

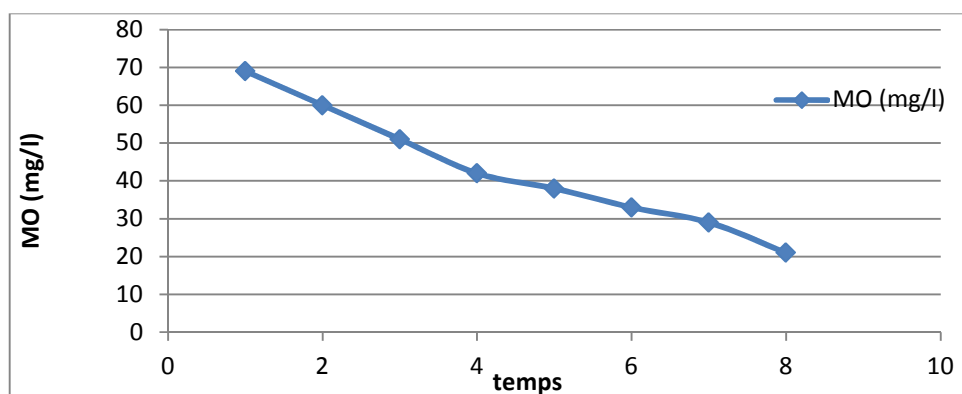


Figure IV.109. Courbe de la variation de la MO.

La figure IV.109 montre que la teneur en MO dans l'eau épurée est faible. Elle a varié de 60 à 21mg/l dans le décanteur, elle due à l'accroissance de l'activité bactérienne dans le lit bactérien au cours de l'expérience. Ces résultats mis en évidence l'efficacité de l'épuration biologique par le matériau utilisé (la pouzzolane). Le rendement d'élimination de MO est de 83.2%.

➤ **DCO:** la figure suivante représente la variation de la DCO en fonction du temps

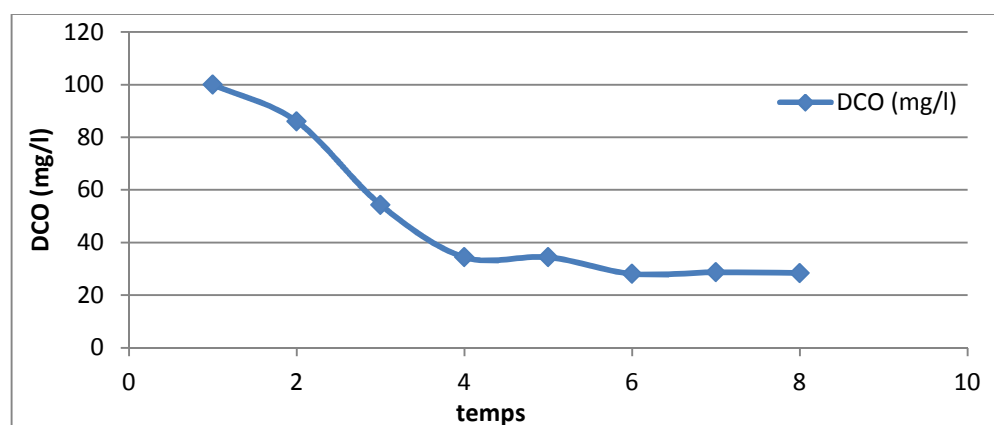


Figure IV.110. Courbe de la variation de la DCO.

La DCO dans l'eau usées brute est de 260 mg/. Selon la figure VI.110, on voit que la DCO dans l'eau épurée est en constante diminution au cours de l'expérience. À sa stabilisation nous enregistrons 28,4 mg/l de DCO dans l'eau épuré. Tout le long de l'expérience la DCO n'a en aucun cas atteint la limite de rejet 120 mg/l. Ces variations dans la teneur de la DCO sont probablement dues aux variations dans la quantité d'oxygène (la consommation bactérien de l'oxygène).

IV.5.3. Epuration avec un débit de 20 l/h:

L'expérience a été menée avec un débit d'alimentation de 20 l/h et un débit de recyclage des boues de 0,650 l/min. après stabilisation de la DCO, les résultats obtenus sont résumés dans le tableau IV.13 et représenté sur l'histogramme de la figure IV.111.

Tableau IV.13. Résultats d'analyse physico-chimique de l'eau.

Paramètre	L'eau brute	L'eau épurée
T (°C)	24	24
pH	7,67	7,10
O ₂ dissout (mg/l)	2,9	0,3
O ₂ dissout (%)	38	5
Turbidité (NTU)	135,76	2,88
MES (mg/l)	250	20
MM (mg/l)	120	8
MO (mg/l)	130	12
DCO (mg/l)	290	28,4

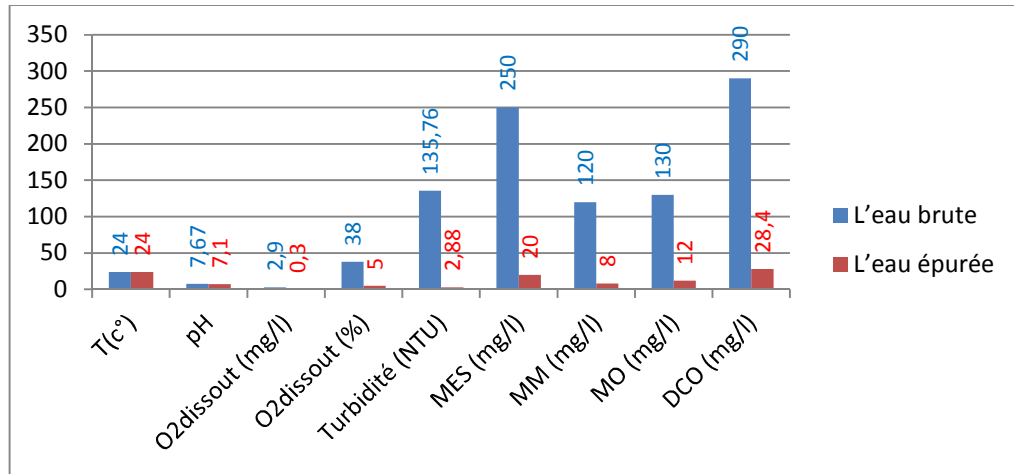


Figure IV.111 Histogramme de la variation de toutes les paramètres (l'entrée et sortie).

- Les résultats obtenus au fil de l'expérience sont résumés dans l'annexe F3.
- Indice de Mohlman de boue est $IB = 96,34 \text{ ml/g}$ qui confirme que la boue décante bien.

Nous avons représenté dans les figures (IV.112 à IV.119) la variation des différents paramètres mesurés en fonction du temps au niveau du décanteur. Il est à signaler que les abscisses de ces courbes (1,2,) correspondent aux moments des prélèvements définis au tableau qui suit:

abscisses	1	2	3	4	5	6	7	8
temps	27-06-2013 à 9 :00	27-06-2013 à 12 :00	30-06-2013 à 9 :00	30-06-2013 à 12 :00	1-07-2013 à 9 :00	1-07-2013 à 12 :00	2-07-2013 à 9 :00	2-07-2013 à 12 :00

➤ **La température :** La figure suivante représente la variation de la température en fonction du temps.

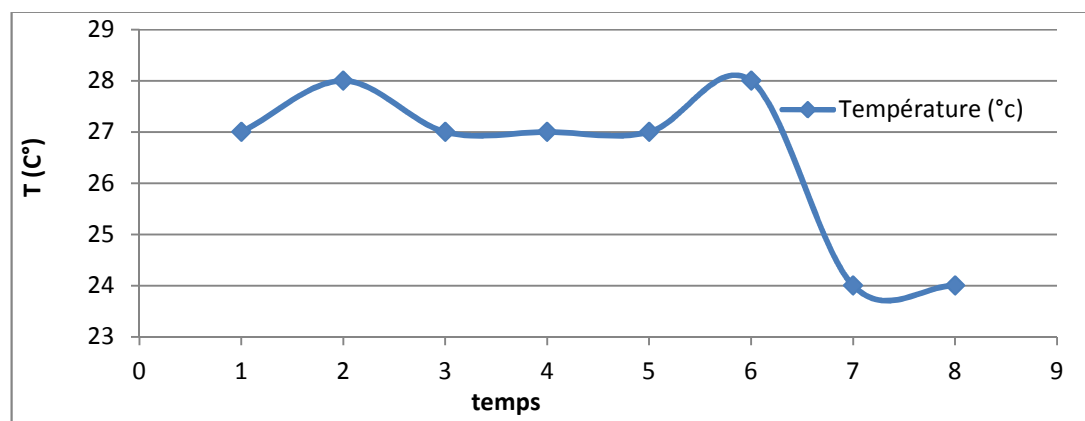


Figure IV.112. Courbe de la variation de la température.

Il y'a une variation de la température (figure IV.112) ou elle a augmenté au niveau du décanteur à 28°C, a cause de l'activité bactérienne, puis elle est diminuée à environ 24°C.

➤ **pH** : la figure suivante représente la variation du pH en fonction du temps.

