

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

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 Aboubakr Belkaïd- Tlemcen –

Faculté de TECHNOLOGIE



THESE

Présentée pour l'obtention du grade de DOCTEUR EN SCIENCES

En : hydraulique

Spécialité : hydraulique

Par : Chachoua Mounira

Sujet

Contribution à l'étude des performances épuratoires du lagunage naturel en Algérie

Soutenue publiquement, le 07 /03 / 2018 , devant le jury composé de :

Mr Megnounif Abdesselam	Professeur	Univ. Tlemcen	Président
Mr Seddini Abdelali	Professeur	Univ. Tlemcen	Directeur de thèse
Mr Benslimane Mohamed	Maitre de	Univ. Mascara	Co-Directeur de thèse
	Conférences A		
Mr Miloudi Ali	Professeur	Univ. Mascara	Examineur
Mr Tidjani Abdellatif Elbari	Professeur	Univ .USTO Oran	Examineur

Remerciement :

Au préambule de ce modeste travail, je remercie vivement Dieu de m'avoir donné la force et le courage pour accomplir ce travail. Je tiens à exprimer mes profondes gratitude et sincères remerciements à :

- Monsieur MEGNOUNIF Abdesselam, professeur à l'université de Tlemcen, d'avoir accepté de présider ce jury.

- Mr MILOUDI Ali, professeur à l'Université de Mascara et Mr TIDJINI Abdellatif Elberi, professeur à l'université d'Oran, d'avoir accepté d'examiner cette thèse.

- Mes encadreurs Mr SEDDINI Abdelali et Mr BENSLIMANE Mohamed pour l'aide précieuse et les conseils judicieux qu'ils n'ont cessé de m'apporter au cours de la réalisation de ce travail.

Ce travail a vu la collaboration de plusieurs personnes, je les remercie pour l'offre de toutes les informations qu'ils voulu les mettre à ma disposition. Par la même occasion, je tiens à remercier également :

- Mr Fasla, directeur et Mme Nasira adjoint directeur de l'ONA d'Ain Temouchen, Melle Slimani Amaria, Mme Chikhe Saliha, ingénieurs, ainsi que le personnel des laboratoires d'Ain Houtz et de Hassi El Ghala*
- Mr Bensalah, chef de service d'assainissement de la direction d'hydraulique de la wilaya d'Ain Témouchent*
- M^{me} Derfouf Fatiha et Chomissa, ingénieurs à la DRE d'Ain Temouchent.*

Enfin, je tiens à remercier mes parents qui sont toujours avec moi pas par pas, et me poussent vers le progrès et la réussite que dieu les bénit. Je n'oublierai jamais la patience, les aides, les dévouements, soutiens et encouragements que m'a offert mon mari, qui me tirent toujours plus haut et me poussent toujours plus loin. Je le remercie infiniment.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à :

- *Mes chers parents et mon mari que je les aime beaucoup*
- *Mon frère Sedik, mes sœurs Rahma et son mari, Samira et son mari, et ma très chère mayoussa à qui je souhaite tout le bonheur et la réussite.*
- *Mes très chers trésors Mouhamed Amine et Aya Rahma, j'ai pris beaucoup de votre temps pour réaliser ce travail. Sans oublier l'adorable Moussa, que je l'aime beaucoup.*
- *A Wahiba Nabi qui m'a beaucoup aidé lors de l'étape de la publication que la remercier infiniment.*
- *A tous mes oncles et mes tantes et mes cousins.*
- *Au mon directeur du travail monsieur Naoum Mourade que je le remercie beaucoup pour l'aide précieux et le soutien offert, sans oublier l'ancien directeur monsieur Mokhtari Zinedine.*

- *A tous mes collègues du centre universitaire de Maghnia.*

Résumé

Le lagunage naturel se présente comme le système d'épuration le mieux adapté pour les agglomérations rurales du fait de leur faible charge polluante. Outre, l'impact environnemental et sanitaire, le lagunage naturel offre la possibilité de contribuer à atténuer la crise de l'eau, dont souffre le secteur de l'agriculture en Algérie par la réutilisation des eaux usées épurées comme complément à l'irrigation. Tel est l'objectif de cette contribution pour l'étude des performances épuratoires du lagunage naturel en Algérie.

A cet effet, le choix a été porté sur six stations de lagunage naturel réparties sur le littoral oranais (Amir Ebdel Kader, Sidi Safi, El Maleh, El Amria, Hassi El Ghala, Sidi Senoussi). Les analyses effectuées sur les eaux entrantes et sortantes des lagunages, ont porté sur les paramètres suivants : pH, MES, DBO₅, DCO, NH₄⁺, NO₃⁻, PO₄ et la conductivité électrique. Cela durant les années 2010, 2011 et 2012 avec une fréquence de prélèvement d'échantillons deux fois par mois.

Les résultats obtenus, montrent que ce procédé épuratoire utilisant deux filières (prétraitement, traitement secondaire) reste insuffisant et ne répond pas aux normes de qualité requise pour l'usage agricole pour les paramètres: MES, DBO₅, DCO. Pour la préservation du milieu récepteur les résultats n'ont pas été conformes aux normes pour les paramètres MES, DBO₅, DCO, PO₄, NH₄.

Les rendements moyens d'abattements des stations de lagunage étudiés sont moyens pour l'ensemble des paramètres étudiés.

Alors d'après ce travail on peut conclure que le lagunage naturel seul n'est pas suffisant pour avoir une eau épurée conforme à la qualité exigée pour une réutilisation agricole.

Alors l'ajout d'un complément de traitement tertiaire, tel que les bassins de filtres plantés en macrophytes est nécessaire. Un modèle de traitement tertiaire est proposé à titre indicatif pour une éventuelle application des filtres plantés.

Mots clés : eaux usées, lagunage naturel, performance, réutilisation, Algérie.

Abstract

This study seeks to show that natural lagooning is the most suitable treatment system for rural agglomerations because of their low polluting load. Besides, the environmental and health impact, natural lagooning offers the opportunity to help mitigate the water crisis, which suffers the sector of agriculture in Algeria by the reuse of wastewater to be purified as complement to the irrigation. This is the objective of this contribution for the study of the purification performance of natural lagooning in Algeria.

For this purpose, the choice was made on six natural lagoon stations distributed on the Oranan coast (Amir Ebdel Kader, Sidi Safi, El Maleh, El Amria, Hassi El Ghala, Sidi Senoussi). The analyzes carried out on the incoming and outgoing waters of the lagoons covered the following parameters: pH, MES, DBO₅, DCO, NH₄⁺, NO₃⁻, PO₄ and the electrical conductivity. This during the years 2010, 2011 and 2012 with a frequency of sampling twice a month.

The obtained results, show that this purification process using two dies (Pretreatment, secondary treatment) remains insufficient and does not meet the quality standards required for the desired agricultural use. These low yields of removal lead to additional tertiary treatment, such as filter ponds planted with macrophytes. A model of tertiary treatment is proposed as an indication for a possible application of the planted filters.

Key words: wastewater, natural lagooning, performance, reuse, Algeria.

ملخص

تعتبر البحيرة الطبيعية النظام الأمثل لتصفية المياه القذرة من اجل التجمعات السكانية الريفية؛ ذلك نظرا لنقص درجة التلوث بهذه المياه المستعملة. زيادة على مزايا هذا النظام البيئية والصحية، البحيرة الطبيعية قد تمكننا من تخفيف من حدة أزمة نقص المياه التي يعاني منها مختلف القطاعات ببلادنا وخصوصا قطاع الفلاحة وذلك بإعادة استعمال المياه القذرة المصفاة ، لسقي الأراضي الفلاحية.

الهدف من هذه الدراسة هو معرفة كفاءة هذا النظام في توفير مياه معالجة وفق معايير السقي الفلاحي.

لهذا اخترنا ست محطات للبحيرة الطبيعية: سدي صافي، أمير عبد القادر، المالح ، العامرية ، حاسي الغلة،سيدي سنوسي.

لقد قمنا بتحليل المياه الداخلة و الخارجة من هذه المحطات، ذلك على أساس المعايير الفيزيو كيميائية pH , MES, DBO_5 , DCO, NH_4^+ , NO_3^- , PO_4 التوصيل الكهربائي خلال سنة 2010, 2011, 2012 مرتين في الشهر .

في الأخير ، تم استنتاج أن البحيرات الطبيعية غير كافية لتوفير مياه صالحة للسقي الفلاحي. هذه الحالة و الإزالة المنخفضة تفرض علينا زيادة معالجة الثالثة نقترح ان تكون من نوع الأحواض المغروسة.

الكلمات المفتاحية : المياه القذرة ، البحيرة الطبيعية، الكفاءات، إعادة استعمال المياه ، الجزائر.

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Principe de fonctionnement de lagunage à microphytes	21
Figure 2: Les bassins de lagunage à microphytes	24
Figure 3: Pprocédé de lagunage à microphytes	24
Figure 4 : Curage d'un bassin (Cemagref, 2004)	27
Figure 5 : La station d'épuration de la fromagerie de Montiels 2005	30
Figure 6 : Situation géographique des stations de lagunage étudiées	40
Figure 7 : Limites des communes de la wilaya d'Ain T'émouchent	41
Figure 08 : Situation géographique de site d'étude Sidi Senoussi source	43
Figure 09: Pluie moyenne mensuelle dans la station de Béni Saf (1994-2001)	45
Figure 10: Variation de températures mensuelles de la station de Béni Saf (1994-2001)	46
Figure 11 : La valeur moyenne mensuelle d'évaporation potentielle en mm station Ain Temouchent (2004-2005)	47
Figure 12 : Variation des heurs d'ensoleillement (station beni saf 1994-2001)	49
Figure 13 : Pluviométrie mensuel inter annuel (1981-2003) station Izdihar	51
Figure 14 : Pluviométrie mensuel moyen interannuel 1970-2002 (Station Bensekran)	51
Figure 15 : Carte pluviométrique du bassin de la Tafna (1970/98)	52
Figure 16 : Répartition spatio-temporelle de la température moyenne mensuelle - Station de Bensekrane	53
Figure17 : Moyennes des évaporations mensuelles (station Sidi Abdelli) 2004-2005	54
Figure 18 : Vue dessus de la station de l'Amir Ebdel Kader (Google Earth)	56
Figure 19: Bassin facultatif du lagunage Amir Ebdel Kader	58
Figure 20 : Bassin de maturation du lagunage Amir Ebdel Kader	58
Figure 21 : Bassin De Décantation + bassin de désinfection du lagunage Amir Ebdel Kader	59
Figure 22 : Schéma des ouvrages constituant la station de lagunage de l'AEK	60
Figure 23 : Vue de dessus du lagunage El Maleh(Google Earth)	61
Figure 24 : Schéma de la station de lagunage d'El Maleh	62
Figure 25 : Photo aérienne du lagunage de Sidi Safi	63
Figure 26 : Schéma du lagunage de Sidi Safi	65

Figure 27 : Vue de dessus du lagunage de Sidi Senoussi	66
Figure 28 : Grille grossière du lagunage Sidi Senoussi	66
Figure 29 : Les bassins de dessablage du lagunage Sidi Senoussi	67
Figure 30 : Les bassins anaérobies du lagunage Sidi Senoussi	68
Figure 31 : Bassin facultatif du lagunage Sidi Senoussi	69
Figure 32 : Bassin de maturation du lagunage Sidi Senoussi	69
Figure 33 : Schéma du lagunage de Sidi Senoussi	70
Figure 34 : Photo aérienne du lagunage d'El Amria	75
Figure 35 : Schéma des ouvrages constituant de lagunage de l'Amria	72
Figure 36 : Vues dessus du lagunage Hassi El ghala	73
Figure 37 : Schéma de la station de lagunage de Hassi El Ghala	75
Figure 38 : Variation de pH pour le lagunage Sidi Senoussi (2010-2011)	82
Figure 39 : Variation de pH pour le lagunage d'Amir Ebdel Kader(2010-2012)	83
Figure 40 : Variation de pH lagunage de Sidi Safi (2010-2012)	83
Figure 41 : Variation de pH lagunage d'El Maleh(2011-2012)	84
Figure 42 : Variation de pH lagunage d'El Amria (Mai 2011- Novembre2012)	84
Figure 43 : Variation de pH lagunage de Hassi El Ghala (2011)	85
Figure 44 : Variation des concentrations des MES(en mg/l) de Sidi Senoussi (2010-2011)	85
Figure 45 : Variation des concentrations des MES d'Amir Ebdel Kader (2010-2012)	86
Figure 46 : Les variations des concentrations des MES en mg/l de Sidi Safi (2010-2012)	86
Figure 47 : Les variations des concentrations des MES (en mg/l) d'El Maleh	87
Figure 48 : Les variations des concentrations des MES (en mg/l) d'El Amria	87
Figure 49 : Variation des concentrations des MES (en mg/l) du Lagunage H. Ghala(2011)	88
Figure 50 : Variation des concentrations de DBO ₅ (en mg/l) Sidi Senoussi (2010-2011)	89
Figure 51 : Variation des concentrations de DBO ₅ (en mg/l) d'Amir Ebdel Kader	89
Figure 52 : Variation des concentrations de DBO ₅ (en mg/l) de Sidi Safi(2010-2012)	90
Figure 53 : Variation des concentrations de DBO ₅ (en mg/l) d'El Maleh(2011-2012)	90
Figure 54: Variation des concentrations de DBO ₅ (en mg/l) de H Ghala (2011)	91

Figure 55: Variation des concentrations de DBO ₅ (en mg/l) d'El Amria (2011- 2012)	91
Figure 56 : Variation des concentrations de DCO (en mg/l) de Sidi Senoussi (2010-2011)	92
Figure 57 : Variation des concentrations de DCO d'Amir Ebdel Kader (2010-2012)	92
Figure 58: Variation des concentrations de DCO (en mg/l) El Maleh	93
Figure 59: Variation des concentrations de DCO (en mg/l) de Sidi Safi (2010-2012)	93
Figure 60 : Variation des concentrations en DCO (en mg/l) de H. El Ghala (2011)	94
Figure 61 : Variation des concentrations de DCO (en mg/l) d'El Amria (2011-2012)	94
Figure 62 : Variations des concentrations de l'ammoniaque (en mg/l) de Sidi Senoussi	95
Figure 63 : Variations des concentrations de l'ammoniaque (en mg/l) d'AEK	95
Figure 64 : Variation des concentrations de l'ammoniaque (en mg /l) de Sidi Safi	96
Figure 65 : Variations des concentrations de l'ammoniaque du Hassi El Ghala (2011)	96
Figure 66 : Variation des concentrations des nitrates (en mg /l) Sidi Senoussi (2010-2011)	97
Figure 67 : Variation des concentrations des nitrates (en mg /l) d'Amir Ebdel Kader	97
Figure 68 : Variation des concentrations des nitrates (en mg /l) de Sidi Safi (2010)	98
Figure 69 : Variation des concentrations des nitrates (en mg /l) H Ghala(2011)	98
Figure 70: Variation des concentrations de PO ₄ en mg /l de lagunage de Sidi Senoussi	99
Figure 71 : Les variations de la conductivité de lagunage de Sidi Senoussi (2011-2012)	99
Figure 72 : Les variations de la conductivité de lagunage de Sidi Safi(2011-2012)	100
Figure 73 : Les variations de la conductivité de lagunage d'AEK (2011-2012)	100
Figure 74 : Les variations de la conductivité de lagunage d'El Maleh (2011-2012)	101
Figure 75 : Les variations de la conductivité de lagunage du Hassi El Ghala (2011-2012)	101
Figure 76 : Les variations de la conductivité d'El Amria (2011-2012)	102
Figure 77: Variation du rendement interannuel Sidi Senoussi (2010-2011)	105
Figure 78: Variation du rendement interannuel Amir Ebdel Kader (2010-2012)	105
Figure 79 : Variation du rendement interannuel de Sidi Safi (2010-2012)	106
Figure 80 : Variation du rendement interannuel lagunage El Amria (2011-2012)	106
Figure 81 : Variation du rendement interannuel en MES d' El Maleh(2011-2012)	107
Figure 82: Rendement moyen d'abattement des MES des lagunages étudiés	108

Figure 83 : Variation du rendement MES en fonction des concentrations entrantes	108
Figure 84 : Variation du rendement des MES en fonction du temps de séjour	109
Figure 85 : Variation des rendements interannuel de DBO ₅ Sidi Safi(2010-2012)	110
Figure 86 : Variation du rendement interannuel de DBO ₅ Amir Ebdel Kader(2010-2012)	111
Figure 87 : Variation du rendements interannuel de DBO ₅ El Maleh(2011-2012)	111
Figure 88: Variation du rendement interannuel de DBO ₅ El Amria(2011-2012)	112
Figure 89 : Variation du rendement interannuel de DBO ₅ du lagunage de Sidi Senoussi	112
Figure 90 : Rendements moyen d'abattement de DBO ₅ des lagunages étudiés	113
Figure 91 : Rendement moyenne DBO en fonction concentration moyenne entrante	113
Figure 92 : Rendement de DBO ₅ en fonction du temps de séjours	114
Figure 93 : Variation du rendement interannuel de DCO AEK (2010-2012)	116
Figure 94 : Variation de rendement interannuel de DCO El Amria (2011-2012)	116
Figure 95 : Variations du rendement interannuel de DCO de Sidi Safi(2010-2012)	117
Figure 96 : Variation du rendement interannuel de DCO à El Maleh(2011-2012)	117
Figure 97 : Variation du rendement interannuel de DCO du lagunage de Sidi Senoussi	118
Figure 98 : Les rendements moyens de DCO des lagunages étudiés	118
Figure 99 : Rendement de DCO en fonction du temps de séjour	119
Figure 100 : Rendement DCO en fonction concentration moyenne entrante	119
Figure 101 : Variation du rendement interannuel de l' NH ₄ du Sid Senoussi (2010-2011)	121
Figure 102 : Rendement moyen de l'ammonium des lagunages étudiés	121
Figure 103 : Variation du rendement de l' NH ₄ en fonction du temps de séjour	122
Figure 104 : Variation du rendement du NH ₄ en fonction de la concentration entrante	122
Figure 105 : Variation du rendement interannuel du nitrate (Sidi Senoussi 2010-2011)	124
Figure 106 : Rendement moyen de nitrate des lagunages étudié	125
Figure 107 : Variation du rendement des nitrates en fonction du temps de séjour	125
Figure 108 : Variation du rendement de NH ₃ en fonction de la concentration entrant	126
Figure 109: Variation du rendement interannuel de PO ₄ pour Sidi Senoussi (2010-2011)	127
Figure 110 : Les rendements moyens de la conductivité des lagunages étudiés (2011)	129

Figure 111 : Variation du rendement en fonction du temps de séjours	129
Figure 112: Rendement de la conductivité en fonction de la conductivité entrante	130
Figure n° 113 : Schéma descriptif de la STEP proposée	146

Liste des tableaux

Tableau 1: Répartition spatiale des eaux souterraines du Nord Algérie	6
Tableau 2 : Les normes admises des paramètres microbiologiques	9
Tableau 03 : Les normes admises des paramètres physico-chimiques	10
Tableau 04 : Le programme de la réutilisation des eaux épurées à des fins agricoles	12
Tableau n °5 :Les stations d'épuration utilisées à des fins agricoles	14
Tableau 06 : Évolution du linéaire et du taux de raccordement au réseau d'assainissement	18
Tableau 7: Qualité moyenne des eaux épurées en sortie des lagunes (en mg/l)	29
Tableau 8 :Les résultats obtenus par le pilote de Sertine	37
Tableau 09 : Les coordonnées UTM des stations de lagunage étudiées	44
Tableau n 10 : Pluie moyenne mensuelle dans la station de Béni Saf durant la période 1994-2001	45
Tableau 11 : Variation de températures mensuelles de la station de Béni Saf(1994-2001)	46
Tableau 12 : Les valeurs moyennes d'évaporation potentielle en mm station d'Ain Temouchent 2004-2005	47
Tableau n 13 : Variation des heures d'ensoleillement mensuel (1994-2001)	48
Tableau n°14 : Moyenne des précipitations mensuelles (station izdihar) 1981-2003	50
Tableau15 : Moyenne des précipitations mensuelles (station Ben Sekran) 1970-2002	50
Tableau 16: La température moyenne mensuelle - Station de Bensekrane (1984-2002)	54
Tableau 17 : Moyennes des évaporations mensuelles (station Sidi Abdelli) 2004-2005	53
Tableau 18: Les données de base des stations de lagunages étudiées	54
Tableau n° 19: Normes de rejet des eaux usées	81
Tableau n°20 : Les valeurs moyennes entrantes et sortantes du pH	102
Tableau n°21 : Les concentrations moyennes entrantes et sortantes en MES(en mg/l)	103
Tableau n°22 : Les concentrations moyennes entrantes et sortantes en DBO ₅ en mg/l	109
Tableau n°23 : Les concentrations moyennes entrantes et sortantes en DCO en mg/l	115
Tableau n°24 : Les concentrations moyennes entrantes et sortantes en Ammonium	120

Tableau n°25 : concentrations moyennes entrantes et sortantes en nitrates en mg/l 123

Tableau n°26 : Les concentrations moyennes entrantes et sortantes de PO₄ de 126

Sidi Senoussi

Tableau n°27 : Les valeurs moyennes entrantes et sortantes de la conductivité en µs/cm 128

ABREVIATION

AEK : Amir Abdel Kader

CE : conductivité électrique

DBO₅ : la demande biologique en oxygène durant 5 jours

DCO : la demande chimique en oxygène

EH : équivalent habitant

ENTR : entrant

EU : eaux usées

EUT : eaux usées traitées

FAO : food and agriculture organisation

FPHR : filtre planté verticale roseau

FPVR : filtre planté verticale roseau

GPI : grand périmètre irrigué

MES : matières en suspensions

MTH : maladies à transmission hydrique

ONA : office nationale d'assainissement

ONID : office nationale de l'irrigation et de drainage

pH : potentiel hydrogène.

SAU : surface agricole utile

SORT : sortant

STEP : station d'épuration

MRE : Ministère des ressources en eau

Sommaire	page
Introduction générale.....	1
I. Partie bibliographie	
Chapitre I : ETAT DE L'ART DE LA REUTILISATION DES EAUX USEES	4
I : Etat de l'art de la réutilisation des eaux usées	4
I.1. Introduction.....	5
I.2 Etat des ressources en eau en Algérie.....	5
I.3.L'état de l'irrigation en Algérie.....	7
I.4. Les risques sanitaires liés à la réutilisation	8
I.5 L'expérience de la réutilisation des eaux usées au Maghreb	11
I.5.1 La réutilisation des eaux usées traitées en Tunisie.....	11
I.5.2 La réutilisation des eaux usées épurées au Maroc	11
I.5.3. 1 La réutilisation des eaux usées traitées en Algérie.....	12
I.6. Etat d'assainissement en Algérie.....	16
Chapitre II : LE LAGUNAGE NATUREL.....	19
II. Le lagunage naturel.....	19
II.1. Historique.....	20
II.2 Principe de fonctionnement de lagunage naturel.....	20
II.3. Le lagunage à microphytes.....	23
II.4. Dimensionnement du lagunage naturel.....	25
II.5. Entretien des lagunes.....	26
II.6. Les performances épuratoires de lagunage.....	27
II.7. Les filtres plantés	29
II.7.1. Les performances épuratoires des filtres plantés.....	31
II.7.2. Les performances épuratoires des filtres plantés en Algérie.....	32
II.8. L'association entre le lagunage naturel et le filtre planté.....	34
II.9. Conclusion.....	37
III. Partie expérimentale	
Chapitre III : Matériels et méthodes	39
III : Matériels et méthodes	39
III.1 Zone d'étude.	40
III.2.Situation géographique	40

III.3. Contexte climatique.....	44
III.3.1 L'études climatologique des stations qui se situent dans la wilaya d'Ain Temouchent	44
III.3.2. L'études climatologique de Sidi Senoussi (wilaya de Tlemcen).....	50
III.4 Description des stations de lagunage.....	55
III.4.1. Description des ouvrages constituant de la station de lagunage d'Amir Abel	56
III.4.2. Description des ouvrages constituant de la station de lagunage d'El Maleh.....	60
III.4.3 Description des ouvrages constituant de la station de lagunage Sidi Safi.....	63
III.4.4. Description des ouvrages constituant de la Station de Sidi Senoussi	69
III.4.5 Description des ouvrages constituant de la La station d'El Amria	70
III.4.6. Description des ouvrages constituant de la Hassi El Ghala.....	73
III.5. Méthodes d'analyse	75
III.5.1 Méthode de prélèvement des échantillons	76
III.5.2 Matériel utilisés	76
Chapitre IV : Résultats et interprétation	80
Résultats et interprétation	80
IV.1.Introduction	81
IV.2 Normes de rejets des eaux usées.....	81
IV.3. Les résultats des analyses.....	82
IV.3.1. Les résultats du pH.....	82
IV.3.2. Les résultats des matières en suspension.....	85
IV.3.3 Les résultats de la DBO ₅	88
IV.3.4 Les résultats de la DCO.....	92
IV.3. 5 Les résultats de NH ₄	95
IV.3.6. Les résultats des nitrates.....	96
IV.3.7. les résultats du phosphore	98
IV.3. 8 les résultats de la conductivité	103
IV.4 Interprétation des résultats	102
IV.4.1 Interprétation des résultats de pH	102
IV.4.2. Interprétation des résultats des matières en suspension.....	103
IV.4.3. Interprétation des résultats de la DBO ₅	109
IV.4 .4. Interprétation des résultats de La demande chimique en oxygène.....	115
IV.4.5 Interprétation des résultats de Ammonium.....	120

IV.4.6. Interprétation des résultats de Les nitrates.....	123
IV.4.7 Interprétation des résultats du phosphore	126
IV.4.8 Interprétation des résultats de laConductivité	128
Chapitre V- Proposition d'un modèle de phytoépuration.....	134
V.1. Introduction.....	135
V.2 Les différents types d'eaux à traiter	136
a- Les eaux brutes.....	136
b- Les eaux décantées.....	136
c- Les eaux issues d'un traitement biologique.....	136
V.3 Les contraintes à lever.....	137
V.4- Rendements attendus.....	137
V.5 Conception d'une installation à lits, planté en macrophytes.....	137
V.6- Dimensionnement du bassin complémentaire à écoulement horizontal.....	142
V.6. 1 Surface nécessaire.....	143
V.6.2 Les matériaux pour les filtres à écoulement horizontal.....	143
V.6.3 La dénivelée	144
.V.6.4 Dispositif à mètre en place.....	144
V.6.5 Le temps du séjour des EU.....	144
V.7 Aspect économique.....	144
V.8. Conclusion	147
VI. Conclusion générale	148

Introduction générale

La problématique de l'assainissement des eaux usées en Algérie est un sujet qui demeure entier, malgré les nombreuses initiatives entreprises jusqu'à ce jour. Les problèmes d'irrigation, par manque d'eau, dont souffre l'agriculture en Algérie, se sont nettement aggravés ces dernières années. Cette problématique est aussi liée, pour une grande part, aux effets du réchauffement climatique à l'échelle de la planète. Comme c'est le cas, d'ailleurs, pour de nombreux pays, en Algérie l'explosion démographique, l'urbanisation sauvage, l'industrialisation non respectueuse de l'environnement ont été, ces dernières années, les principaux facteurs aggravants ce phénomène. Même si l'été reste la période propice pour la pratique de l'irrigation des cultures à partir des eaux usées pompées à partir des oueds, certains fellahs utilisent cette eau pour irriguer à longueur de l'année.

Le potentiel de la réutilisation des eaux usées épurées à des fins agricoles a évolué d'une manière significative d'environ 17 millions de m³, en 2011 à environ 200 millions de m³ en 2014, et le nombre des stations concernées est de 25 stations (Hanachi et al, 2014).

Un plan d'action entre ONA et ONID (Office national d'irrigation et de drainage) est en cours d'étude, pour définir les possibilités réelles d'une éventuelle réutilisation des eaux usées épurées des stations d'épuration exploitées par l'ONA pour l'irrigation des grands périmètres d'irrigation (GPI) gérés par l'ONID au niveau des cinq (05) bassins hydrographiques à l'échelle nationale . (Hanachi et al , 2014)

Le lagunage naturel a été introduit en Algérie depuis bientôt 20 ans, mais cette technique rustique d'épuration d'eaux usées n'a pas encore trouvé sa véritable place dans les concepts de recyclage à l'usage agricole du fait des insuffisances épuratoires constatées. Au niveau expérimental, les procédés de lagunage montrent de bonnes perspectives d'implantation, mais aucune station n'a encore réellement fonctionné à grande échelle, pour des raisons d'ordre législatif. L'absence de formation et l'insuffisance de la recherche expliquent également l'échec constaté.(Boualla , 2011)

Par ailleurs, l'Algérie se situe parmi les pays les plus pauvres en matière de potentialités hydriques, soit en dessous du seuil théorique de rareté fixé à 1.000 m³ par habitant et par an. Si en 1962, la disponibilité en eau théorique par habitant et par an était de 1.500 m³, elle n'était plus que de 720 m³ en 1990, 680 m³ en 1995, 630 m³ en 1998 (CNES, 2000).

Estimée actuellement à environ 600 m³, elle ne sera que de 400 m³, en 2020 et serait encore plus réduite ramenée aux ressources en eau mobilisables (Boualla , 2011).

Cette situation liée à la faiblesse de la ressource, aggravée par la sécheresse et une pollution urbaine, industrielle et agricole. Une mauvaise gestion impliquera des conflits sérieux entre les différents utilisateurs. La majorité des zones de culture est localisée là où l'eau est rare et difficile à exploiter; 65% de la capacité hydrique vont à l'agriculture et 35 % pour l'alimentation en eau potable (AEP) et les autres secteurs. C'est pour cette raison que l'on doit envisager d'autres alternatives en vue de mobiliser et de gérer au mieux cette ressource. Malheureusement, ces démarches sont lentes et coûteuses pour l'état et les collectivités, la solution économique, rapide et idéale serait l'utilisation des eaux épurées à des fins agricoles.