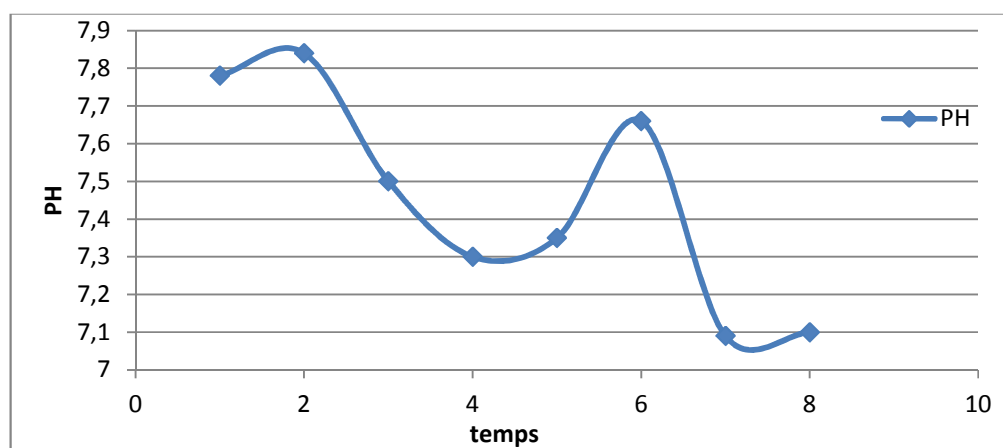


Figure IV.113. Courbe de la variation du pH.

On remarque d'après la figure précédent qu'il n-y-a pas une grande différence de variation dans le potentiel d'hydrogène il varier entre 7,09 et 7,84 qui na pas un impact écologique sur l'environnement. Les valeurs du pH (entre 7,1 et 7,7) dans cette expérience sont très proches de la norme.

➤ **Turbidité** : la figure suivante représente la variation de la turbidité en fonction du temps.

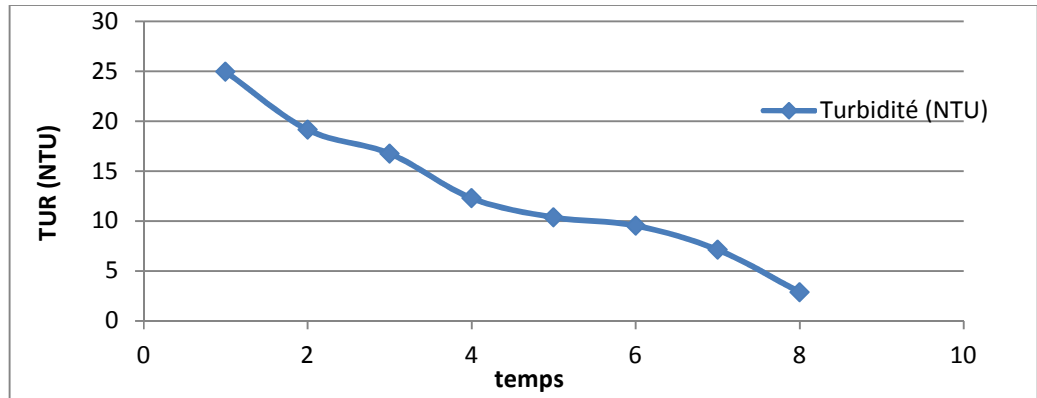


Figure IV.114. Courbe de la variation de la turbidité.

On comparant l'écart de turbidité entre l'eau brute 145,76 NTU et eau épurée 2,88 NTU (figure IV.114), nous remarquons une élimination importante de la turbidité de l'eau (97,87% d'élimination). Le procédé permet d'avoir une eau claire.

- **O₂ dissous** : la figure suivante représente la variation d'O₂ dissous en fonction du temps.

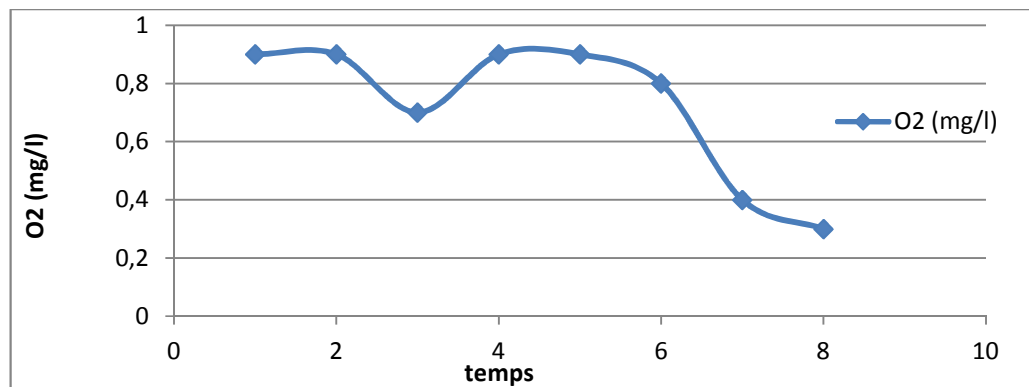


Figure IV.115. Courbe de la variation de l'O₂ dissous.

La concentration de l'O₂ dissous à l'entrée était de 2,9mg/l et selon la figure IV.115 elle a diminué à 0,3 après la décantation à la fin de l'expérience. Cette diminution de la teneur en O₂ dissous est expliquée par l'activité des bactéries au sien du lit.

- **MES**: La figure suivante représente la variation des MES en fonction du temps.

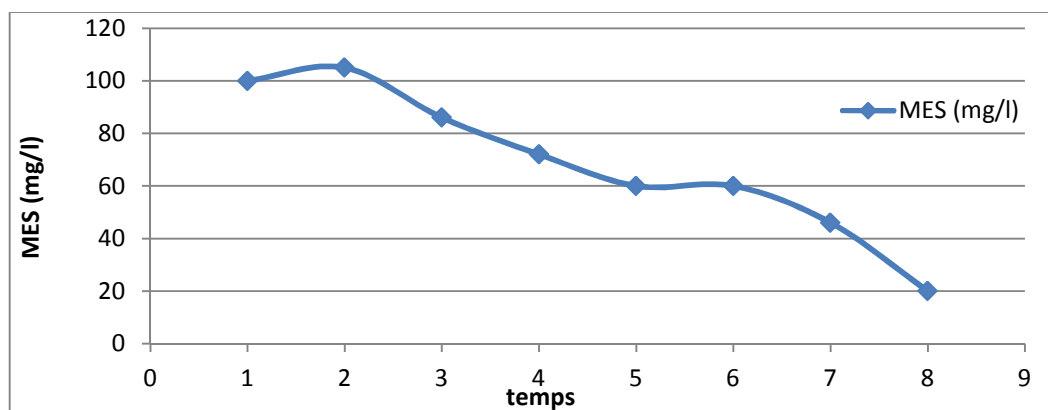


Figure IV.116. Courbe de la variation des MES.

La figure IV.116, montre que la concentration en MES dans l'eau épurée est faible. Elle est variable de 100 à 20 mg/l alors qu'elle était de 250mg/l dans l'eau brute avec un rendement d'élimination finale de 92% .Ces résultats mis en évidence l'efficacité de l'épuration par le lit bactérien.

➤ **MM:** la figure suivante représente la variation de la MM en fonction du temps.

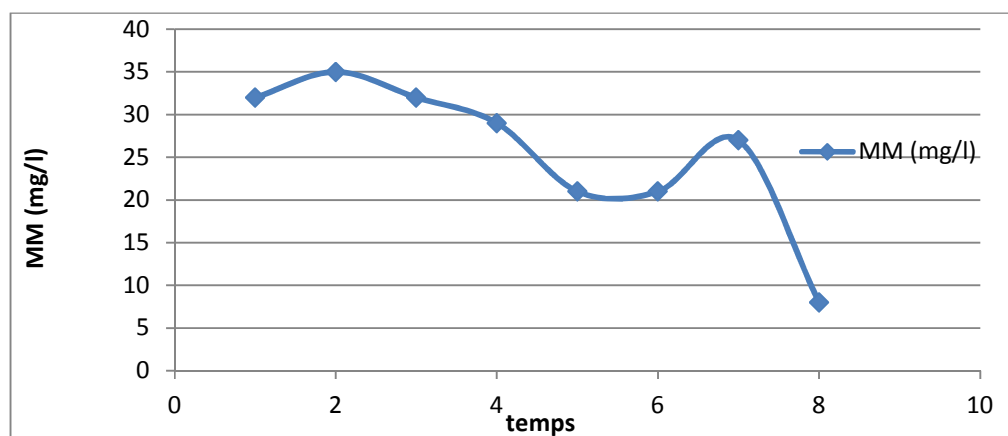


Figure IV.117. Courbe de la variation de la MM.

L'examen de la figure IV.117 montre que la teneur en MES dans l'eau épurée est trop faible. Elle varie de 35 à 8 mg/l. Ces résultats montrent qu'une grande quantité des MM a été éliminé par le procédé d'épuration ou il y'a eu 93.33% de MM éliminé (phénomène physique)

➤ **MO:** la figure suivante représente la variation de la MO en fonction du temps.