La réutilisation des eaux usées en agriculture permet d'économiser l'eau de qualité supérieure qui est destinée à la consommation quotidienne des citoyens. L'irrigation par ces eaux usées épurées qui deviendraient disponibles, va permettre aux agriculteurs d'avoir confiance, ainsi ils seront encouragés à pratiquer tous types de culture sans crainte de sécheresse.

Ces eaux usées chargées de fertilisants permettent aux agriculteurs d'économiser les frais d'utilisation des amendements agricoles. Par conséquent, l'épuration des eaux usées devient une nécessité impérieuse si on veut protéger notre cadre de vie et nos ressources en eau et également de créer une nouvelle ressource en eau qui va soulager la crise de pénurie d'eau.

En Algérie le nombre des stations d'épuration en exploitation est de 130 (61 STEP et 66 stations de lagunage : 39 naturels et 27 aérées, et 3 filtres plantés) pour une capacité installée actuelle de 16.56 millions m³/an, donc, le lagunage naturel couvre un taux élevé (31%) dans le parc des stations d'épuration en Algérie (ONA, 2015).

Le système de lagunage naturel apparaît être le plus adéquat dans les zones rurales par sa simplicité. C'est pour cette raison que nous avons effectué cette étude qui permet d'examiner la qualité des eaux épurées par ce dernier, et d'identifier les problèmes et les imperfections. Puis nous cherchons à trouver les solutions techniques qui s'imposent à l'amélioration de la qualité des eaux épurées par le lagunage naturel en Algérie.

La présente contribution intitulée « **contribution à l'étude des performances épuratoires de lagunage naturel en Algérie** » est structurée en Cinq parties complémentaires, correspondantes aux chapitres suivantes :

1. **Etat de l'art de la réutilisation des eaux usées** : La première tâche est consacrée à une synthèse bibliographique en matière de réutilisation des eaux usées traitées. Dans la même logique, un aperçu général est établi à travers l'expérience des pays voisins.
2. **Le lagunage naturel** : La seconde tâche est réservée à un aperçu bibliographique sur le lagunage naturel en tant que procédé d'épuration des petites collectivités, largement utilisé en milieu rural.
3. **Matériel et méthodes** : Cette tâche est réservée aux matériels et aux méthodes utilisées pour mener nos travaux, en l'occurrence la description de la zone d'étude et des stations de lagunages retenues à cet effet, à savoir : Amir Ebdel Kader, Sidi Safi, El Maleh, El A mria, Hassi El Ghala, Sidi Senoussi. Outre, cette analyse descriptive des stations retenue, il sera procédé à la présentation du mode opératoire d'analyses physicochimiques des paramètres mis en jeu dans cette étude.
4. **Résultats et interprétation** : Cette partie est consacrée à l'exposition des résultats des analyses et leurs interprétations. Dans cette partie, il sera procédé à l'étude de variations de rendement de certains paramètres clés, tel que la DBO₅, DCO et nitrates ainsi que les limites de ce procédé d'épuration secondaire.
5. **Proposition d'un modèle de phytoépuration** : Enfin, en terme de recommandation axé notamment sur l'introduction des techniques complémentaires en matière de traitement tertiaire, tels que les bassins filtrants plantés en phragmites (roseaux communs).

Partie bibliographie

CHAPITRE I

ETAT DE L'ART DE LA REUTILISATION DES EAUX USEES

I. Etat de la l'art de la réutilisation des eaux épurées

I.1. Introduction

L'Algérie est un pays semi-aride souffrant d'une pénurie d'eau persistante, cette dernière est causée par la rareté de précipitation et par la dégradation des ressources en eau existantes à laquelle il faut ajouter la mauvaise gestion de cette ressource précieuse et vitale. La pollution des ressources en eau est l'une des premières raisons de la dégradation des ressources en eaux superficielles et souterraines. Donc l'épuration des eaux usées d'une façon correcte et conforme aux normes c'est une nécessité impérieuse pour la préservation des ressources en eau naturelles, et l'approvisionnement d'une nouvelle ressource en eau qui sera utilisée pour l'irrigation (recyclage des eaux usées épurées à des fins agricoles).

I.2. État de la ressource en eau en Algérie

Les disponibilités en eau par habitant et par an sont passées de 640 m³ en 2002 à 383 m³/hab/an actuellement. Ce ratio ne sera plus que de 261 m³ /hab/an en 2020 pour une population de 44 millions d'habitants. En outre, les ressources en eau sont caractérisées par une irrégularité dans l'espace et dans le temps et une persistance des périodes de sécheresse (CNES, 2000).

Les ressources en eau de l'Algérie sont limitées. Elles sont évaluées à 18 milliards de m³/an répartis comme suite :

- 12.5 milliards de m³/an dans les régions nord dont 10 milliards en écoulement superficiel et 2.5 milliards en ressources souterraines.
- 5.5 milliards de m³/an dans les régions du Sud dont 0.5 milliards en écoulement superficiel et 5 milliards en ressources souterraines (Morgan et Alexis ,2013)

La mobilisation des ressources superficielles est comme suite :

- 75 barrages achevés (65 barrages en exploitation et raccordés, et 10 autres, les aménagements aval sont en cours d'étude ou de réalisation). La Capacité d'accumulation installée : 8,07 milliards de m³ (6,87 milliards de m³ pour les 65 barrages). Les réserves d'eau disponibles en (mars 2016) sont situées à 4,93 milliards de m³. (DK News ,2016)

Pour les ressources en eau souterraines la capacité de production installée est de 6,7 milliards de m³. Alors que le volume d'eau exploité est de 6,44 milliards de m³. (DK News, 2016)

En ce qui concerne les eaux souterraines du Nord, elles sont évaluées en 1,9 milliard de m³, aujourd'hui, exploitées à plus de 90%. Beaucoup de nappes sont même dans un état de surexploitation critique, la répartition spatiale des eaux souterraines du Nord Algérie est indiquée dans le tableau 1 (HADJI, 2000).

Tableau 1: Répartition spatiale des eaux souterraines du Nord Algérie

Bassin hydrographique	Oranie- Chott Chergui	Chélif- Zahrez	Algérois- Soumam- Hodna	Constantinois- Seybouse- Mellègue
Ressources potentielles (hm ³ /an)	375	231	745	28,9

Source : Hadji, 2000

Pour le Sahara algérien, le potentiel en eau souterraine exploitable est estimé à 4,9 milliards de m³. Ce sont deux vastes nappes profondes : le Complexe Terminal et le Continental Intercalaire, appelé également l'albien, aux circulations hydrogéologiques complexes, particulièrement l'inconvénient d'être non renouvelables. À cela s'ajoutent quelques nappes phréatiques, souvent saumâtres qui existent dans les lits d'oueds tels que les oueds Ghir, M'zab, Saoura (Hadji, 2000).

Face à cette rareté de l'eau, il est très clair que l'Algérie souffre d'un déficit d'eau très prononcé, qui s'accroîtra davantage dans l'avenir. Cette situation de pénurie n'affectera pas seulement le service d'alimentation en eau potable mais également tous les secteurs économiques et surtout l'agriculture qui représente le plus grand consommateur d'eau, d'où l'intérêt de la nécessité d'une stratégie de l'eau en urgence, fondée sur l'économie et la gestion rationnelle de l'ensemble des potentialités des ressources en eau existantes, y compris les eaux non conventionnelles telles que les eaux usées traitées et leur recyclage en agriculture.

I.3. L'état de l'irrigation en Algérie

La surface agricole utile (SAU) est évaluée à plus de Huit millions d'hectares (8 560 509 ha), dont une superficie de 2,3 millions d'hectares apte à l'irrigation. La superficie réellement irriguée est évaluée à 950 000 ha en moyenne par an, soit 11% de la surface agricole utile et 40% de potentiel irrigable (Gadiri, 2009).

Du fait de la pénurie d'eau, l'Algérie n'a pu profiter que de 40 % des superficies irrigables, alors que 60 % des terres agricoles restent inexploitées. La mobilisation de nouvelles ressources complémentaires et le recours à des techniques d'irrigation économique tel que l'aspersion, le goutte à goutte devient une nécessité impérieuse.

Compte tenu de la situation de pénurie d'eau dont souffre l'irrigation, l'Algérie a lancé un programme pour la généralisation de l'utilisation des eaux épurées dans le domaine de l'irrigation agricole. (Messahel et Benhafid, 2007)

On peut classer la réutilisation des eaux usées épurées sous deux sortes d'utilisation, usage indirect et usage direct selon l'utilisation prévue:

- L'usage indirect peut : apparaître après un passage dans le milieu naturel, par exemple, la recharge des nappes qui consiste à faire infiltrer ou percoler les EUT dans le sous sol. Les objectifs attendus de cette opération sont : la restauration d'une nappe surexploitée ; l'amélioration du niveau de traitement de l'eau (Rotbardt , 2011).

L'usage direct : l'utilisation des eaux usées épurées pour une alimentation en eau potable, directement, est possible, si on utilise des procédés et des méthodes très modernes et de haute technologie. Les principales contraintes pour ce type d'usage sont psychologiques et culturelles associées à la perception de l'eau usée comme dangereuse et malsaine. L'usage urbain des eaux usées épurés tels que l'alimentation des chasses d'eau dans les immeubles, est très dominant en Japon et l'Australie. La capitale de la Namibie, Windhoek est la seule ville au monde, avec Singapour, qui produit son eau potable directement à partir des eaux usées. (Puil ,1998).

La réutilisation des eaux épurées présente beaucoup d'avantages, environnementaux, économiques, et socio-économiques. Parmi les avantages offerts par l'opération de réutilisation des eaux épurées, on peut citer :

- Economiser les eaux de qualité supérieure (l'eau souterraine, eau de barrage,...) ;
- L'amélioration de la situation économique des agriculteurs (les eaux épurées sont moins chères que les eaux propres, économiser les frais d'achat des amendements agricoles, puisque les eaux épurées sont chargées des éléments fertilisants (NH₄, PO₄) ;
- la disponibilité de l'eau toute l'année permet un développement de l'agriculture (une variété de culture puisqu'il n'y a pas de risque de sécheresse ; les eaux usées sont disponibles toute l'année, la qualité et la quantité de récolte seront meilleures) ;
- Le développement du domaine agricole rafraîchit le secteur commercial et d'industrie agroalimentaire et, par conséquent, l'amélioration de niveau de vie de citoyenne, et l'ouverture des nouveaux postes d'emplois. (Choukr Allah et Aghai , 2003)

I.4. Les risques sanitaires liés à la réutilisation

La consommation d'aliments provenant de cultures irriguées par ces eaux épurées entraîne des effets négatifs sur la santé publique. L'origine de ce risque est l'existence d'organismes pathogènes d'origines fécales, comme : les virus, les protozoaires, les bactéries et les helminthes (OMS, 1989). Pour lutter contre ces micros organismes dangereux, l'OMS a fixé des mesures à prendre :

- L'épuration des eaux usées et l'élimination de micros organismes.
- la limitation des cultures,
- le contrôle de l'utilisation des eaux épurées, (Baumont ,2006)

Le facteur qui présente le plus de dangers pour la santé publique, est la présence des organismes pathogènes. Pour éliminer ces derniers, il faut introduire une étape de désinfection (traitement tertiaire) dans le système d'épuration des eaux usées destinées à la réutilisation.

Pour l'irrigation sans restriction, la pollution microbiologique des eaux usées utilisées doit, selon (OMS, 1989), rester au-dessous de 1000 coliformes fécaux (CF)/100 ml et moins de 1 œuf d'helminthe.

Afin de préserver la santé des consommateurs et pour assurer la protection des ressources en eau souterraines, l'Algérie a mis en place des lois législatives parmi lesquelles nous citons :

- La qualité des eaux usées épurées destinées à l'irrigation doit être contrôlée régulièrement.
- Les services du commerce de la wilaya doivent assurer un contrôle biologique et physicochimique des produits agricoles irrigués avec des eaux usées épurées.
- Les services de la santé de la wilaya doivent assurer un contrôle de santé du personnel affecté à l'irrigation avec des eaux usées (Décret exécutif n° 7-149 du 20.05.2007).

Les valeurs limites pour les paramètres de pollution physicochimiques, et bactériologiques selon les recommandations algériennes sont résumées dans les tableaux 2 et 3.

Tableau 2 : Les normes admises des paramètres microbiologiques

Groupes de cultures	Paramètres biologiques	
	Coliformes fécaux	Nématodes
Irrigation non restrictive culture de produits pouvant être consommés crus	< 100	Absence
Légumes qui ne sont consommés que cuits, légumes destinés à la conserverie ou à la transformation non alimentaire	< 250	< 0.1
Arbres fruitiers, cultures et arbustes fourragères, cultures céréalières, cultures industrielles, arbres forestiers, plantes florales et ornementales	< 1000	< 1

Source : Arrêté interministériel du 2 janvier 2012 J O N° 41 5 juillet 2012

Tableau 03 : Les normes admises des paramètres physico-chimiques

Paramètres	Unité	Concentration	
Physiques	pH	6.5<PH<8.5	
	MES	mg/l	30
	CE	ds/m	3
	Infiltration le SAR=0-3EC	ds/m	0.2
Chimiques	DBO5	mg/l	30
	DCO	mg/l	90
	Chlorure(Cl)	M eq/l	10
	Azote(NO3-N)	mg/l	30
	Bicarbonate(HCO3)	Meq/l	8.5
Eléments toxiques Pour type de sols à texture fine, neutre ou alcalin	Aluminium	mg/l	20
	Arsenic	mg/l	2.0
	Béryllium	mg/l	0.5
	Bore	mg/l	2.0
	Cadmium	mg/l	0.05
	chrome	mg/l	1.0
	Cobalt	mg/l	5.0
	cuivre	mg/l	5.0
	Cyanures	mg/l	0.5
	Fluor	mg/l	15
	Fer	mg/l	20
	Phénols	mg/l	0.002
	plomb	mg/l	10.0
Lithium	mg/l	2.5	

	Manganèse	mg/l	10.0
	Mercure	mg/l	0.01
	Molybdène	mg/l	0.05
	Nickel	mg/l	2.0
	Sélénium	mg/l	0.02
	Vanadium	mg/l	1.0
	Zinc	mg/l	10.0

Source : Arrêté interministériel du 2 janvier 2012, (J O n° 41 5 juillet 2012)

I.5 L'expérience de la réutilisation au Maghreb

A titre de comparaison nous avons synthétisé quelques expériences de la réutilisation dans les pays voisins de l'Algérie, tels que la Tunisie et le Maroc.

I.5.1 La réutilisation des eaux usées épurées en Tunisie

L'usage des eaux usées épurées des stations de traitement en agriculture est pratiqué en Tunisie depuis 1938. Ces eaux ont représenté en 2006, le 1/3 des ressources totales des nappes phréatiques du pays. Grâce à un programme ambitieux de réalisation des stations d'épuration dont le nombre atteindra 68 unités au terme de 2002, ce qui permettra de dégager un volume réutilisable d'environ 200 millions de m³/an.

En 1989, la norme de qualité des eaux usées épurées pour usage agricole est parue. Cette norme est assortie de plusieurs textes législatifs et institutionnels: les conditions de réutilisation, de suivie et de contrôle, la liste des cultures irrigables par les eaux usées traitées, un cahier des charges (Koundi , 2002).