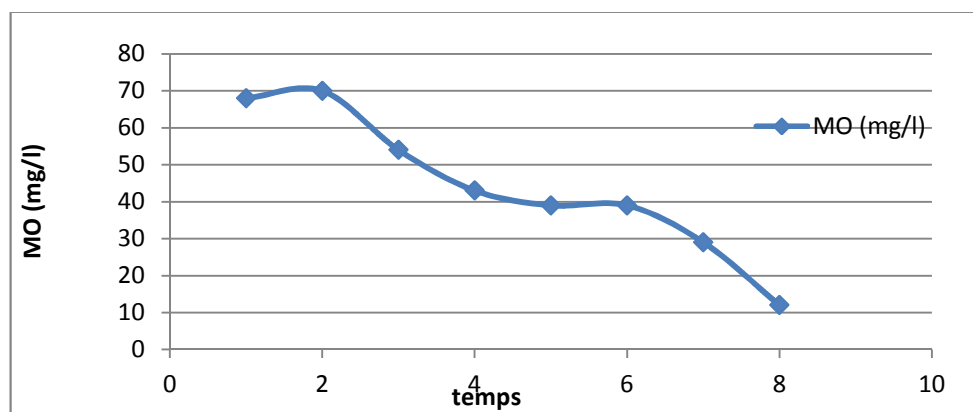


Figure IV.118. Courbe de variation de la MO.

L'examen de la figure IV.118 montre que la teneur en MES dans l'eau épurée est trop faible. Elle varie de 70 à 12 mg/l. Ces résultats montrent qu'une grande quantité des MO a été éliminée par le procédé d'épuration c'est dire une élimination de 70.77% des MO qui à été dégradé par la le lit bactérien à pouzzolane.

➤ **DCO:** la figure suivante représente la variation de la DCO en fonction du temps

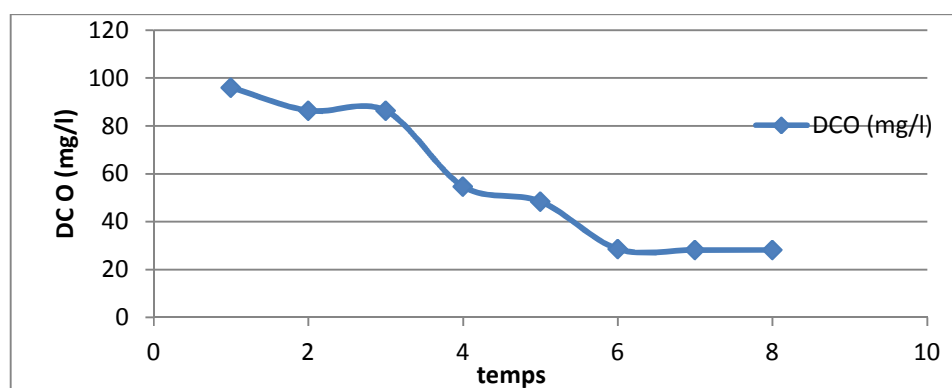


Figure IV.119. Courbe de variation de la DCO.

La DCO dans l'eau usées brute est de 290 mg/. Selon la figure VI.119, on voit que la DCO dans l'eau épurée est en constante diminution au cours de l'expérience. À sa stabilisation nous enregistrons 28,2 mg/l de DCO dans l'eau épuré. Tout le long de l'expérience la DCO n'a en aucun cas atteint la limite de rejet 120 mg/l. Cette diminution de la DCO est expliquée par la consommation de l'oxygène par les bactéries pour la dégradation des matières organiques.

IV.6. Rendement épuratoire du pilote pour les différentes manipulations :

Pour bien apprécier l'efficacité de procédé d'épuration proposé nous avons déterminé le rendement pour les trois paramètres MES, turbidité et DCO. Les tableaux suivant résumant ces résultats.

Tableaux IV.14. Les rendements du pilote pour les différentes hauteurs de garnissage et pour une granulométrie de (10/25 mm).

Diamètre De garnissage (mm)	Hauteur de garnissage (cm)	Débit (l/h)	Paramètres mesuré		
			DCO	MES	Turbidité
10 /25	40	5	64,28	90	99,53
		8	95,02	92,85	99,44
		10	72,22	93,75	98 ,88
	80	8	86,15	97,36	99,36
		10	86,28	100	91,53
		16	89,36	97,22	99,57
		20	94,01	97,82	99,86

Tableaux IV.15. Les rendements du pilote pour les différentes hauteurs de garnissage et pour une granulométrie de (25/40 mm).

Diamètre De garnissage (mm)	Hauteur de garnissage (cm)	Débit (l/h)	Paramètres mesuré		
			DCO	MES	Turbidité
25/40	40	8	86,95	95,54	99,76
		16	86,98	95,45	99,44
		20	91,30	95,45	99,37
	80	8	81,53	90,47	98,70
		16	89,07	85,71	93,19
		20	90,20	92	97,87

Notre expérience est basée sur l'effet de la biofiltration sur le garnissage classique (la pouzzolane de Béni Saf) C'est-à-dire un lit bactérien classique sur la qualité de l'eau épurée, et d'après les calculs des rendements des trois paramètres de pollution (DCO, MES, turbidité) (tableau IV.14 et tableau IV.15) nous pouvons comparer les résultats des manipulations comme suit :

Pour une granulométrie de garnissage de 10/25 (tableau IV.14); le procédé d'épuration à lit bactérien de 40 cm de hauteur de garnissage et de 8 l/h débit d'entrée donne des bons rendements par rapport à l'autre débit (5l/h, 10l/h) dans tous les paramètres. On conclue que la contribution du lit bactérien sur la diminution de la teneur des trois paramètres était efficace.

Pour la hauteur de garnissage de 80 cm et de 20 l/h débit d'entrée donne de bons rendements par rapport à l'autre débit (8l/h, 10l/h, 16l/h) dans tous les paramètres de pollution.

Donc on comparant les résultats obtenus liés aux deux hauteurs du garnissage; on peut dire que le débit optimal pour une hauteur de 40 cm est de 8l/h et le débit optimal pour une hauteur de 80 cm est de 20l/h bien pour un lit bactérien à pouzzolane de Béni Saf de granulométrie 10/25.

Pour une granulométrie de garnissage de 25/40 mm (tableau IV.15) nous avons remarqué que :

Le procédé d'épuration sur la pouzzolane avec une différence au niveau de la hauteur de la pouzzolane dans la cartouche de filtration (40 cm et 80cm) donne presque des mêmes résultats en deux hauteurs et en débit égale 20 l/h dans les trois paramètres (MES, DCO, turbidité), mais malgré ces résultats important obtenus lors de débit de 20 l/h, il nous semble que les débits optimaux pour ces deux hauteurs ne sont pas atteint en considérant les résultats de garnissage de 10/25mm (élimination de la DCO de 95% et 94%), de ce fait de expérience avec de débit supérieur à 20l/h sont à envisager.

À terme de nos expériences nous pouvons affirmer que la pouzzolane de Beni Saf constitue un garnissage efficace pour les lit bactérien et que pour des granulométries relativement fines il faut en réduire la hauteur de lit bactérien et en appliquer des débits d'alimentation faible et pour des granulométries grossière il faut augmenter la hauteur de lit bactérien et en appliqué des débits fort.

IV.7. Identification des bactéries :

L'observation au microscope nous a permis d'identifier quelques bactéries se trouvant dans la boue recueillie; les bactéries que nous avons pu identifier sont:

➤ **Ciliée peritriche :**

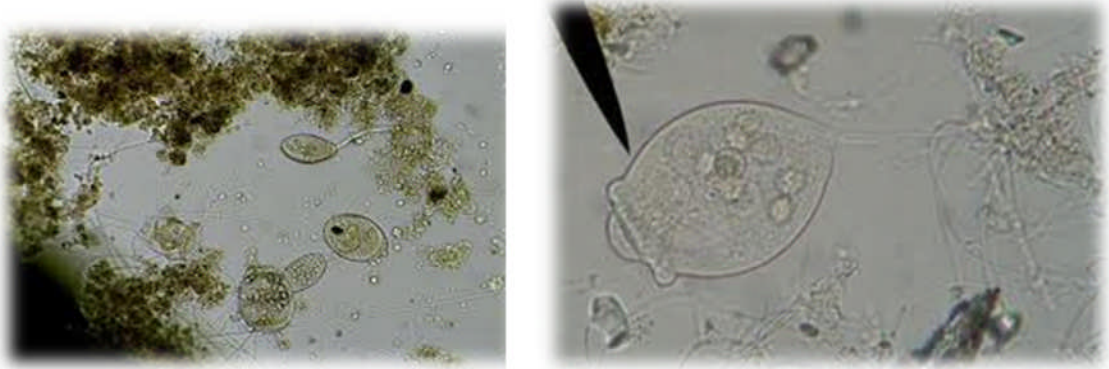


Figure IV.120. Protozoaire cilié peritriches.

Autrefois appelés infusoires, du fait de leur aptitude à se développer à partir de formes enkystées dans des infusions végétales, les ciliés représentent un groupe important et relativement homogène. Les cils sont implantés sur des lignes appelées cinéties. Tous les cils d'une cinétie battent l'un après l'autre et les différentes cinéties sont synchronisées. Les ciliés possèdent deux noyaux. Le plus volumineux (macronucléus) possède plusieurs lots de $2n$ chromosomes et gère la vie végétative de la cellule. Le plus petit (micronucleus) possède $2n$ chromosomes et intervient dans la reproduction de la cellule. Les ciliés se nourrissent par phagocytose. On distingue une zone d'ingestion (cytopharynx) et une zone digestion (cytoprocte). Les ciliés possèdent ainsi un avant et un arrière [87].