I.5.2 La réutilisation des eaux usées épurées au Maroc

Le Maroc se caractérise par un climat aride, la mauvaise répartition des précipitations et la rareté en ressources hydriques. L'économie de ce pays est basée principalement sur les activités agricoles. Or, l'agriculture est le secteur économique le plus exigeant en matière d'utilisation de l'eau. En effet, la réutilisation des eaux usées en agriculture est une pratique qui a pu trouver une place chez l'agriculteur marocain qui n'a pas assez de moyens financiers et techniques pour s'approvisionner en eau fraîche.

Pour toutes ces raisons, le Maroc est obligé d'utiliser les eaux épurées pour combler le déficit hydrique. (Dadi, 2010). Au Maroc la REU a deux grands objectifs :

- Soulager l'exploitation des ressources hydriques conventionnelles (soutien des ressources en eau) ;
- Protéger les ressources hydriques contre la pollution (impératif sanitaire).

Le démarrage de l'expérience de l'épuration des eaux usées avec l'intégration de la réutilisation existe depuis les années 80. Les grands projets de REU réalisés en 2010 sont localisés à : Marrakech, Ouarzazate, Ben Sergao, Ben Slimane et Drarga. (Dadi, 2010).

I.5.3 La réutilisation des eaux usées épurées en Algérie

L'Algérie est passée dernièrement par une période de sécheresse intense et persistante, caractérisée par un déficit pluviométrique important. De plus, la majorité des zones de culture sont localisées là où l'eau est peu fréquente et difficile à exploiter. Le secteur de l'agriculture est le plus exigeant en matière de l'eau : 65% de la capacité hydrique vont à l'agriculture et 35 % pour l'alimentation en eau potable (AEP) et les autres secteurs.

La solution évidente consiste en la récupération des eaux usées épurées pour leur réutilisation à des fins agricoles. Malheureusement il y a un grand nombre des agriculteurs algériens utilisent des eaux usées à l'état brut sans traitement. C'est une raison de plus pour favoriser la réutilisation des eaux usées épurées. Alors en Algérie la sorte de réutilisation des eaux épurées la plus répondue et la plus pratiquée est la réutilisation agricole.

Le ministère de l'agriculture et du développement rural a lancé un programme en collaboration avec le ministère des ressources en eau sur une superficie pilote estimée à environ 4 550 hectares, englobant 8 wilayas, comme il est indiqué dans le tableau 04.

Tableau 04 : Le programme de la réutilisation des eaux épurées à des fins agricoles

Wilaya	Tlemcen	Oran	Boumerdès	Borj Bou-	Sétif	Constantine	Mascara	Ouargla
Superficie (ha)	1000	350	350	250	800	600	300	800

Source : Toutant, 2010

L'opération concernera à l'avenir une superficie de 200 000 hectares avec l'utilisation de 1,2 milliard m³ à l'horizon 2020. Durant le quinquennal 2005- 2009, plusieurs périmètres irrigués ont été réceptionnés pour une superficie globale de 48 000 hectares. (Toutant, 2010)

Le potentiel de la réutilisation des eaux usées épurées à des fins agricoles évoluera d'une manière significative d'environ 17 millions de m³, en 2011, à environ 200 millions de m³ en 2014, et le nombre de stations concernées est de 25 stations (MRE, 2012).

Un plan d'action entre ONA et ONID (Office national d'irrigation et de drainage) est en cours d'étude, pour définir les possibilités réelles d'une éventuelle réutilisation des eaux usées épurées des stations d'épuration exploitées par l'ONA pour l'irrigation des grands périmètres d'irrigation (GPI) Gérés par l'ONID au niveau des cinq (05) bassins hydrographiques à l'échelle nationale (Hanachi et al, 2014)

Les informations (débit, capacité, volume épuré mensuel et type de culture.) sur les stations d'épuration pour lesquels une opération de réutilisation à des fins agricoles est pratiquée sont résumées dans le tableau 05

Tableau n °5 : les stations d'épuration utilisées à des fins agricoles

Zone	Unité	Désignation	Capacité (Eq/Ha)	Volume mensuel épuré (m ³)	Volume mensuel réutilisé (m ³)	Type de culture
Alger	Boumerdès	Station d'épuration à boues activées de Boumerdes	75 000	488 240	3837.6	Oranger et Vignes
Ouargla		Station de lagunage aéré d'Ouargla	260 102	1 198 920	119 892	4 000 Palmiers Dattiers et 100 Oliviers
El Oued		Station de lagunage aéré de kouinine (El Oued)	239 134	663 703	18 600	Arbres (Eucalyptus et kazarina)
Annaba	Guelma	Station d'épuration à boues activées de Guelma	200 000	463 915	463 915	Vergers
	Souk Ahras	Station d'épuration à boues activées de Souk Ahras	150 000	101 525	101 525	Arboriculture
Oran	Tlemcen	Station d'épuration à boues activées de Tlemcen	150 000	556 782	528 943	Arboriculture
	Mascara	Station d'épuration à boues activées de Mascara	100 000	330 782	330 782	Oliviers
		Station de lagunage aéré de Ghriss	48 000	19 781	19 781	

		Station de lagunage aéré de Bouhanifia	32 500	20 527	20 527	
		Station de lagunage aéré de Hacine	20 000	7 392	7 392	
		Station de lagunage naturel d'Oued Taria	21 000	17 015	17 015	
		Station de lagunage naturel de Hachem	15 000	41 468	0	
		Station de lagunage naturel de Sehaouria	12 600	STEP à l'arrêt		
		Station de lagunage naturel de Tizi	12 000	15 137	15 137	
		Station de lagunage naturel de Mohammadia Est	19 000	57 722	57 722	
Sétif	Bordj Bou Arreridj	Station d'épuration à boues activées de Bordj Bou Arreridj	150 000	251 955	251 955	Céréales
Tiaret	Saida	Station d'épuration à boues activées de Ain El Hadjar	30 000	126 900	10 000	Arboriculture, Céréales

Source : ONA, 2016

Cette opération de réutilisation des eaux usées à des fins agricoles ne peut réussir que dans le seul cas où les eaux usées sont bien épurées et la qualité de ces eaux est adéquate avec les normes de réutilisation. A cet effet, le secteur d'assainissement joue un rôle très important dans la création d'une ressource en eau additionnelle qui sera toujours disponible avec une grande quantité pour l'irrigation.

I.6 États d'assainissement en Algérie

L'Algérie est l'un des pays qui souffrent de la pollution des ressources en eau. Cette pollution affecte la santé des citoyens par la propagation des maladies à transmission hydrique (MTH), dont la facture des épidémies est lourde pour l'État algérien. Le coût de ces épidémies a été évalué à l'équivalent du budget de construction de plus d'une dizaine de stations de traitement des eaux (Boualla, 2011).

Pour lutter contre la pollution des ressources en eau et ses effets sur la santé publique, l'Algérie a consacré un programme ambitieux en matière d'assainissement et épuration. Le réseau réalisé au niveau national totalise un linéaire de 33 000 km à la fin de l'année 2005 (Cherrared et al, 2007).

Le taux de raccordement national moyen, hors population éparse, de près de 85% avec une population urbaine totale raccordée au réseau d'assainissement estimé à 22.762.000 habitants. Près de 4% de la population totale a un assainissement autonome (Cherrared et al. 2007). En Algérie, les caractéristiques des rejets des stations d'épuration (STEP) doivent répondre aux normes de rejet conformément au Décret 93-160 du 14/07/1993 relatives au traitement des eaux urbaines résiduaires.

L'organisation, la gestion et l'exploitation des eaux usées en Algérie, sont confiées à l'office national de l'assainissement (ONA), créé en 2001. C'est un établissement public à un caractère industriel et commercial doté de la personnalité morale et de l'autonomie financière. Il est placé sous la tutelle du ministre chargé des ressources en eau. Parmi ses missions, nous citons :

- La lutte contre les sources de pollution hydrique dans les zones de son domaine d'intervention.
- La gestion, l'exploitation, la maintenance, le renouvellement, l'extension et la construction du tout ouvrage destiné à l'assainissement des agglomérations.

À travers le territoire algérien, l'ONA intervient actuellement au niveau de 1023 communes, ce qui correspond à 66 % des communes que compte l'Algérie(1541). Le reste est géré soit par les régies communales en attendant le transfert de ces communes à l'ONA, soit par les sociétés par actions créées dans le cadre de la gestion déléguée du service public de l'eau et de l'assainissement. (ONA, 2015)

En 2007, le volume d'eaux usées rejetées à l'échelle nationale était estimé à près de 750 millions de m³. La capacité installée de dépollution se composait de 102 stations d'épuration en exploitation, dont 52 à boues activées et 50 lagunes, soit une quantité d'eau traitée de 570 Hm³/an.

En 2012, la capacité totale installée après l'achèvement de programme est passée à 925 millions de m³/an. À la fin du mois de décembre 2015, l'ONA a annoncé qu'il existe 124 stations d'épuration en exploitation, 58 de type boue activée et 66 stations de lagunage naturel ou aérée. La capacité moyenne installée des 124 stations est de 8718 E Ha, le volume mensuel des eaux épurées est de 16.56 millions m³, alors que le taux d'utilisation des capacités installées est de 40% (ONA, 2015). Le volume d'eaux usées rejetées à l'échelle nationale dépassera 1.5 milliards de m³ à l'horizon 2020.

Une fois le programme des stations d'épuration en cours de réalisation sera achevé (horizon 2017), le parc des stations d'épuration atteindra 285 stations avec une capacité de 23 millions équivalents habitants, soit un volume de 1 300 hm³/an. (Bouzroua ,2016)

L'Algérie a donné l'importance au secteur d'assainissement, qui a été négligé très longtemps, cela se voit par l'intensification des projets de réalisation des STEP et le développement du réseau d'assainissement : le taux de raccordement au réseau public d'assainissement qui n'a été que de 72 % en 1999, est devenu 86 % en 2009 et 89 % en 2014. L'évolution du linéaire et du taux de raccordement au réseau public d'assainissement est indiquée dans le tableau 06. (Bouzroua ,2016)

Tableau 06 : Évolution du linéaire et du taux de raccordement au réseau d'assainissement

Année	1999	2009	2014
Linéaire (km)	21 000	41 000	45 000
Taux de raccordement %	72	86	89

Source : (Bouzroua ,2016)

L'intérêt de l'épuration des eaux usées en Algérie n'est pas seulement de lutter contre la pollution, mais également d'assurer une nouvelle ressource en eau, qui va soulager la crise d'eau, surtout dans le domaine de l'irrigation qui reste assez faible (le ratio superficies irriguées / irrigables = 0,20). (Hartani , 2004).

Compte tenu que les zones rurales sont dotées par le système d'épuration « lagunage naturel » plus proche des cultures à irriguer, nous avons privilégié dans cette contribution de procéder à une étude détaillée sur ce procédé.

CHAPITRE II

LE LAGUNAGE NATUREL

II. Le lagunage naturel

II. 1. Historique

Le principe de l'épuration des eaux usées par lagunage naturel ou écologique est connu depuis l'Antiquité. Il était déjà utilisé dans la Chine ancienne et dans la Grèce antique pour l'élevage des poissons, ainsi que par les Romains par exemple, dans des bassins de décantation où on laissait " faire la nature ". Dès 1901, la ville de San Antonio au Texas aménagea un lac artificiel de 275 ha destiné à l'épuration des eaux usées. Dans les années 20, le lagunage se développa largement aux États-Unis, au Canada, en Australie, en Suède...etc. À partir de 1950, des études et des recherches méthodiques furent entreprises sur le fonctionnement de ces écosystèmes et le dimensionnement des installations en jouant sur la profondeur des bassins, l'aération artificielle, et en recherchant la valorisation de sous-produits. (Piétrasanta et Bondon, 1994).

Ainsi le procédé d'épuration par lagunage repose sur le rejet des eaux usées dans des étangs qui sont bien dimensionnés selon des critères, et les laisser se dépolluer sous l'action des effets naturels, le rayonnement solaire, les bactéries, les algues, la température, et le temps.

II.2 Principe de fonctionnement du lagunage naturel

Le lagunage naturel est un système d'épuration regroupant deux ou trois étangs en série ou plus, dont le principe de fonctionnement repose sur les forces naturelles, sans aucun apport d'énergie. Parmi les configurations les plus utilisées, on trouve : lagune anaérobie, lagune facultative, lagune de maturation.

Il s'agit donc, d'une part de favoriser le lent écoulement de l'eau dans des bassins successifs, et d'autre part de s'appuyer sur une association biologique couvrant toute une chaîne alimentaire (les bactéries aérobies, les bactéries anaérobies, les algues ou phytoplanctons, les zooplanctons dans certains cas) (Sambuco, 2002).

Le mécanisme de base sur lequel repose le lagunage naturel est la photosynthèse. La tranche d'eau supérieure des bassins est exposée à la lumière. Cela permet l'existence d'algues qui produisent l'oxygène nécessaire au développement et maintien des bactéries aérobies. Ces bactéries sont responsables de la dégradation de la matière organique.

Le gaz carbonique formé par les bactéries, ainsi que les sels minéraux contenus dans les eaux usées, permet aux algues de se multiplier. Il y a ainsi prolifération de deux populations interdépendantes : les bactéries et les algues planctoniques, dénommées “microphytes”. Ce cycle s'auto-entretient tant que le système reçoit de l'énergie solaire et de la matière organique (Prudencio. et Baudot, 2001).

L'oxygène dissous est le paramètre le plus important dans l'opération de transformation des matières organiques en boue et sel minéraux grâce à la présence des bactéries aérobies. L'origine de cet oxygène est la diffusion d'air dans la tranche supérieure d'eau (30 cm) à laquelle il faut ajouter l'oxygène produit par l'opération de la photosynthèse qui représente la grande partie.

Le développement des algues est important en surface et les nouvelles algues vont pousser les anciennes vers le fond où, faute d'oxygène, elles vont mourir. Cela provoque la formation de boues lourdes, d'où l'envasement rapide des bassins (Sambuco , 2002).

Au fond des bassins, où la lumière ne pénètre pas, ce sont des bactéries anaérobies qui dégradent les sédiments issus de la décantation de la matière organique. Un dégagement de gaz carbonique et de méthane se produit à ce niveau. La figure 01, ci-dessous présente le principe de fonctionnement de lagunage à microphytes (Prudencio et Baudot, 2001).

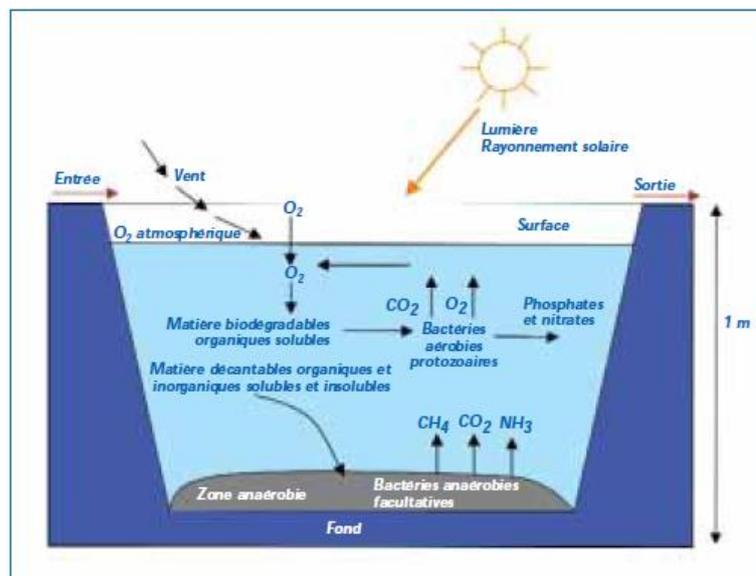


Figure 0 1: Principe de fonctionnement de lagunage à microphytes (Prudencio et Baudot, 2001).

L'épuration par lagunage naturel repose sur le lent écoulement des eaux usées, passant d'un bassin à un autre gravitairement, on peut classer les étangs constitutifs du procédé de lagunage selon leur profondeur en :

a. Les étangs anaérobies :

Ce type des étangs est surtout employé en climat tropical, car il nécessite une température élevée (supérieure à 25°C). Les étangs anaérobies permettent le traitement des eaux usées domestiques et agro-industrielles. Ce type du bassin doit avoir une profondeur d'eau importante, facilitant les processus anaérobies, varie de 2 à 5m (BET Unesco, 2008), avec une charge en matière organique élevée.

Si la nature des eaux usées est domestique, la station de lagunage naturel comprend un seul bassin anaérobie en tête de traitement, celui-ci est suffisant pour obtenir une bonne dégradation de DBO₅. L'ajout d'une deuxième lagune anaérobie n'améliore pas beaucoup la réduction de DBO₅. Par contre si les eaux usées sont de nature industrielle fortement chargée, deux ou trois bassins en série sont avantageux. (Effebe et Kôkôh , 2009).

Donc pour le traitement des eaux usées domestiques, on peut utiliser une lagune anaérobie en tête de traitement suivi d'une lagune ou deux lagunes facultatives.

Les paramètres majeurs influant sur l'efficacité d'épuration de ce type de bassin sont : la température qui doit être au-dessus de 25 °C, le pH qui doit rester voisin de 7, et le temps de séjour supérieur à 2 jours (Pietrasanta et Bondon, 1994.)

b. Les étangs aérobies :

Les étangs aérobies servent à accélérer la décomposition des matières organiques par les micro-organismes aérobies et favoriser la croissance des algues. L'aération dans ce type des bassins est réalisée par brassage dû au vent et grâce à la photosynthèse. La profondeur dans ces étangs est limitée entre (0.2 à 0.5 m), afin de permettre à la lumière de propager dans tout le bassin et d'assurer une aération sur toute la colonne d'eau. L'utilisation des étangs aérobies est conseillée dans les régions bien ensoleillées et chaude c.-à-d pas de couche de glace sur la surface (en hiver) le temps de séjour est de 15 à 20 jours (BET Unesco, 2008)

c. Les étangs facultatifs :

C'est le procédé de lagunage le plus courant ; l'activité bactérienne y est aérobie et anaérobie. Ils sont légèrement plus profonds que les étangs aérobies et comptent deux parties :

une partie supérieure aérobie, riche en algues et en micro-organismes aérobies. Le fond couvert de sédiments organiques siège de fermentation anaérobie. Les fermentations du fond produisent du méthane, du charbon du sulfure d'hydrogène, de l'ammoniac et des composés organiques. Les composés produits alimentent la flore et les algues des zones supérieures.

L'apport en oxygène nécessaire est assuré essentiellement par la photosynthèse des algues. Le rayonnement est la source d'énergie qui permet cette production algale.

La profondeur est limitée entre 0,6 m et 1.50 m. le temps de séjour de l'eau dans ce type des étangs est de 3 à 6 mois selon la charge appliquée, la profondeur de l'étang, et le taux d'évaporation.

Une filtration est nécessaire pour un rejet en rivière, car la teneur en MES est de l'ordre de 70 mg/l alors que le maximum admissible est de 30 mg/l. (Piétrasanta et Bondonl, 1994.)

d. Les étangs de maturation :

Ce type de bassin est surtout employé à l'abattement des germes de contamination fécale dans une filière lagunage ou après un traitement complet.

La profondeur est généralement limitée à 0,5 - 1,0 m pour permettre l'homogénéisation et la pénétration de la lumière. La charge en DBO₅ doit être inférieure à 1,5g/m².j, le temps de séjour est relativement court et de l'ordre de 4 à 10 jours. (BET Unesco, 2008)

Un lagunage naturel est composé, le plus souvent, des bassins facultatifs, anaérobies et bassins de maturations ou "lagunes à microphytes", fonctionnant en série.

II.3. Le lagunage à microphytes

Le lagunage à microphytes, c'est une variante de lagunage naturel, où on trouve des associations des bassins à microphytes dont, la profondeur est limitée à 1 m ±0.2. La figure 02 présente une association des bassins à microphytes.

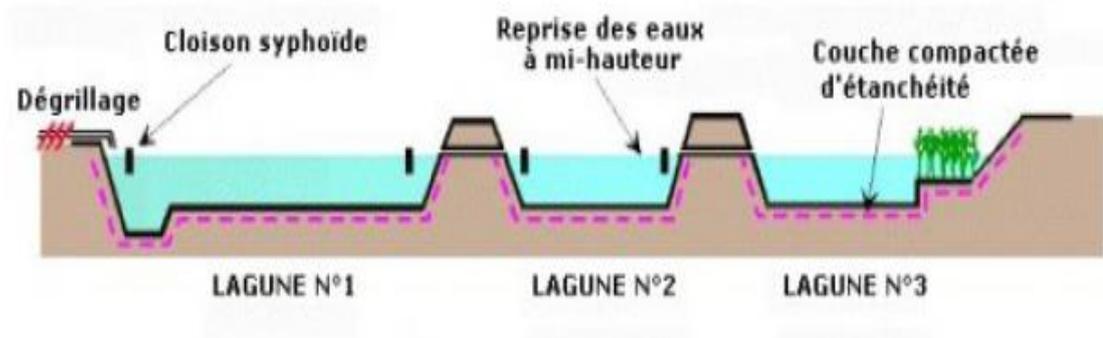


Figure 02: les bassins de lagunage à microphytes (Piétrasanta et Bondon,1994.)

Pour favoriser l'oxygénation des bassins, il faut que la surface soit large et la profondeur soit faible. Le volume total doit être au moins 70 fois supérieur à l'arrivée journalière en eau et il est bon de prévoir un tracé par lequel l'eau est obligée de passer. Ainsi, on s'assure que l'eau qui sortira aura séjourné plus de deux mois dans les bassins, comme il est indiqué dans la figure 03.

Avant les bassins, il est conseillé de placer tout au moins une grille et si possible un déshuileur, dans lequel les plus gros morceaux ainsi que les substances sur lesquelles les bactéries n'auront aucune prise, telles que les graisses (Piétrasanta et Bondon, 1994).



Figure 3: Procédé de lagunage à microphytes (Cemagref, 2004)

Les eaux d'égout traversent une série de trois bassins successifs. Le premier étage retient toutes les particules lourdes qui peuvent décanter et il se forme donc une couche de boue sur le fond du bassin. Ces boues sont en grande partie transformées en gaz carbonique et méthane. Ce qu'il en reste doit être éliminé après environ 10 ans d'accumulation. Ces boues constituent un excellent engrais. La partie des matières polluantes qui ne décante pas, car trop légère, est consommée par des bactéries. (Cemagref, 2004)

II.4. Dimensionnement du lagunage naturel

L'installation de trois lagunes est fréquente et permet d'assurer un bon niveau de fiabilité de fonctionnement pour l'élimination de la matière organique.

Les performances les plus élevées, en ce qui concerne la désinfection, ne sont atteintes qu'avec une compartimentation plus grande (jusqu'à six lagunes en série).

La charge surfacique appliquée journalière est de l'ordre de 4,5 g DBO₅ par m² de surface totale, ce qui correspond à une surface de plans d'eau de l'ordre de 10 à 15 m²/EH. En climat chaud et sec, ces surfaces peuvent être réduites de moitié, vu la température qui accélère les processus biologiques et l'évaporation qui augmente le temps de séjour. (Prudencio et Baudot, 2001)

- La surface en eau de la première lagune, la valeur de 6m²/EH, est utilisée avec succès, ce qui correspond à une charge surfacique nominale de l'ordre de 8,3g DBO₅/m² et par jour.
- la surface en eau des deuxième et troisième lagunes : Ces deux bassins doivent être de dimensions voisines et la surface totale des deux plans d'eau doit être égale à 5 m²/EH (Prudencio et Baudot, 2001).

Pour le lagunage à microphytes, la première lagune (6 m²/EH) est le siège prépondérant de l'abattement de la charge polluante carbonée. En sortie de ce bassin, la concentration en algues microscopiques peut être importante. La deuxième lagune (2,5 m²/EH) permet un abattement de l'azote, du phosphore et une réduction de la concentration en algues. La troisième lagune (2,5 m²/EH) continue l'abattement obtenu dans la deuxième lagune. Elle permet aussi de conserver une bonne qualité de traitement lors d'un incident (dysfonctionnement) ou d'une opération d'entretien (curage) survenant sur le premier bassin.

Le fractionnement en trois unités contribue à obtenir une décontamination d'ordre sanitaire intéressant. (Alexandre et al, 1997). L'ouvrage doit être situé en un point bas, à un emplacement où les vents dominants contribuent à aérer la tranche d'eau superficielle.

Il ne doit pas y avoir d'arbre à moins de 10 mètres, les racines pouvant engendrer des cheminements préférentiels au niveau des digues. Par ailleurs, la chute des feuilles dans les bassins peut générer une surcharge organique ainsi qu'un risque d'obstruction des ouvrages de communication. Le terrain doit être du type limono-argileux. Le sous-sol ne doit surtout pas être karstique ou fissuré. Cependant, si un sol plus imperméable est disponible dans une plus haute position, l'emploi d'une pompe peut être envisagé. (Coillard et al, 2004)

L'étanchéité des bassins de lagunage est un paramètre essentiel pour le bon fonctionnement des lagunes. Une mauvaise étanchéité risque d'entraîner une pollution de la nappe phréatique par percolation des eaux usées. De plus, les bassins peuvent ne pas se remplir correctement, ce qui empêche le fonctionnement hydraulique normal des lagunes.

Ces considérations amènent à fixer une perméabilité maximale d'un fond de bassin de 10^{-8} m s^{-1} . Si les terrains ont une perméabilité supérieure à cette valeur, il faudra prévoir, dès la conception, des travaux d'étanchéification pour ramener la perméabilité à la valeur acceptable mentionnée précédemment. Les méthodes possibles sont: le compactage, le traitement des sols (on utilise souvent la bentonite ; la pose d'une géomembrane (Pronost et al, 2002)

II.5 Entretien des lagunes

Les opérations d'entretien sont le plus souvent peu contraignantes, mais nécessitent le passage du préposé une fois par semaine (vérification des niveaux de plans d'eau, aspect général de l'eau, des berges, ...etc.).

- Les berges serontensemencées en herbe pour mieux fixer le sol et éviter les éboulements dans les lagunes. La végétation sera fauchée et exportée deux fois par an broutée. Il faut aussi éliminer la végétation qui se développera au bord des berges soit par faucardage, soit par désherbage chimique. Les berges empierrées minimisent les contraintes de faucardage, renforcent la protection des digues et limitent la prolifération de moustiques ou des rongeurs. (Pronost et al, 2002)
- Il faut luter d'une façon efficace contre les rongeurs au niveau d'élevage y compris les zones d'implantation des lagunes par : des clôtures systématiques à

mailles fines et légèrement enterrées, Enrochement éventuel, Échelle à rongeur si étanchéification avec des géomembranes. (Pronost et al, 2002)

- Les substances flottantes sur la surface des lagunes doivent être évitées et les lentilles d'eau développées doivent être éliminées (Satese et Cemagref, 1997).
- Si un curage de boue doit être réalisé, il faudra procéder de la manière suivante :
 1. Vidange des lagunes par les dispositifs de vidange, comme le montre la figure 4
 2. Reprise des boues par pompage à tonne à lisier : Les boues curées du fond des bassins (en principe seul le premier bassin qui doit être curé), seront épandues directement (Cemagref, 2004)



Figure 4 : Curage d'un bassin (Cemagref, 2004)

II.6. Performances épuratoires de lagunage naturel

Les performances épuratoires de lagunage naturel dépendent de plusieurs facteurs ; la température, la pluviométrie, la nature des eaux usées brutes ; et la conception de lagunage...etc.). C'est pour cette raison que les performances varient d'un pays à un autre, et même d'un lagunage à un autre sous les mêmes conditions climatique.

D'après le mode de fonctionnement de lagunage naturel, on prévoit que les rendements épuratoires de ce système soient meilleurs dans les pays où la température est plus élevée et la durée d'ensoleillement est plus longue.

Pour avoir une idée plus précise sur les performances épuratoires de lagunage naturel, nous avons effectué une recherche bibliographique sur les travaux réalisés par des chercheurs de différents pays sur les performances et le fonctionnement de lagunage naturel.

Les travaux de KONE (2000) montrent que le pilote de lagunage à microphytes de l'EIER (Burkina Faso) permet d'obtenir un rendement épuratoire de la DCO de l'ordre de 30 à 63%. Le rendement optimal est obtenu avec un débit des eaux usées comprises entre 16 et 20 m³ par jour.

Sur la DBO₅, on obtient un rendement compris entre 48 et 65%, cette fois le rendement optimal est obtenu avec un débit de 35 m³/jour, avec une charge de DBO₅ de 946 kg/hab/jours (Kone, 2000). Sur le même site, il est démontré que le lagunage naturel paraît aussi très performant dans l'élimination des parasites. Mais cette performance diminue en fonction de la charge organique à l'entrée. Sur 7 années d'expérimentation, le meilleur rendement est obtenu pour les charges inférieures à 400 kg de DBO₅/hab/jour.

Dans la station de Biyemassi II à Yaoundé(Cameroun), qui a été mise en lagunage naturel entre 1998 et 2002. Les travaux de Nya et al. (2002), montrent que pour une charge de 530 kg BDO₅/hab/jour et un temps de séjour de 15 jours, on obtient un abattement d'environ 60 à 90% pour la plupart de paramètres physico- chimiques (Nya et al, 2002)

Cet abattement est encore plus important pour ce qui est des germes testés de la contamination fécale (99,98 et 99,95%) correspondant à 3,77 et 3,34 unités logarithmiques de réduction respectivement pour les coliformes fécaux et streptocoques fécaux (Tanawa et al, 2003)

Les performances des lagunages du Sénégal sont loin d'être satisfaisantes dans la mesure où les rendements d'épuration obtenus sont en deçà des résultats attendus d'un bon lagunage à microphytes. Cela s'explique par le fait qu'ils ont tous le défaut du dimensionnement. En réalité, aucun de ces systèmes n'a été conçu sur les bases de données élaborées à partir du contexte climatique et économique. (Papa et Dione, 2001)

En Tunisie le rendement moyen des lagunages naturels est de 80% en DBO₅, alors que pour les lagunes aérées il est de 85% en moyenne. Concernant la DCO l'abattement est en moyenne de 73% alors que celui des MES il est de 79% en moyenne (Koundi et al, 2002).