➤ **Euglypha :**

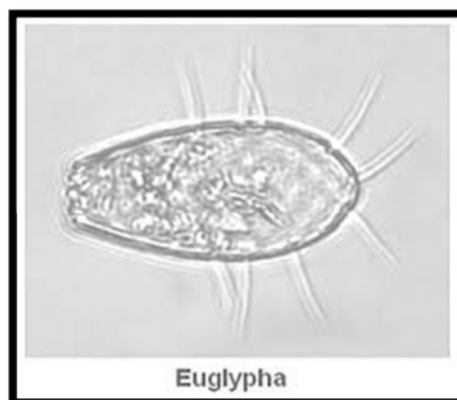


Figure IV.121. Euglypha.

Les grandes amibes de taille supérieure, 4 fois plus grandes que les précédentes, ont une place dans le floc, voisine de celle occupée par les Holotriches. L'oxygénation est bonne ainsi que la quantité de carbone éliminée. Une station d'épuration qui fonctionne correctement, contient des Euglypha [88].

➤ **Nématodes :**

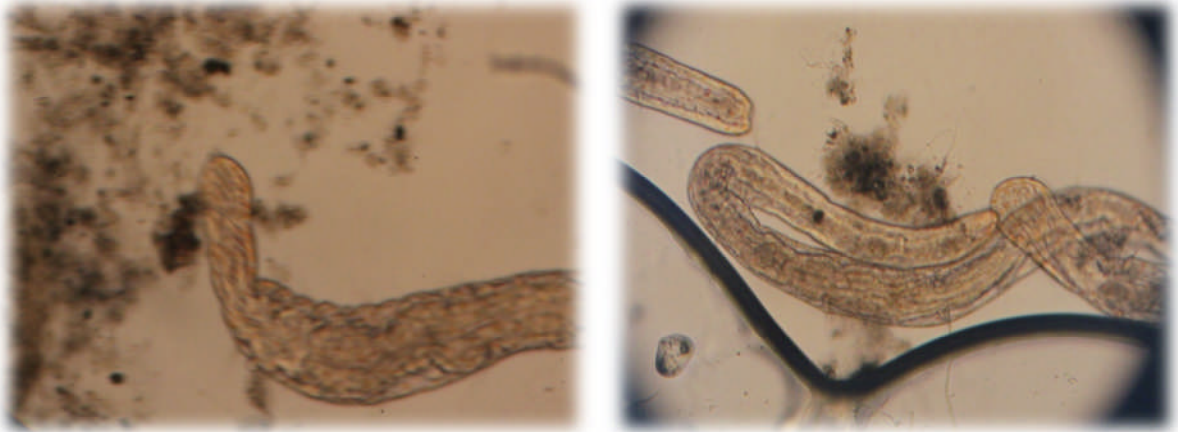


Figure IV.122: demetazoaires (Nématodes).

Organismes pluricellulaires vermiformes recouverts d'une cuticule et comprenant un système digestif bien différencié ainsi que des organes génitaux.

Ces organismes sont caractéristiques des boues vieilles ou en voie de minéralisation. On les trouve fréquemment dans les boues subissant une digestion aérobie, ainsi que dans les filins épais des lits bactériens. Plus résistants que les rotifères, ils sont souvent le signe de conditions limitées à la vie aérobie [2].

Conclusion

Conclusion

Les eaux usées épurées peuvent être considérées comme une source en eau non négligeable pour être réutilisées par l'homme dans différents domaines (l'irrigation, l'industrie....).

Notre étude des performances d'un lit bactérien classique à garnissage en pouzzolane de carrière de Beni Saf, nous a permis en premier lieu d'évaluer la qualité physico chimiques des eaux usées de la STEP de AIN EL HOUTZ par le procédé d'épuration avec le lit bactérien et puis d'analyser quelques paramètres de qualité des eaux (PH, T,MES, DCO.....) .

L'objectif de ce travail a été de voir l'influence d'un lit bactérien et d'un garnissage utilisé (pouzzolane) sur le rendement de l'épuration.

A travers ce travail on a trouvé quelques difficultés, tel que le problème des appareils de mesure (turbidimètre, conductimètres, salinomètre, et DBO mètre) non disponible au laboratoire d'hydraulique, ainsi que les moyen de transport pour ramener les 300 litre d'eau usées de la STEP de AIN EL HOUTZ, et les coupures électrique.

Toutes les expériences de notre travail ont été réalisées sur le pilote TE900 modifié au niveau de laboratoire de l'épuration des eaux du département d'hydraulique, nous avons utilisé une colonne à garnissage en pouzzolane comme lit bactérien. Deux granulométrie (10/25 mm et 25/40mm) soigneusement préparées au niveau de laboratoire de génie civil ont été testées.

Au cours des manipulations le débit d'alimentation et le débit de recyclage ont été varié, dans chaque expérience en fixant la hauteur de la colonne de filtration à 40cm puis à 80 cm. Divers paramètres ont été analysés (Turbidité, MES, DCO, O₂ dissous,.....). Ou nos avons trouvé différents résultats qui nous ont permis de calculer le rendement des trois paramètres (DCO, MES, Turbidité).

Les rendements atteint pour nos expériences sont comme suit: (MES=97,82%, DCO=94,01%, TUR=99,86%) pour une hauteur de 80cm, (MES=92,85%, DCO=95,02%, TUR=99,4) pour une hauteur de 40cm avec un même garnissage de 10/25 mm. Pour un garnissage de granulométrie de 25/40 mm nous avons obtenue les rendements suivantes: (MES=95,45%, DCO=91,38%, TUR=99,37%) pour une hauteur de 40cm ; (MES=92%, DCO=90,21%, TUR=97,87% pour une hauteur de 80cm.

A la lumière des résultats obtenus dans toutes les manipulations nous pouvons affirmer que le procédé d'épuration des eaux usées par le lit bactérien avec un garnissage de 10/25 mm et une hauteur de 80cm donne de bons résultats par rapport à l'autre garnissage (25/40 mm) ainsi on peut dire que le rabattement des paramètres de pollution (DCO, MES, TUR) montre bien l'efficacité de l'épuration par ce procédé.

Mais il faut indiquer que dans nos manipulations nous avons rencontré un problème de colmatage par ce que les eaux usées passent directement de la cuve d'alimentation vers la cartouche de filtration, ce qui nécessitera des lavages.

Des observations microscopiques nous ont permis d'identifier trois types de bactéries à savoir : un protozoaire cilié peritriche, Euglypha et, Nématodes, qui donne une idée sur la nature des boues utilisées.

Cette étude ne peut être qualifiée de parfaite, d'autres études doivent être entreprises sur le lit bactérien à pouzzolane de Beni Saf pour d'autres granulométries, d'autres hauteurs de lit afin d'en déterminer les débits optimaux d'alimentation du lit bactérien correspondant et pour en fixer par la suite les bases de son dimensionnement. L'utilisation d'autres matériaux de garnissage peuvent être explorés.

En fin, nous pouvons dire que le procédé d'épuration à lit bactérien à garnissage en pouzzolane de Beni Saf peut constituer une solution viable pour l'épuration des eaux usées de d'origine urbaine pour les petites localités.

Références bibliographique

- [1] Allouchef. F, Lamri. D, et Zahf, F, 1999, « Surveillance de la qualité bactériologique et physico-chimique des eaux de contamination au niveau des trois communes : Ali Boussid, Saby, Ben Badis, wilaya de sidi bel abbés » ; mémoire d'ingénieur d'état en biologie. Université de sidi bel abbés.
- [2] Degrémont, 2007, « Mémento technique de l'eau » ; deuxième édition, édition technique et document, Paris.
- [3] Adler E, 2005, « Eléments sur l'épuration des eaux usées et la gestion des sous-produits de l'assainissement », Cours sur l'épuration des eaux usées et la gestion des sous-produits de l'assainissement – ENTPE.
- www.recy.net/formations/ENTPE/06-Epuration_des_eaux_usees.pdf consulté le 5-02-2013
- [4] Bontaux J. 1994, « Introduction à l'étude des eaux résiduelles industrielles », 2ème édition Lavoisier technique et documentation, 225P.
- [5] Hadj sadok Z. 1999, « Modélisation et estimation des bioréacteurs, prise en compte des incertitudes, application au traitement de l'eau », thèse de doctorat, Université de Nice Sophia Antipolis.
- [6] Desjardins Raymands, 1997, « Traitement des eaux »,deuxième édition, Montréal.
- [7] Ghazi M, « Cours de l'épuration des eaux usées », département hydraulique option traitement et épuration de l'eau, université Tlemcen. Consulté le 27 Février 2012.
- [8] Tekfi K, 2006, « étude des performances épuratoires d'une station d'épuration des boues activées », mémoire pour l'obtention de diplôme de DEUA. Option traitement et épuration de l'eau, département hydraulique, université Tlemcen.
- [9] Yahlatene S, Tahirim El Tladj, 2011, « Réflexion sur la caractérisation physico-chimique, des effluents Liquides rejetés dans la grande sebkha d'Oran » ; mémoire d'ingénieur, université des sciences et de la technologie d'Oran.
- [10] Raissi O., 2005, « Réutilisation des eaux épurées et des boues résiduelles des stations d'épuration ».
- [11] Gaid A. 1984, « Épuration biologique des eaux usées urbaines tome I », édition OPU, Alger.
- [12] Cherki F. et Hesses H., « étude de l'abattement de la charge polluante azotée en station d'épuration à boues activées », mémoire pour l'obtention de diplôme de DEUA. Option traitement et épuration de l'eau, département hydraulique université Tlemcen.
- [13] Daisy Bougard, 2004, « Traitement biologique d'effluents azotés avec arrêt de la nitrification au stade », thèse présentée pour l'obtention du grade de docteur, Ecole nationale supérieure agronomique de Montpellier.