En France, la synthèse des résultats obtenus sur 102 lagunes et sur une période de 3 ans dans le département d'Ille-et-Vilaine donne que les concentrations moyennes des eaux épurées par le lagunage naturel sont résumées dans le tableau 7 :

Tableau 7: Qualité moyenne des eaux épurées en sortie des lagunes (en mg/l)

Période	DCO		MES		N-NK		N-NH ₄ ⁺		PT	
Juin-septembre	95	38	74	68	16,3	10,6	9,6	10	6,6	3,6
Octobre-mai	71	29	50	45	18,8	11,2	12,6	10	5,7	2,9
Année globale	78	34	57	54	18,0	11,0	11,6	10,1	6,0	3,1

Source : (Delouvé, 2002).

Alors d'après les résultats des travaux de recherche sur les performances épuratoires de lagunage naturel, il est clair que la qualité des eaux épurées par ce procédé n'est pas conforme aux normes requises (MES, DCO,...etc.). Il y a d'autres systèmes d'épuration qui sont utilisés pour améliorer la qualité des eaux épurées par le lagunage naturel, le plus souvent c'est le lagunage à macrophytes. L'adjonction des étages des filtres plantés par roseau peut résoudre le problème du vieillissement de lagunage naturel et améliorer la qualité de rejet.

II.7. Le filtre planté

Le filtre à roseau est un bassin étanche planté de roseaux dans lequel on rapporte un massif filtrant de granulat. Le filtre à roseau traite les eaux usées à travers plusieurs processus d'épuration mécaniques et biologique (Charlotte et al, 1999). L'utilisation des végétaux aquatiques en traitement des eaux usées est déjà relativement ancienne. Ses premières applications à petite échelle datent des années 60. En revanche, son application pour des collectivités de plusieurs habitants est récente. Ces stations d'épuration se distinguent par leur régime d'écoulement, le nombre de lits et le type de plantes (Rochelle et Liénard ,1998). La figure 05 représente des bassins par filtre planté.



Figure 0 5 : La station d'épuration de la fromagerie de Montiels (Boutin et al, 2002)

Les plantes sont enracinées dans des matériaux minéraux rapportés (graviers le plus souvent) ou en place (dès lorsque la texture le permet). Les processus épuratoires sont très majoritairement les faits des micro-organismes fixés sur ces supports minéraux et sur la partie racinaire des plantes. (AERM , 2007).

À l'ombre des roseaux et dans une hygrométrie adéquate se développe, au sein même des dépôts organiques retenus sur la plage d'infiltration une biomasse microbienne. Celle-ci contribue à la minéralisation des matières volatiles en suspension dans une proportion avoisinant 65 % en masse par rapport aux flux reçus. Ce terreau qui s'accumule à raison de 10-15 mm par an constitue aussi un biofiltre qui conserve une bonne perméabilité. L'activité épuratoire du terreau s'ajoute à celle qui se développe initialement dans le massif filtrant minéral (Poulet et al, 2004).

L'aération est assurée uniquement par l'apport provenant des racines des plantes et de la diffusion gazeuse dans la partie superficielle non saturée, donc l'aération est très faible. Par conséquent la dégradation des matières carbonées et l'oxydation des composés azotés sont limitée. (Bouabdallah et Verley, 2006)

On peut distinguer trois types d'applications :

- les lits plantés de végétaux à écoulement horizontal en dessous de la surface.
- Les lits plantés de végétaux à écoulement vertical.
- Les systèmes hybrides ou mixtes. (Allouche, 2006)

II.7.1. Les performances épuratoires des filtres plantés :

Pour affirmer les performances de l'épuration par filtre planté, beaucoup de recherches ont été lancées, parmi lesquelles nous avons synthétisé les travaux suivants :

Le Cémagref avec l'aide de Satese et des agences de l'eau ont étudié 134 bilans obtenus sur 53 filtres plantés de roseaux à flux verticaux de conception classique et récente. D'après l'interprétation des résultats, ils ont conclu que les performances de l'épuration par filtre planté vertical sont indéniables. Les concentrations moyennes des eaux sortantes sur les paramètres physicochimiques sont : 30mg/l pour DBO₅ et 140 mg/l pour DCO et 20 mg/l pour MES et 50 mg/l pour N-NG (Boutin et al, 2008).

Les eaux d'une distillerie en Cameroun ont été mené en station expérimentale avec les compartiments suivants : un décanteur digesteur et deux filtres plantés à écoulement horizontal, ces derniers sont plantés par une plante qui s'appelle *Echinochloa pyramidale*. Les résultats obtenus de ce travail expérimental montrent que l'utilisation d'un filtre à écoulement horizontal permettre de réduire la charge polluante de la vinasse et de la rendre compatible avec la potentielle auto épuratoire de la rivière réceptrice. La présence de la plante *Echinochloa pyramidales* a contribué effectivement à l'épuration. (Fonkou1 et al, 2010)

Les performances des systèmes hybrides sont testées par le Cémagref pour une installation composée par deux étages de filtres verticaux suivis de deux étages de filtres horizontaux alimentés en continu et un cinquième étage de stabilisation. ce système d'épuration a été conçu en juillet 1989 pour desservir le site (Camphill village Trust ,Angleterre occidentale).Une synthèse des performances issues de 47 mesures réalisés en 1989 et 1990 montre que les concentrations moyennes des paramètres physicochimiques dans les eaux sortantes sont : 11mg/l pour DBO₅ et 21mg/l pour MES et 8.1 mg/l N -NH₄ et 2.3 mg/l pour NO₃+NO₂ et 11.2 mg/l pour les orthophosphates. (Prudencio et Baudot , 2001)

Les performances épuratoires des filtres plantés pour les eaux trop chargées sont testées par le suivi d'une installation, qui a contribué à l'adaptation de la filière désormais constituée d'une fosse toutes eaux et de 2 étages de filtres plantés. Cette station traite les eaux issues de la production de lait de 35 vaches laitières, de la transformation charcutière et de 5 habitants. Les concentrations moyennes des eaux sortantes de la station pilote sont : 30 mg/l pour la DBO₅ et 140 mg/l pour DCO et 20 mg/l pour les MES 22 mg/l pour Pt (Boutin et al, 2002).

- L'épuration par filtre planté à écoulement horizontal a été testée par le bureau d'étude Alpe Epur pour de collectivité de très petite taille. Il a conçu un lit planté de roseaux à flux horizontal adapté aux unités de très petite taille pour 4 à 100 habitants. Ce système d'épuration a été conçu en 2000, à Saint Cassin. Le principe de traitement de cette unité repose sur les étapes suivantes :

1. Une décantation dans une fosse septique.
2. Le passage à travers un lit planté de roseaux.

Dix- neuf bilans ont été effectués en entrée et sortie du système pour la durée (de juillet 2001 à juin 2003). Les résultats moyens sont : 14 mg/l pour le DBO₅ et 4.6 mg/l pour MES, toutes les concentrations sont nettement en dessous des seuils quelques soit la période de l'année (Alp Epur, 2009).

II.7.2 Les performances de l'épuration par filtre planté en Algérie

Il y a beaucoup de travaux de recherche sur les performances épuratoires du filtre planté en Algérie parmi lesquelles nous citons :

➤ Le travail réalisé à Biskra par Bensmina et al, ils ont utilisé un pilote expérimental qui est constitué de trois bacs placés à l'air libre et remplis d'un substrat composé des graviers. Un premier bac est planté avec *Typha Latifolia*, un deuxième avec *Phragmites Australis*, et un troisième laissé comme témoin pour contrôle de l'efficacité des filtres plantés. Les diamètres du gravier formant le substrat varient entre 3 et 6 mm. La matière des bassines utilisée est en plastique traité avec une hauteur de 0.90 m et la surface du lit est de 0,95m².

Les échantillons prélevés à la sortie du rejet des trois bassines ont été caractérisés par des mesures de paramètres physicochimiques et bactériologiques. Les eaux usées sont prélevées directement du rejet urbain de la ville de Biskra. Les concentrations des eaux usées du rejet de Chetma (Biskra) en MES, DCO, DBO₅, NO³⁻, PO⁴³⁻, germes totaux,

coliformes totaux , coliformes fécaux respectivement : 122.0 mg/l , 293.77 mg/l, 181 mg/l, est 18.77 mg/l , 25.68 mg/l, $4.32 \cdot 10^5$ $2.34 \cdot 10^4$, $1.23 \cdot 10^4$, les streptocoques $5.10 \cdot 10^4$ mg/l

Les eaux usées de Chetma après une décantation de deux heures sont mises dans les bacs d'essai au temps de rétention de traitement de cinq jours.

Les résultats obtenus montrent que les concentrations en DBO₅, DCO, MES, azote, phosphate, et nitrite ont été bien dégradées par les deux filtres plantés. En effet, ils ont assuré un bon abattement de la DCO (66,75% pour le Phragmites Australis, 79% pour le Typha latofilia), de la DBO₅ (75,69% pour le Phragmites Australis et 71,60% pour le Typha latofilia), MES (95% pour le Phragmites Australis et 92% le Typha Latifolia) ainsi que les nutriments tels que les phosphates (59%), l'azote ammoniacal (68%) et les nitrates (68%).

On constate aussi que la charge pathogène en germe totale, coliformes totaux, coliformes fécaux et streptocoques fécaux se présentent en quantité très importante dans les eaux usées. Les résultats d'analyses montrent un abattement très important de la teneur en bactéries après traitement des eaux usées par les filtres plantés de Phragmite Australis et de Typha Latofilia. Les résultats obtenus dans cette étude permettent de confirmer la performance des filtres plantés (de Phragmite Australis et de Typha Latofilia) à traiter les eaux usées sous climat semi-aride. (Bensmina et al, 2013)

Les essais effectués à la station- pilote de Témacine, la première en Algérie. La ville de Témacine est située dans le sud-est algérien à environ 600 km d'Alger. Elle est rattachée à la Wilaya de Ouargla et se trouve à une vingtaine de kilomètres de Touggourt. En 2007, les travaux ont débuté. Initialement la station du ksar Témacine a été dimensionnée pour traiter un volume d'eau usée d'environ 15 m³ par jour, le débit traité correspondant à la production de 100 personnes à raison de 150 l/ j/hab. le Temps de séjour des eaux usées est de 5 jours à 6 jours, Les plantes utilisées dans la STEP pilote sont : vitiver, laurier rose, la superficie du bassin d'épuration est de 400 m². La hauteur d'eau dans le bassin est de 0.55m.

L'analyse de l'évolution du taux de rendement épuratoire de chacun des trois paramètres chimiques dosés à savoir la DCO, la DBO₅ et les MES et qui sont respectivement de l'ordre de 92%, 89%, et 96%. Cette technique a conduit à des abattements satisfaisants de la charge polluante et à des réductions de la superficie allouée par équivalent habitant (1.5m²) par rapport à ce qui est habituellement utilisée par les étangs de stabilisation. (Farts et al, 2011).

Les plantes utilisées sont des phragmites australis plus communément appelés «roseaux». La nature des eaux épurées est domestique. La date de mise en service est 2010, la capacité d'épuration: 10 914 E H, le débit nominal : 1 515 m³ /j.

Les analyses du mois de juin 2013 assurées par le laboratoire de la STEP d'Ouargla montrent que les concentrations moyennes (entrantes/sortantes en mg/l sont comme suite : pour les MES (93/ 21), DBO₅ (100/16), et pour la DCO (303/57). Ils ont constaté qu'une réduction de paramètres indicateurs de pollution 80.36 % (DCO), 92.40% (DBO₅), 73.93 % (MES), 37.89 % (N-NH₄⁺), 40.38 % (PT). La qualité des eaux épurées est conforme aux normes algériennes pour les eaux usées rejetées en milieu naturel et pour une réutilisation agricole. Elles sont riches en nitrates et de phosphore, ce qui évitera l'achat des engrais, de sorte qu'elles peuvent être utilisées pour l'irrigation des arbres non productifs et palmiers selon les paramètres de la FWO. (Chouikh, 2015)

II.8. L'association entre le lagunage naturel et le filtre planté

Nous pouvons trouver des associations de lagunage naturel et les filtres plantés dans les cas de réhabilitation de lagunage naturel. On rencontre deux cas principaux de réhabilitation :

- Un accroissement de population
- Un accroissement des exigences de qualité sur le milieu récepteur

II.8.1. Un accroissement de population :

Nous procédons à une association de 1^{ier} étage filtre planté verticale amont + lagunes existant aval.

- Si la charge organique nouvelle à traiter est inférieure au double de la charge organique ancienne, la totalité des lagunes existantes peuvent prendre, sans modification constructive. Les effluents bruts transitent dans un 1^{ier} étage de filtre planté vertical dimensionné sur la base classique de 1.2 m²/ hab, et garni du gravier (Boutin et al, 2007), cette association a montré tout son intérêt sur le site de Gensac (France) avec l'obtention d'une qualité caractéristique 'une bonne dégradation (25 mg/l DBO₅ et 125 mg/l DCO. (Sylvain Bois et al, 2009)

II.8.2 Un accroissement des exigences de qualité

Nous procédons à une association lagunes existantes amont +2étages FPRV avale : L'accroissement des exigences de la qualité pour les milieux sensibles conduit à la nécessité de développement des traitements complémentaires du type 2^{ième} étage FPRV à la sortie des lagunes.

En remplaçant le dernier bassin de lagunage par 3 filtres de type 2^{ième} étage FPRV garnit de sable et d'une surface de 1 m² / hab. La présence d'algues dans les eaux traitées par le lagunage peut entraîner un colmatage des FPRV. (Boutin et al, 2007)

Cet étage de FPRV doit être exploité de façon très rigoureuse (dans les mêmes conditions qu'un 1^{ière} étage) en respectant strictement les phases d'alimentation /repos (3.5 jours /7 jours) et en apportant une charge hydraulique limitée à 0.8 m de hauteur d'eau sur le filtre en fonctionnement. (Boutin et al ,2007)

Beaucoup de chercheurs ont étudié les rendements épuratoires de ce système d'épuration. Une station expérimentale dans la commune d'Aurignac (France) d'une capacité de 300 EH est composée d'un dégrilleur automatique, d'un décanteur en tête de lagunage et deux lagunes en série et six filtres en parallèle, pour une dimension de 1 m²/EH). Ils ont utilisé deux filtres de sable de carrière et deux filtres à sable de rivière, et deux filtres à sable alluvionnaire planté de roseau. Tous les filtres ont une profondeur de 0.65 m sauf un filtre qui a une profondeur de 0.25 m. Cette étude a comme objectif de :

- Répondre à la problématique de l'utilisation du sable alluvionnaire ou roulés, ou bien concassé.
- Tester l'influence des différentes hauteurs sur les performances épuratoires.
- Mettre en évidence les avantages et les inconvénients de l'introduction des roseaux.