Références bibliographique

- [14] Rodier J., 1959, « L'analyse de l'eau », édition DUNOD, Paris.
- [15] BOTTA A., Avril 2001, « Laurence BELLON. Pollution de l'eau et santé humaine » Laboratoire de biogénotoxicologie et mutagenèse environnementale. Université Euro-méditerranéen TEHYS.
- [16] Mechati F., 2006, « Etude des paramètres physico-chimiques avant et après traitement des rejets liquides de la raffinerie de SKIKA », thèse de magister.
- [17] SALGHI R., 2006, « Différentes filières de traitement des eaux ». Cours. Ecole nationale des sciences appliquées d'AGADIR. Université Ibn Zouhir. Royaume du Maroc.
- [18] BERNIE F. et Cordonnier J., Novembre 1991, « Traitement des eaux ». TCHNIP. France.
- [19] Pierre J., Liénard A., Héduit A., P. Duchène, 1990, « Traitement de l'azote dans les stations d'épuration biologique des petites collectivités ». Document technique.
- www.fndae.fr/documentation/PDF/fndae25.pdf consulté le 5-02-2013
- [20] Aminot A., Chaussepied M., 1983, « Manuel des analyses chimiques en milieu marin ».
- [21] Féray C, 2000, « Nitrification en sédiment d'eau douce : incidence de rejets de station d'épuration sur la dynamique de communautés nitrifiantes », Thèse de doctorat sciences naturelles, Écologie microbienne. Université Claude Bernard-Lyon, Lyon, France, 204 p.
- [22] Mizi A., 2006, « Traitement des eaux de rejets d'une raffinerie des corps gras, région de Bejaia et valorisation des déchets oléicoles ». Thèse de doctorat. Université de Badji Mokhtar, ANNABA.
- [23] Asano T, 1998, Irrigation with Reclaimed municipal waste water: California Experiences. Options Méditerranéennes. Série A. Séminaire Méditerranéen 1. Reuse of Low, Quality Water for Irrigation in Mediterranean Countries.
- [24] Baumont S, Camard J-P, Lefranc A, Franconi A, 2000, « Réutilisation des eaux usées: risques sanitaires et faisabilité en Île-de-France », Observatoire régional de santé d'Ile-de-France.
- [25] CSHPF, 1995, « Recommandations sanitaires relatives à la désinfection des eaux usées urbaines », conseil supérieur d'hygiène publique de France section des eaux ; 22p.
- http://www.sante.gouv.fr/dossiers/cshpf/re_1095_desinfection.htm consulté le 6-02-2013.
- [26] Jean-Luc P, Mars 1998, « Le guide des analyses de l'eau ».
- [27] Leclerc H, Gaillard J, Simonet M, 1951, « La bactérie et le mode bactérien ». Édition idoine.

Références bibliographique

- [28] Joly B., Reynaud A., 2003. Entérobactéries : systématiques et méthodes d'analyses. Edition Technique et documentation, Paris, 356p.
- [29] Belayachi Z. et laribi M., 1998, « conception d'un logiciel de dimensionnement automatique d'une station d'épuration des eaux usées par lagunage, application à l'agglomération de belhadjiboucil », mémoire d'ingénieur en hydraulique, université de Tlemcen.
- [30] <http://www.google.dz/imgres?imgurl=http://ecoledeleau.eau-artois-picardie.fr/IMG/jpg/dessableur-deshuileur-2.jpg&imgrefurl>. Consulté le 11-9-2013
- [31] Bonnin Jacques, 1986, « Hydraulique urbaine », Éditions Eyrolles, France.
- [32] Cardot Claude, 1999, « Les traitements de l'eau » ; Génie de l'environnement. Edition Ellipses, Paris.
- [33] Ernest M.H., 1985 “Das fundamental problems in statistical mechanics. Vol.VI. Edité par E. G. D. Cohen. Noeth Holland Publishing Company. Amsterdam.
- [34] Desjardins Christian, 1999, « Simulation et étude en laboratoire de la floculation lestée », Mémoire de maîtrise des sciences appliquées. École polytechnique de Montréal.
- [35] Euahn J.K. et all, 1992, « Colloïdes Surface ».
- [36] Arhans Luis, « mémento et technique de l'eau » dixième édition tome II, France.
- [37] Josep P., 2002, « station d'épuration : dispositions constructives pour améliorer leur fonctionnement et faciliter leur exploitation ».
- [38] http://www.eau.public.lu/pictures/photos/photos/lits_bacteriens.gif&imgrefurl. Consulté le 11-9-2013
- [39] REJASSE Sandrine, Juillet 2009, « Optimisation du fonctionnement d'une station d'épuration à boues activées de 10 000 EH, Trélissac », Mémoire d'ingénieur de l'ENGEES, Promotion Indre.
- [40] Bensaber Kheira et Lebbad Fatiha, 2005, « Études des performances épuratoires d'une station d'épuration à boues activées : cas de la STEP de Maghnia », mémoire d'ingénieur en hydraulique, université de Tlemcen.
- [41] http://www.europelec.com/tl_files/client/images_contenus/Complement%20de%20game/disque_biological_courbe_DCM.jpg .consulté le (02/03/2012).
- [42] Ouali Mohand-Saïd, 1984, « mémento technique de l'eau », édition OPU ; Alger (Ben Aknoun).

Références bibliographique

- [43] Franck R., 2002, « Analyse des eaux, Aspects réglementaires et techniques ». Edition Scérén CRDP AQUITAINE. Bordeaux, pp165-239.
- [44] Bougerara Hassina, « La biodégradation par culture mixte en réacteurs batch », mémoire de magister en chimie analytique et physique ; option : chimie de l'environnement. Université de Constantine.
- <http://www.bu.umc.edu.dz/thèses/chimie/BOU4751.pdf>
- [45] Desjardins Raymond, Janvier 1997, « Traitement des eaux », 2eme édition revue et améliorée, édition l'école polytechnique de Montréal.
- [46] Commission centrale des marches, Fascicule 74, janvier 1998, « Cahier des Clauses Techniques Générales, Construction des réservoirs en béton », 267p.
- [47] Lazarova V., mai 1998, « La réutilisation des eaux usées : un enjeu de l'an 2000 » ; « L'eau, l'industrie, les nuisances », n°212, pp.39-46.
- [48] ONA, fiche technique de la station d'épuration des eaux usées de la ville de Tlemcen « AIN EL HOUTZ ».
- [49] Ernest M.H., 1985, « Das Fundamentals problèmes in statistical mécanique ». Vol. VI. Edité par E. G. D. Cohen. Noeth Holland Publishing Company. Amsterdam.
- [50] Commission européenne. Directive du conseil du 21 mai 1991 relative au traitement des eaux urbaines résiduaires (91/271/CEE). Journal officiel n° L 135 du 30 mai 1991, pp. 40, modifiée par la Directive 98/15/CE de la Commission du 27 février 1998. Journal officiel n° L 67 du 7 mars 1998, pp. 29.
- [51] Yahlatene soflaive et Tahirim El Tladj, 2010, « Réflexion sur la caractérisation physico-chimique des effluents Liquides rejetés dans la grande sebkha d'Oran », mémoire d'ingénieur université de science et de technologie d'Oran USTO.
- [52] Taibil B., Benhabib A., Abdelali Okba A, 2011, « Modèles de stations d'épuration des eaux usées en Algérie. Colloque international usages écologiques, économiques et sociaux de l'eau agricole en méditerranée : quels enjeux pour quels services », mémoire d'ingénieur, Université de Provence.
- [53] Hazourli S., Boudiba L., Ziati M, 2007, « Caractérisation de la pollution des eaux résiduaires de la zone industrielle d'El-Hadjar », Laboratoire de traitement des eaux et valorisation des déchets industriels. Département de chimie, Université Badji Mokhtar Annaba. Larhyss Journal, n° 06, pp. 45-55 ; 2007.
- [54] Slimani .A, Touati. H, 2007, « études expérimentales d'épuration des eaux usées par boues activées » ; mémoire d'ingénieur, université de Tlemcen.
- [55] Lyonnaise des eaux, 2002, « traitement des eaux usées urbaines ». Mai 2002,
- www.pseau.org/.../cirsee_engees_traitement_des_eaux_usees_urbaines_2002
consulté le 17-07-20013
- [56] Roland V., 2000, « l'eau, environnement et santé » ; publique technique et documentaire.

Références bibliographique

- [57] Canler Jean-Pierre, « Dysfonctionnements biologiques des stations d'épuration : origines et solutions », Document technique FNDAE n° 33, Centres de Lyon et d'Antony.
• www.fndae.fr/documentation/PDF/fndae33.pd consulté le 17-07-2013.
- [58] En-nawaoui Abdelghani, Mars 2010, « Dimensionnement d'une STEP à Lits bactériens précédés d'étangs anaérobies et Gestion des sous-produits. Cas de la ville de Kalaa de Sraghna », Mémoire de fin d'études Pour l'obtention du Diplôme de Mastère Spécialisé En Management et Ingénierie des Services d'Eau d'Assainissement et Déchets (MISEAD) ; Rabat- MAROC.
- [59] Brodart E et All, 1989, « Modélisation statistique d'une usine de traitement de l'eau potable ». Rencontres Internationales Eau et Technologies Avancées. Montpellier.
- [60] Ministère de l'Environnement. – Document Techniques d'épuration actuelles et évolution. N° 27 avril 1994.
- [61] Edeline F, 1988, « L'épuration biologique des eaux résiduaires », Technique et Documentation CEBEDOC.
- [62] Joseph. P, Décembre 2002, « stations d'épuration : dispositions constructives pour améliorer leur fonctionnement et faciliter leur exploitation », document technique FNDAE N° 22 bis.
- [63] Frédéric M., 7 juillet 1998, « Etude de l'hydrodynamique des procédés de traitement des eaux usées à biomasse fixée, Application aux lits bactériens et aux biofiltres »; thèse pour obtenir le grade de docteur, spécialité : mécanique ; l'université Bordeaux 1.
- [64] Boeglin Jean-Claude, 1998, « Traitements biologiques des eaux Résiduaires », édition Techniques de l'Ingénieur l'expertise technique et scientifique de référence, Paris.
- [65] Dhaoudi Hatem, 2008, « Traitement des Eaux Usées Urbaines, Les procédés biologiques d'épuration » ; Université Virtuelle de Tunis.
- [66] Delporte Claude, 2002, « Traitements biologiques aérobies des effluents industriels » éditions Techniques de l'Ingénieur l'expertise technique et scientifique de référence; Editions T.I ; Paris – France.
- [67] Baumont. S ; Philippe. C, 2007, « Réutilisation des eaux usées épurées », France.
- [68] Vandevenne L, 1984, « Problèmes liés à la modélisation et au dimensionnement de, L'épuration par lit bactérien aérobie. Theories, technologies, applications. Cabedoc page 21-49.
- [69] Atkinson B, Rahman A.1978, "The effectiveness of biomass hold-up and packing surface in trickling filters". Water Research 12-147.
- [70] Bantoux. J, 1993, « introduction à l'étude des eaux douces ; qualité et santé » ; 2^{ème} édition, Edition CEDOC, Paris.
- [71] Deltalab ; bulletin technique traitement des eaux épuration à boues activées TE900.

Références bibliographique

[72] Sahouli Chams Eddine, 2012, « Etude expérimentale de la contribution d'un lit bactérien à pouzzolane dans l'amélioration de la qualité des eaux épurées par boues activées ». Mémoire pour l'obtention du diplôme master en hydraulique « eau, sol et aménagement » option : espace urbain, université Abou Bekr Belkaid.

[73] Bassompierre Cindy, 2007, « procédé à boues activés pour le traitement d'effluents papeteries de la conception d'un pilote à la validation de modèles » ; thèse pour obtenir le grade de Docteur de L'INP GRENOBEL, spécialité automatique.

[74] Raouti Houria, 2012, « étude expérimentale de la contribution d'un lit bactérien et d'une filtration dans l'amélioration de la qualité des eaux par boues activées », thème de mastère, université Abou Bekr Belkaid.

[75] Khelifi, T et Mouffok, N, 2008, « étude expérimentale de la filtration sur sable dans le procédé d'épuration à boues activées » ; mémoire d'ingénieur en hydraulique université de Tlemcen.

[76] Rodier. J, 2005, « l'analyse de l'eau » 9^{ème} édition, édition DUNOD, Paris.

[77] Boursalil, juin 2011, « études expérimentales de la coagulation floculation par le sulfate ferrique et le chlorure ferrique des matières en suspension » mémoire d'ingénieur d'état en géologie, département des sciences de la terre et de l'univers ; facultés des sciences de la nature et de la vie, université de Tlemcen.

[78] Mokhtari Ahmed § Dir Bouzid, 2006, « Analyses physico-chimique et bactériologique des eaux potables 'groupement urbaine de Tlemcen' », mémoire de DEUA en hydraulique, université de Tlemcen.

[79] Rodier. J, 1996, « l'analyse de l'eau, eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer » 8^{ème} édition, édition DUNOD, Paris, 1983p.

[80] Ezziane .S, 2007, « Traitement des eaux de rejets de l'unité CERAMIT » thèse de magistère, Université HASSIBA BEN BOUALI de CHLEF, Faculté des Sciences de l'ingénieur, Département de Génie des procédés, Spécialité : Eau et environnement.

[81] <http://www.ciment.wikibis.com/pouzzolane.php>. Consulté le 6-03-2013

[82] Mensalah. M § Miloud. H, 1993, « étude numérique et expérimentale des écoulements à travers les filtres de graviers » ; mémoire d'ingénieur en hydraulique ; université de Tlemcen.

[83] Saoudi. A, 2010, « L'influence de la filtration sur sable sur la qualité des eaux potables » ; Mémoire de projet de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en hydraulique, Tlemcen.

[84] Khilon. M, Khiri. T, 1992, « études au laboratoire des propriétés hydrauliques des graviers de la région de Tlemcen » ; mémoire d'ingénieur ; université de Tlemcen.

[85] Fecih Abla, 2012, « L'influence de la filtration sur sable sur le traitement des eaux saumâtres » ; mémoire de Mastère en hydraulique : Eau, Sol et Aménagement ; Université de Tlemcen.

Les annexes

Annexe A

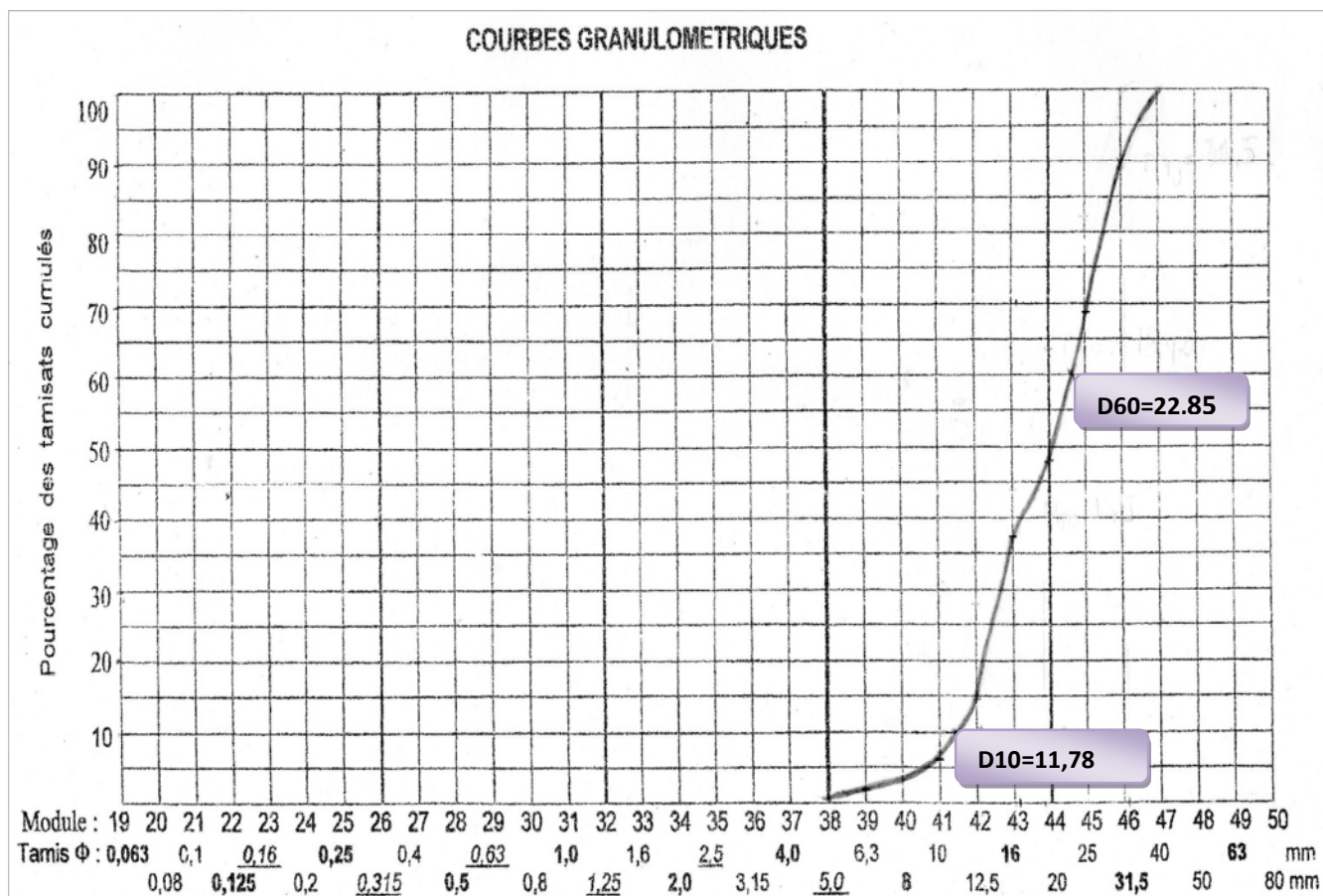


Figure 1 : courbe granulométriques de la pouzzolane.

Annexe B

Préparation des réactifs nécessaires pour la détermination de la DCO.