Cette étude a montré que l'introduction d'une filière d'infiltration percolation en aval d'un lagunage permettre d'améliorer la qualité de l'effluent et de respecter le niveau D4 : $DCO \leq 125 \text{ mg/l}$, $DBO5 \leq 25 \text{ mg/l}$. Cela a été confirmé sur l'ensemble des filtres quel que soit leur dimensionnement pour des charges hydrauliques allant jusqu'à 80 cm.

Le filtre de 25 cm de profondeur offre moins de marge de sécurité pour le respect de niveau D4. Les rendements épuratoires sont sensiblement similaires suivant l'utilisation des matériaux roulés, concassés, avec ou sans roseau (Duclos et al, 2002).

Boutin et al, ont réalisé des essais sur une colonne alimentée par des eaux issues de deuxième bassin de lagunage naturel. Les essais ont été conduits sur le site de Sertine dans le département de l'Ain (France). Le but de ses essais était de s'assurer qu'un sable couramment utilisé en infiltration percolation pouvait permettre une rétention physique des MES et après un lagunage naturel majoritairement constitué d'algues pour atteindre le niveau requis. Ces essais sur pilote ont également permis de proposer les premières bases de dimensionnement d'une infiltration percolation en complément d'un traitement par lagunage.

La station d'infiltration –percolation expérimentale à Sertine est constituée d'un cylindre en PVC de faible diamètre (50 cm), la hauteur de sable est de (27 cm). Pendant 2.5 mois. Le pilote d'infiltration –percolation a été alimenté par 14 bâchées réparties sur le 3.5 jours puis mis au repos pendant le même temps. Deux fois par semaine, au début et à la fin de la phase d'alimentation, des échantillons sont confectionnés sur lesquelles les paramètres DCO, DCO F, MES et azote kjeldahl sont systématiquement mesurés. Les résultats obtenus sur ce pilote d'infiltration percolation sont mentionnés dans le tableau 08

Tableau 8 : les résultats obtenus par le pilote de Sertine

Paramètres	Nombre de valeurs		Entrée mg/l		Sortie mg/l	
MES	17	Moyenne	50		20	
		Min - max écart-type	26-99-	19	10-40	7
DCO	18	Moyenne	135		61	
		Min - max écart-type	73 -398	71	36-99	16
DCOf	17	Moyenne	57		41	
		Min - max écart-type	39-95	15	27-63	11
NH ₄ ⁺	7	Moyenne	15.25		3.55	
			13.5-18.28	2.2	0.1-6.7	2.6
N-NO ₃ ⁻	7	Moyenne	0.15		9.8	
		Min - max écart-type	0.05-0.6	0.2	0.55-18	7

Source : Boutin et al, 2003

En matière de rendements les résultats de tableau confirment qu'une hauteur de sable de 27 cm permet de retenir un peu moins de 60% pour MES et 50 % de la DCO (Boutin et al, 2003)

II.9. Conclusion :

Compte tenu de la situation des ressources en eau en Algérie, et la situation de stress hydrique vécu par tous les secteurs économiques et surtout l'agriculture. La solution la moins coûteuse et la plus pratique qui représente beaucoup d'avantages, c'est la réutilisation des eaux épurées à des fins agricoles.

Vu les avantages de lagunage naturel sa simplicité, son faible cout d'exploitation, sa faible technicité requise pour l'exploitation et la bonne élimination des pathogènes, ce procédé couvre plus de 30 % du parc des stations d'épuration Algériens

La concentration des eaux épurées par le lagunage naturel en : MES, et DCO, DBO₅ reste élevée ce qui revient souvent à la présence des algues. On peut considérer les résultats

enregistrés par ce procédé acceptables avec la possibilité d'améliorer la qualité par l'ajout d'un autre système d'épuration (Filtre planté) en association avec lagunage naturel.

Dans les chapitres suivants, la qualité des eaux épurées par ce procédé en Algérie sera étudiée, et les comparée avec les normes de réutilisation agricole et les normes de préservation du milieu récepteur.

Partie expérimentale

CHAPITRE III

MATERIEL ET METHODES

III. Matériels et méthodes

III.1 Zone d'étude

Afin de déterminer la qualité des eaux épurées par le lagunage naturel sous un climat Algérien, nous avons retenu pour étude 06 stations fonctionnelles qui se situent dans l'ouest Algérien à savoir : Amir Ebdel Kader, sidi Safi, El Amria, Hassi El Ghala, El Malah; situées dans la Wilaya d'Ain Témouchent), Sidi Senoussi qui se situe dans la Wilaya de Tlemcen.

III.2. Situation géographique :

La situation géographique de chaque station de lagunage naturel est décrite dans les paragraphes suivants, en indiquant les limites de chaque commune. Les stations de lagunage sont proches les unes des autres, donc, elles sont soumises aux mêmes conditions climatologiques. La figure 06 montre l'implantation de l'ensemble des stations de lagunage étudiées.



Figure 06 : Vue de dessus (Google Earth) de la situation géographique des stations de lagunage étudiées (Chachoua, 2013)

Les stations de lagunage naturel étudiées situées dans la wilaya d'Ain T'émouchent sont : Amir Ebdel Kader, Sidi Safi, El Amria, Hassi El Ghala, El Maleh. La figure 07 nous indique la situation des communes la où se trouve les stations de lagunages étudié dans la wilaya d'Ain Temouchent.



Figure 7 : Limites des communes de la wilaya d'Ain T'émouchent

III.2.1. Station de lagunage d'Amir Ebdel Kader

La commune de l'Amir Ebdel Kader fait partie de la daïra de Béni Saf. L'agglomération de l'Amir Abdelkader est délimitée au nord par oued el Nord, à l'Est et à l'Ouest par des terrains de hautes potentialités agricoles, au sud par la RN35.

III.2.2. Station de lagunage d'El Maleh

El Maleh (anciennement Rio Salado) est une ville du nord-ouest de l'Algérie (11 km d'Ain Temouchent, 58 km d'Oran, 60 km de Sidi Bel Abbès et 80 km de Tlemcen). Elle est limitée au nord –Ouest par Oueled Boudjema, à l'Ouest par Terga, au nord-est par Hassi El Ghala et à l'Est par Hammam Bouhadjar .

III.2.3 Station de lagunage de Sidi Safi

Cette commune appartient à la daïra de Béni Saf. Elle est limitée au nord –Ouest par Béni Saf, au nord- Est par Sidi Ben Adda, à l'Est par Ain Tolba, au sud- est par Ain Tolba.

III.2.4. Station de lagunage d'El Amria :

La commune d'El Amria dépend de la Daïra D'el Amria, se situe à 42 kilomètres à l'ouest, sud-ouest d'Oran, et à 30 kilomètres au nord, nord-est d'Aïn Témouchent. Elle est limitée au nord –Ouest par la commune De Bouzedjar wilaya d'Ain Temouchent, à l'Ouest par la commune d'El Msaid, wilaya d'Ain Temouchent, au nord- est par la commune d'Ain Kerma, Wilaya d'Oran, à l'est par la commune de Boutlélis, et au sud -est par la grande Sebkha.

III.2.5 Station de lagunage de Hassi El Ghala :

Hassi El Ghella se situe à 51 kilomètres au sud-ouest d'Oran. Elle est limitée au nord –ouest par El Msaid, à l'Ouest par Oueled Boudjemaa, au Nord-est par Sebkha d'Oran, à l'est par Hammam Bouhadjar, au sud-ouest par El Maleh.

III.2.6. Station de lagunage de Sidi Senoussi (wilaya de Tlemcen)

L'agglomération de Sidi Senoussi a été érigée à proximité de la Kobba, portant le même nom Sidi Senoussi. Relevant administrativement de la commune de Sidi Abdelli. Au plan géographique, elle se situe entre les piémonts de Tlemcen et la plaine des Abdelys, sur le CW 108, à mi-chemin entre Sidi Abdelli et Ouled Mimoune. La situation du lagunage de Sidi Senoussi est représentée dans la figure 08.

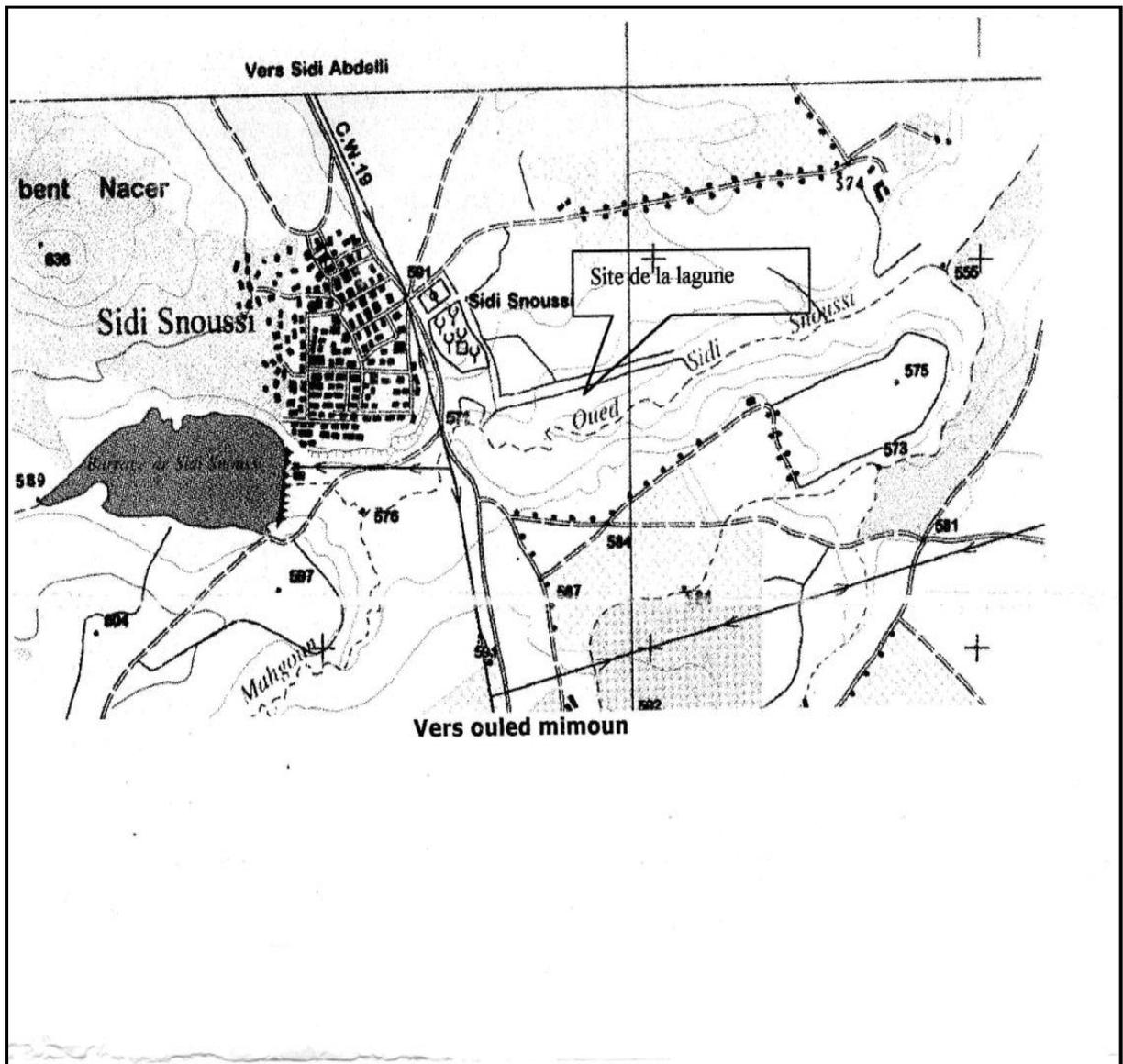


Figure 08 : Situation géographique de site d'étude Sidi Senoussi source (Direction d'hydraulique Tlemcen, 2009)

Les coordonnées UTM des stations de lagunage étudiées sont mentionnées dans le tableau (9) :

Tableau 09 : Les coordonnées UTM des stations de lagunage étudiées

station	AEK	d'El Maleh	Sidi Safi	d'El Amria	Hassi El Ghala	Sidi Senoussi
X(m)	677768.041	671300	771260369	680795.02	677831.817	387.500
Y(m)	4213865	3921000	4205342.507	3931397.82	3923153.145	674.800
Z(m)	18.98	45	212.94	86.58	95	572

III.3 Contexte climatique :

Les conditions climatiques des stations de lagunage étudiées sont similaires, car les stations sont proches les unes des autres. Pour étudier le contexte climatologie, nous avons retenu les stations climatologies limitrophes des zones d'étude (station d'Ain Temouchent et de Béni Saf, station de Bensekrane, station Izdihar, station Sidi Abdeli).

III.3.1. L'étude climatologie des stations de lagunage qui se situent dans la wilaya d'Ain Temouchent :

Les stations climatologies les plus proches et les plus représentatives des stations de lagunage sidi Safi, AEK, El Maleh, El Amria et Hassi EL Ghala, sont la station de Béni Saf et la station d'Ain Temouchent.

a) Précipitations

Les précipitations sont des phénomènes aléatoires. Elles varient dans le temps et dans l'espace. Certaines zones sont plus ou moins arrosées que d'autres et des mois sont plus pluvieux que d'autres. Les outils de la statistique permettent de valoriser l'information recueillie en tirant le maximum des enseignements possibles notamment sur les valeurs caractéristiques et les valeurs extrêmes.

Nous avons retenu les données enregistrées dans la station de Béni Saf durant la période 1994-2001(tableau 10).

Tableau n 10 : Pluie moyenne mensuelle dans la station de Béni Saf durant la période 1994-2001

mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin
Précipitations (mm)	88mm	121.57 mm	36.14 mm	38.43 mm	20.12 mm	2.80 mm

mois	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	décembre
Précipitations (mm)	4.6 mm	3.67 mm	31.63 mm	45.14 mm	88.25 mm	40.13 mm

Source : Direction d'hydraulique Ain Témouchent, 2009

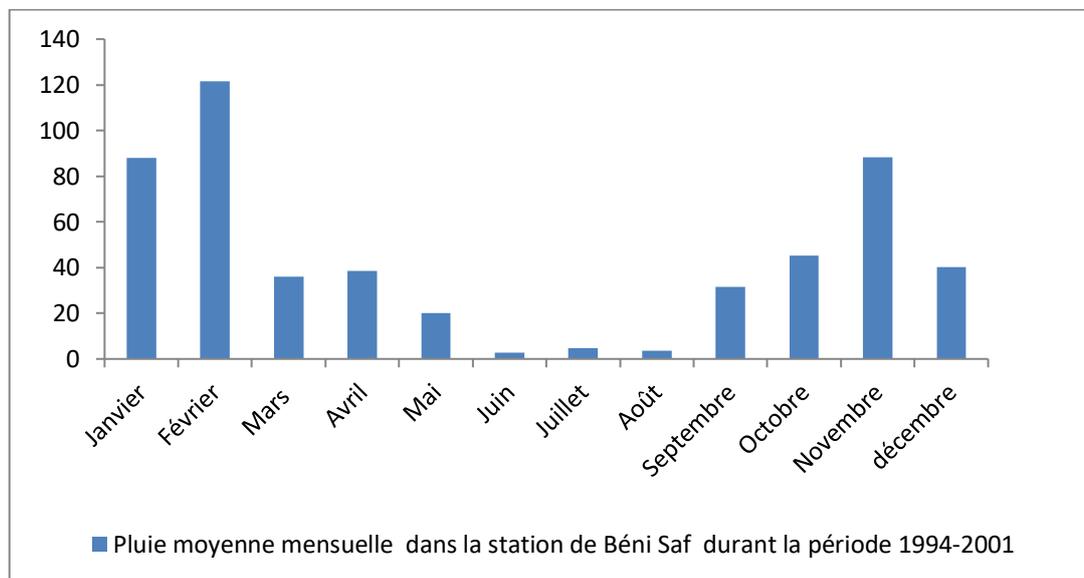


Figure 0 9: Pluie moyenne mensuelle dans la station de Béni Saf (1994-2001)

Nous remarquons que la pluviométrie est presque nulle au cours des mois de juin, juillet et août. À partir de septembre la pluie commence à avoir des valeurs plus grandes pour enregistrer la valeur maximale en mois de février 121.57 mm.

b) Températures

Pour l'étude de la température, nous avons utilisé des données de température moyenne de la station météorologique de Béni Saf. Ces dernières sont représentées dans le tableau (11) et la figure (10).