1- Solution de dichromate de potassium ($K_2Cr_2O_7$) à 0,040 mol/l contenant du sulfate de mercure (II) :

- Dissoudre 80 g de sulfate de mercure dans 800 ml d'eau distillé ;
- Ajouter avec précaution 100 ml d'acide sulfurique (H_2SO_4) concentré ($n = 1,84$) ;
- Laisser refroidir et ajouter 11,767 g de dichromate de potassium préalablement séché à 105 °C pendant 2 h ;
- Transvaser dans une fiole jaugée d'un litre et compléter au volume avec de l'eau distillée ;
- Cette solution reste stable pendant 1 mois.

2- Solution d'acide sulfurique et sulfate d'argent :

- Ajouter 10 g de sulfate d'argent (Ag_2SO_4) à 40 ml d'eau distillée ;
- Mélanger avec 960 ml d'acide sulfurique (H_2SO_4) concentré ($n = 1,84$) ;
- Agiter et laisser refroidir ;
- Laisser reposer 1 à 2 jours.

3- Solution de sulfate de fer (II) et d'ammonium (sel de Mohr) $[(NH_4)_2Fe(SO_4)_2 \cdot 6H_2O]$ 0,12 mol/l :

- Dissoudre 47 g de sulfate de fer (II) et d'ammonium dans de l'eau distillé ;
- Ajouter 20 ml d'acide sulfurique (H_2SO_4) concentré ($n = 1,84$) ;
- Laisser refroidir et diluer à 1000 ml ;
- Cette solution doit être étalonnée journallement.

4- Solution d'indicateur coloré (Féroïen) :

- Dissoudre 0,7 g de sulfate de fer (II) dans de l'eau distillée ;
- Ajouter 1,50 g de phénanthroline-1,10 monohydraté ;
- Diluer à 100 ml.

Annexe C

Tableau C1 : Résultats obtenus avec le lit bactérien (10/25 mm) sur une hauteur 40 cm au niveau de décanteur.

Date	Heure	pH	T (°c)	Turbidité (NTU)	O ₂ (mg/l)	O ₂ (%)	MES (mg/l)	MO (mg/l)	MM (mg/l)	DCO (mg/l)
26-03-2013	09 :00	8,20	20	14,72	1,2	21	40	31	9	134,4
26-03-2013	12 :00	7,82	22	12,24	1,3	24	20	15	5	76,8
27-03-2013	09 :00	7,79	21	11,82	1,1	16	20	11	9	67,2
27-03-2013	12 :00	7,55	21,5	7,92	1,7	20	10	9	1	67,2
28-03-2013	09 :00	8,2	18,5	5,15	1,4	18	20	18	2	86,4
28-03-2013	12 :00	7,98	21	10,47	1,2	14	20	15	5	48
01-04-2013	09 :00	7,94	20,1	5,15	0,8	09	10	7	3	19,2
01-04-2013	12 :00	7,3	18	4,09	0,9	12	10	7	3	19,2
02-04-2013	09 :00	7,2	18,8	1,25	0,8	10	10	5	5	19,2
02-04-2013	12 :00	7,2	18	0,54	0,8	10	10	5	5	19,1

{ Q d'entrée = 8 l/h.
 Q recyclage = 0,182l/min
 IB = 119,04 ml/g \longleftrightarrow la boue décante bien

Annexe C

Tableau C2 : Résultats obtenus avec le lit bactérien (10/25 mm) sur une hauteur 40 cm au niveau de décanteur.

Date	Heure	pH	T (°c)	Turbidité(NTU)	O ₂ (mg/l)	O ₂ (%)	MES (mg/l)	MM (mg/l)	MO (mg/l)	DCO (mg/l)
04-04-2013	09 :00	8,24	18,5	10,32	2	30	50	15	35	105,6
04-04-2013	12 :00	8,13	18	8,15	0,9	15	25	3	22	86,4
07-04-2013	09 :00	7,63	16,5	7,30	1,7	22	20	3	17	76,8
07-04-2013	12 :00	7,35	17,8	7,77	0,9	14	20	3	17	67,2
08-04-2013	09 :00	8,5	19	6,09	1,9	21	20	5	15	67,2
08-04-2013	12 :00	8,3	19,1	3,25	0,9	15	10	3	7	38,4
09-04-2013	09 :00	7,85	19	3,25	0,7	08	10	5	5	48
09-04-2013	12 :00	7,70	20	1,48	0,7	08	10	5	5	48
10-04-2013	09 :00	7,56	19	0,68	0,8	09	10	4	6	48

Q d'entrée = 10 l/h.

Q recyclage = 0,236 l/min.

IB = 138,88 ml/g \longleftrightarrow la boue décante bien.

Annexe C

Tableau C3 : Résultats obtenus avec le lit bactérien (10/25 mm) sur une hauteur 40 cm au niveau de décanteur.

Date	Heure	pH	T (°c)	Turbidité(NTU)	O ₂ (mg/l)	O ₂ (%)	MES (mg/l)	MM (mg/l)	MO (mg/l)	DCO (mg/l)
11-04-2013	09 :00	7,79	19	8,66	2,5	35	30	10	20	130
11-04-2013	12 :00	8,00	20	6,89	2	30	20	7,5	12,5	105,6
14-04-2013	09 :00	7,65	20	4,76	1,7	22	20	7	13	86,4
14-04-2013	12 :00	7,69	22	2,90	1,9	25	10	2	8	38,4
15-04-2013	09 :00	7,95	21	3,75	1,9	22	30	3	27	96
15-04-2013	12 :00	8,03	21	3,50	1,7	22	15	1	14	48,2
16-04-2013	09 :00	7,57	20	2,72	0,9	18	10	5	5	48
16-04-2013	12 :00	7,80	20,2	1,21	0,9	18	10	5	5	48
17-04-2013	09 :00	7,60	20,5	0,51	0,7	9	10	5	5	48

{ Q d'entré = 5 l/h.
Q recyclage = 0,121 l/min.
IB = 115,38 ml/g \longleftrightarrow la boue décante bien.

Annexe D

Tableau D1 : Résultats obtenus avec le lit bactérien (10/25 mm) sur une hauteur 80cm au niveau de décanteur.

Date	Heure	pH	T (°c)	Turbidité (NTU)	O ₂ (mg/l)	O ₂ (%)	MES (mg/l)	MO (mg/l)	MM (mg/l)	DCO (mg/l)
21-04-2013	09 :00	7,70	18	28,19	1,7	20	54	31	23	134,4
21-04-2013	12 :00	8,08	20	14,01	1,7	20	51	31	20	128
24-04-2013	09 :00	7,80	18	10,11	1,7	20	50	39	11	96,6
24-04-2013	12 :00	7,54	20	6,96	1,9	21	44	36	8	76,8
25-04-2013	09 :00	7,90	17,2	6,08	1,8	20	40	30	10	76,5
25-04-2013	12 :00	8,02	19	5,53	0,9	15	22	15	7	28,8
28-04-2013	09 :00	7,80	17,1	1,24	0,7	12	15	9	6	28,9
28-04-2013	12 :00	7,50	19	0,59	0,7	9	10	6	4	28,8

{ Q d'entré = 8 l/h.
Q recyclage = 0,182 l/min
IB = 105,38 ml/g \longleftrightarrow la boue décante bien

Annexe D

Tableau D2 : Résultats obtenus avec le lit bactérien (10/25 mm) sur une hauteur 80cm au niveau de décanteur.

Date	Heure	pH	T (°c)	Turbidité (NTU)	O ₂ (mg/l)	O ₂ (%)	MES (mg/l)	MO (mg/l)	MM (mg/l)	DCO (mg/l)
29-04-2013	12 :00	7,66	17	13,53	3	32	52	37	15	153,6
30-04-2013	09 :00	7,56	16	8,57	2,5	27	47	20	27	96
30-04-2013	12 :00	7,51	19	3,97	2,3	24	39	15	24	76,8
02-05-2013	09 :00	7,71	16,5	2,90	2	20	30	10	20	53,6
05-05-2013	09 :00	7,66	16,5	2,54	1,9	18	10	7	3	48
05-05-2013	12 :00	7,50	16,5	2,32	1,9	18	10	5	5	48
06-05-2013	09 :00	7,34	17,5	2,04	0,9	11	10	5	5	28,8
06-05-2013	12 :00	7,30	18,1	1,89	0,9	11	0	0	0	28,9
07-05-2013	09 :00	7,30	18,5	0,420	0,8	10	0	0	0	28,8

Q d'entré = 10 l/h.

Q recyclage = 0,236 l/min

IB = 104 ml/g \longleftrightarrow la boue décante bien

Annexe D

Tableau D3 : Résultats obtenus avec le lit bactérien (10/25 mm) sur une hauteur 80cm au niveau de décanteur.

Date	Heure	pH	T (°c)	Turbidité (NTU)	O ₂ (mg/l)	O ₂ (%)	MES (mg/l)	MO (mg/l)	MM (mg/l)	DCO (mg/l)
08-05-2013	09 :00	7,66	20	15,96	4	50	60	55	5	38,4
08-05-2013	12 :00	7,71	18,5	10,89	3,4	38	60	54	6	96
09-05-2013	09 :00	7,49	20,5	13,78	2,1	24	60	54	6	86,4
12-05-2013	09 :00	7,72	21,1	7,05	1,9	18	20	18	2	67,2
12-05-2013	12 :00	7,76	28	4,94	1,9	19	20	16	4	57,6
13-05-2013	09 :00	8,00	24	3,15	1,7	18	20	14	6	67,2
13-05-2013	12 :00	7,84	24	2,34	1,7	16	10	6	4	19,2
14-05-2013	09 :00	7,66	21	1,38	1,4	13	10	5	5	19,1
14-05-2013	09 :00	7,76	23	0,63	0,9	10	10	5	5	19,2
15-05-2013	12 :00	7,89	21	0,51	0,9	10	10	5	5	19,1

{ Q d'entré = 16 l/h.
 Q recyclage = 0,440 l/min
 IB = 95,23ml/g \longleftrightarrow la boue décante bien.

Annexe D

Tableau D4 : Résultats obtenus avec le lit bactérien (10/25 mm) sur une hauteur 80cm au niveau de décanteur.

Date	Heure	pH	T (°c)	Turbidité (NTU)	O ₂ (mg/l)	O ₂ (%)	MES (mg/l)	MO (mg/l)	MM (mg/l)	DCO (mg/l)
21-05-2013	09 :00	7,64	18	20,67	3	33	140	95	45	57,6
21-05-2013	12 :00	7,76	19	18,95	2,6	28	80	43	37	76,8
22-05-2013	09 :00	7,47	17	12,87	2,2	21	80	51	29	115,2
22-05-2013	12 :00	7,38	17,5	9,40	1,9	18	67	43	24	67,2
23-05-2013	09 :00	7,30	18	7,67	1,7	16	50	32	18	48
23-05-2013	12 :00	7,30	19	5,15	1,7	14	30	21	9	48
26-05-2013	09 :00	7,31	19	4,44	0,9	10	30	19	11	28,8
26-05-2013	12 :00	7,57	19	6,56	0,9	10	20	15	5	19,2
27-05-2013	09 :00	7,45	19,8	2,76	0,7	08	10	6	4	9,2
27-05-2013	12 :00	7,39	20	1,35	0,7	07	10	5	5	9,2
28-05-2013	09 :00	7,30	19	0,165	0,7	07	10	5	5	9,2

Q d'entré = 20 l/h.

Q recyclage = 0,650 l/min

IB = 95,104 ml/g \longleftrightarrow la boue décante bien

Annexe E

Tableau E1 : Résultats obtenus avec le Lit bactérien (25/40mm) sur une hauteur 40 cm au niveau de décanteur.

Date	Heure	pH	T (°c)	Turbidité (NTU)	O ₂ (mg/l)	O ₂ (%)	MES (mg/l)	MO (mg/l)	MM (mg/l)	DCO (mg/l)
29-05-2013	09 :00	7,92	18,5	22,65	3,5	40	142	72	70	134,4
29-05-2013	12 :00	7,88	19	18,75	3	33	96,1	58,4	37,7	76,8
30-05-2013	09 :00	7,47	17	9,89	2,2	21	80	51	29	57,6
02-06-2013	09 :00	7,53	19,4	7,40	1,9	20	67	45	22	28,8
03-06-2013	09 :00	7,89	21,5	3,86	1,9	20	50	32	18	28,8
03-06-2013	12 :00	7,85	22	0,32	0,9	18	10	7	3	28,8

{ Q d'entré =8 l/h.
Q recyclage = 0,182 l/min
IB = 125,104 ml/g \longleftrightarrow la boue décante bien

Annexe E

Tableau E2: Résultats obtenus avec le Lit bactérien (25/40mm) sur une hauteur 40 cm au niveau de décanteur.

Date	Heure	pH	T (°c)	Turbidité (NTU)	O ₂ (mg/l)	O ₂ (%)	MES (mg/l)	MO (mg/l)	MM (mg/l)	DCO (mg/l)
04-06-2013	09 :00	7,52	20,71	20,71	3,8	50	130,2	78	52,2	105,6
04-06-2013	12 :00	7,88	15,76	15,75	3,2	35	98	55	43	96,3
05-06-2013	09 :00	7,60	22	13,20	2,2	23	80	51	29	57,6
05-06-2013	12 :00	7,53	19,4	4,34	1,9	22	57	32	25	48
06-06-2013	09 :00	7,89	21,5	3,63	1,9	20	30	18	12	28,8
06-06-2013	12 :00	7,40	22	1,65	0,9	17	10	7	3	28,8
09-06-2013	09:00	7,33	21,1	0,80	0,7	15	10	6	4	28,8

Q d'entrée = 16 l/h.

Q recyclage = 0,440 l/min

IB = 95,104 ml/g \longleftrightarrow la boue décante bien

Annexe E

Tableau E3: Résultats obtenus avec le Lit bactérien (25/40mm) sur une hauteur 40 cm au niveau de décanteur.

Date	Heure	pH	T (°c)	Turbidité (NTU)	O ₂ (mg/l)	O ₂ (%)	MES (mg/l)	MO (mg/l)	MM (mg/l)	DCO (mg/l)
10-06-2013	09 :00	7,50	22,5	18,52	3,5	40	98,5	54	44,5	105
10-06-2013	12 :00	7,43	22	17,46	3,1	31	86	40	46	95
11-06-2013	09 :00	7,40	19,5	11,78	2,1	20	80	36	44	57,6
11-06-2013	12 :00	7,33	19,4	5,40	1,8	22	35	19	25	48
12-06-2013	09 :00	7,29	21,5	3,63	1,8	18	20	10	10	19,1
12-06-2013	12 :00	7,19	20	1,51	0,9	10	10	7	3	19,2
13-06-2013	09:00	7,10	20	0,89	0,7	10	10	6	4	19,2

Q d'entré =20 l/h.

Q recyclage = 0,650 l/min

IB = 105,10 ml/g \longleftrightarrow la boue décante bien

Annexe F

Tableau F1 : Résultats obtenus avec le Lit bactérien (25/40mm) sur une hauteur 80 cm au niveau de décanteur.

date	heure	pH	Température (°c)	Turbidité (NTU)	O2 (mg/l)	O2(%)	MES (mg/l)	MO (mg/l)	MM (mg/l)	DCO (mg/l)
16-06-2013	09 :00	7,78	27	25,54	2,9	26	100	68	32	105
16-06-2013	12 :00	7,84	28	19,98	2,7	23	105	70	35	96
17-06-2013	09 :00	7,50	27	15,76	1,9	21	86	54	32	86,3
17-06-2013	12 :00	7,30	27	11,09	1,7	19	72	43	29	36,4
18-06-2013	09 :00	7,35	27	10,08	0,9	10	60	39	21	28,4
18-06-2013	12 :00	7,66	28	9,54	0,8	09	60	39	21	48,6
19-06-2013	09 :00	7,09	24	7,12	0,5	07	46	29	27	36,7
19-06-2013	12 :00	7,10	24	4,98	0,4	06	35	22	13	48,4
20-06-2013	09 :00	7,4	28	2,46	0,3	05	20	15	5	48
20-06-2013	12 :00	7,27	27,5	1,56	0,4	05	20	15	5	48

Q d'entrée = 8 l/h.

Q recyclage = 0,182 l/min.

IB = 115,34 ml/g \longleftrightarrow la boue décante bien.

Annexe F

Tableau F2 : Résultats obtenus avec le lit bactérie (25/40mm) sur une hauteur 80cm au niveau de décanteur.

date	heure	pH	Température (°c)	Turbidité (NTU)	O2 (mg/l)	O2(%)	MES (mg/l)	MO (mg/l)	MM (mg/l)	DCO (mg/l)
23-06-2013	09 :00	7,6	23	28,54	1,9	20	134	69	65	100
23-06-2013	12 :00	7,6	24	25,90	1,7	19	109	60	49	86
24-06-2013	09 :00	7,8	22	23,26	1,6	17	80	51	29	54,3
24-06-2013	12 :00	7,67	23	20,19	0,7	19	67	42	25	34,4
25-06-2013	09 :00	7,35	21	19,08	0,9	10	51	38	13	34,4
25-06-2013	12 :00	7,6	21	16,84	0,8	09	49	33	16	28,1
26-06-2013	09 :00	7,20	20	12,12	0,5	07	46	29	17	28,7
26-06-2013	12 :00	7,10	21	8,18	0,4	06	30	21	9	28,4

Q d'entré = 16 l/h.

Q recyclage = 0,440 l/min.

IB = 102,14 ml/g \longleftrightarrow la boue décante bien.

Annexe F

Tableau F3 : Résultats obtenus avec le lit bactérien (25/40mm) sur une hauteur (80cm) au niveau de décanteur.

date	Heure	pH	Température (°c)	Turbidité (NTU)	O2 (mg/l)	O2(%)	MES (mg/l)	MO (mg/l)	MM (mg/l)	DCO (mg/l)
27-06-2013	09 :00	7,78	27	24,94	0,9	12	100	68	32	96
27-06-2013	12 :00	7,84	28	19,14	0,9	12	105	70	35	86,4
30-06-2013	09 :00	7,50	27	16,76	0,7	10	86	54	32	86,3
30-06-2013	12 :00	7,30	27	12,29	0,9	12	72	43	29	54,7
01-07-2013	09 :00	7,35	27	10,38	0,9	12	60	39	21	48,4
01-07-2013	12 :00	7,66	28	9,54	0,8	09	60	39	21	28,6
02-07-2013	09 :00	7,09	24	7,12	0,4	07	46	29	27	28,2
02-07-2013	12 :00	7,10	24	2,88	0,3	05	20	12	8	28,2

Q d'entré =20 l/h.

Q recyclage = 0,650 l/min.

IB = 96,34 ml/g \longleftrightarrow la boue décante bien.