Tableau 11 : Variation de températures mensuelles de la station de Béni Saf(1994-2001)

mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin
Température c°	11,9	13,98	14,9	16,8	19,24	22,29

mois	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	décembre
Température c°	24,64	25,6	22,98	20,29	16,64	14,49

Source : Direction d'hydraulique d'Ain Temouchent, 2009

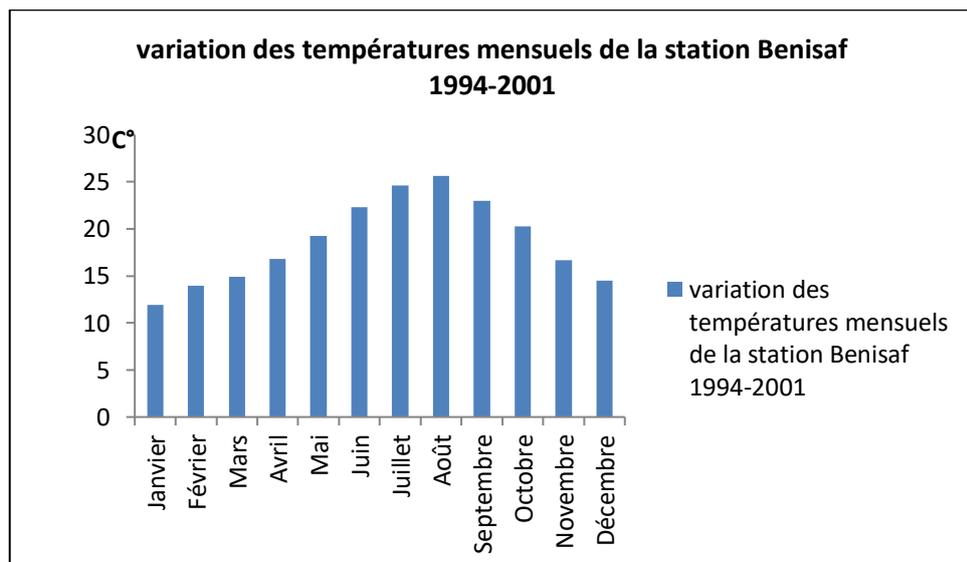


Figure 10: Variation des températures mensuelles de la station de Béni Saf (1994-2001)

D'après la figure 10, on constate que les mois chauds qui ont marqué des valeurs importantes sont mai, juin, juillet, août, septembre, octobre. La température maximale est enregistrée durant le mois d'août 25C°. La température commence à baisser et à avoir des valeurs faibles à partir du mois d'octobre. On peut considérer le mois le plus froid pour la région de Béni Saf est le mois du janvier avec une température 11.90 C°.

c) Evaporation

L'évaporation est définie comme la quantité d'eau évaporée par les surfaces. Les valeurs mentionnées dans le tableau 12 et la figure 11, présentent la quantité moyennes d'eau évaporée en mm pour chaque mois durant les années 2004, 2005. Ces valeurs sont mesurées au niveau de la station d'Ain Temouchent,

Tableau 12 : Les valeurs moyennes d'évaporation potentielle en mm station d'Ain Temouchent 2004-2005

mois	sep	oct	nov	dec	jan	fev	mar	avr	mai	Juin	juil	AOUT	année
ETP(mm)	130	88	59	44	47	59	89	113	132	156	173	157	1247

Source : direction d'hydraulique Ain Temouchent, 2009

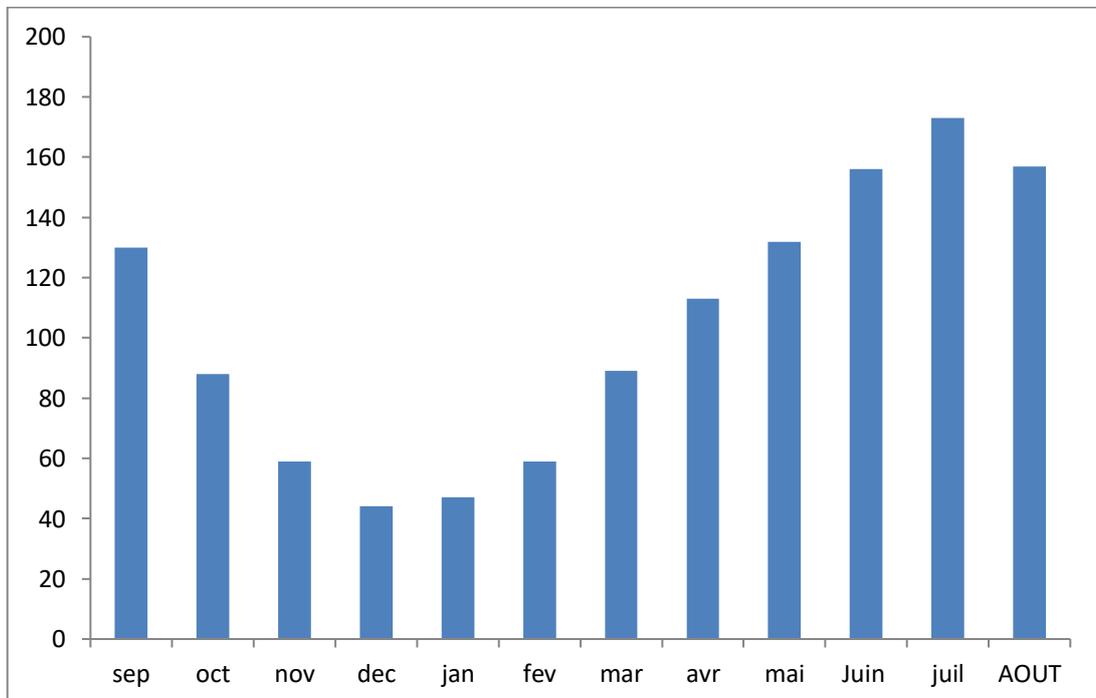


Figure 11 : Moyennes mensuelles d'évaporation potentielle en mm station Ain Temouchent (2004-2005)

Ces valeurs montrent une extrême dissipation d'eau par les conditions climatiques sévères. Le pouvoir évaporant, très accentué en été, représente près de 70 % du total annuel. Les variations dans les journées sont extrêmement importantes dont les valeurs, selon le mois passent du simple au double. Le mois qui a la valeur maximale est juillet (173 mm) à Ain Temouchent.

d) L'enseillement :

Ce facteur est primordial dans le bon fonctionnement de lagunage naturel. L'enseillement est un facteur principal pour l'opération de la photosynthèse sur laquelle repose le processus d'épuration dans le système de lagunage naturel. En plus les rayons solaires jouent un rôle de bactéricide dans l'élimination des bactéries et des germes pathogène. Les heures d'enseillement sont illustrées dans le tableau 13, et la figure 12 pour la période 1994-2001 stations de Béni Saf.

Tableau n 13 : Variation des heures d'enseillement mensuel (1994-2001)

Mois	Janvier	février	Mars	Avril	mai	Juin
Heures	194.1	214	264.4	283.5	289.6	306

Juillet	Août	septembre	Octobre	Novembre	Décembre	ma
292.3	296	257.8	237.4	211.6	189.6	253

Source : *Direction d'hydraulique Ain Témouchent , 2009*

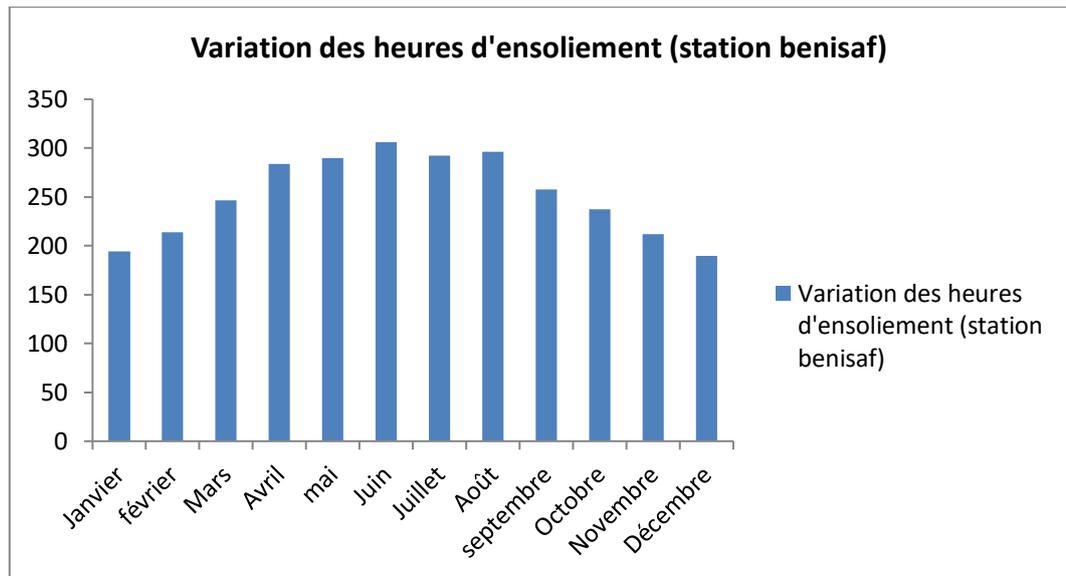


Figure 12: Variation des heures d'ensollement (station benisaf 1994-2001)

On observe d'après le tableau 11 que le mois le plus ensoleillé est le mois du juin et la moyenne mensuelle d'ensollement est de 249,75. Le mois le moins ensoleillé est le mois de décembre avec 189.6 heures par jour. D'après le graphe (figure 12), nous remarquons aussi que tous les mois sont bien ensoleillés. La différence entre la valeur minimale et la moyenne est 24,61% de la valeur moyenne annuelle.

e) Le vent

Le phénomène du vent est un facteur aussi prépondérant à l'implantation de certains ouvrages tels que les bassins de lagunage, demande la connaissance du régime dominant des vents. Cela pour protéger la ville contre les nuisances dues aux mauvaises odeurs favoriser par le brassage de l'effluent à épurer. La saison d'hiver est caractérisée par un vent fréquent pouvant atteindre une vitesse de 100 km/h, il vient, de l'Ouest soit du Sud-ouest. Les vents viennent de l'Ouest pendant la période s'étalant du mois d'Octobre au mois de Juin et du Nord- Est pendant la période de Juillet, Août et Septembre.

III.3.2 Étude climatologie de Sidi Senoussi (wilaya de Tlemcen)

Pour la station de lagunage de Sidi Senoussi, nous avons retenu les stations climatologies les plus proches de lagunage (station Sidi Abdelli, station de Bensekrane).

a) Précipitations

Pour étudier la précipitation dans la région de Sidi Senoussi nous avons utilisé les données des deux stations qui encadrent bien la zone d'étude : la station Izdihar (tableau 14, figure 13), et station Bensekrane (tableau 15, figure 14).

Tableau n°14 : Moyenne des précipitations mensuelles (station izdihar) 1981-2003

mois	sep	oct	Nov	dec	jan	fev	mar	avr	mai	juin	juil	aou
Moy mm	13,3	11,4	25,7	18,5	23,1	22,7	17,6	12,1	15,4	1,8	2,0	2,5

Source :ANRH Tlemcen, 2009

Tableau15 : Moyenne des précipitations mensuelles (station Ben Sekran) 1970-2002

mois	sep	oct	Nov	dec	jan	fev	mar	avr	mai	juin	juil	aou
Moy mm	11,4	10,0	20,7	18,9	18,0	20,1	21,9	14,1	15,6	2,7	1,4	2,1

Source ANRH Tlemcen , 2009

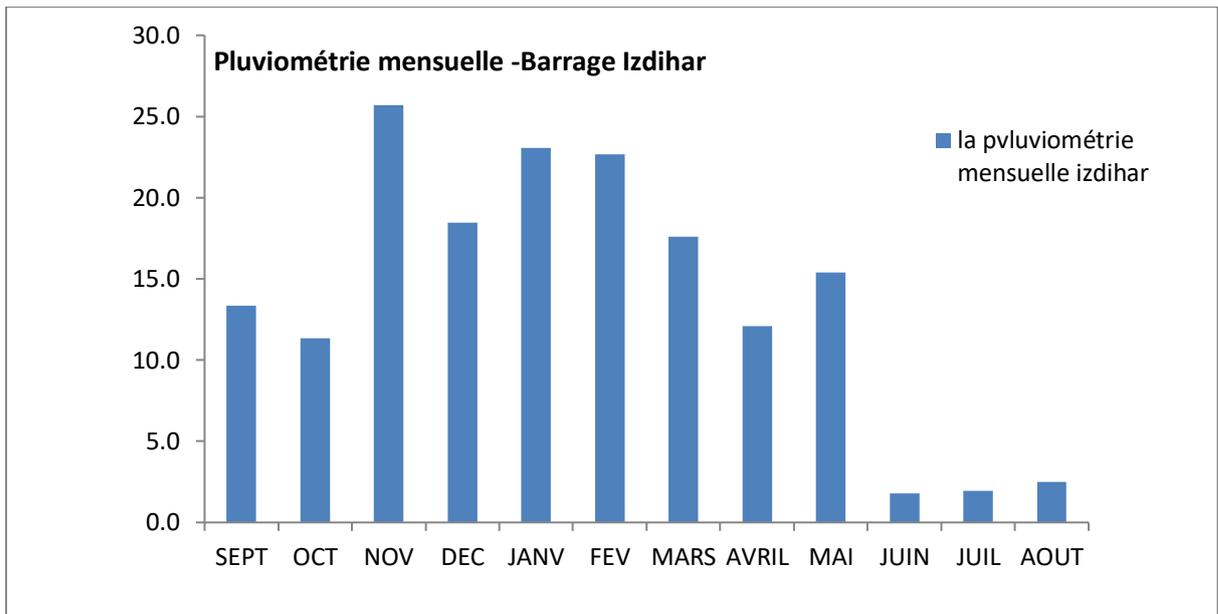


Figure 13 : Pluviométrie mensuel inter annuel (1981-2003) de la station Izdihar

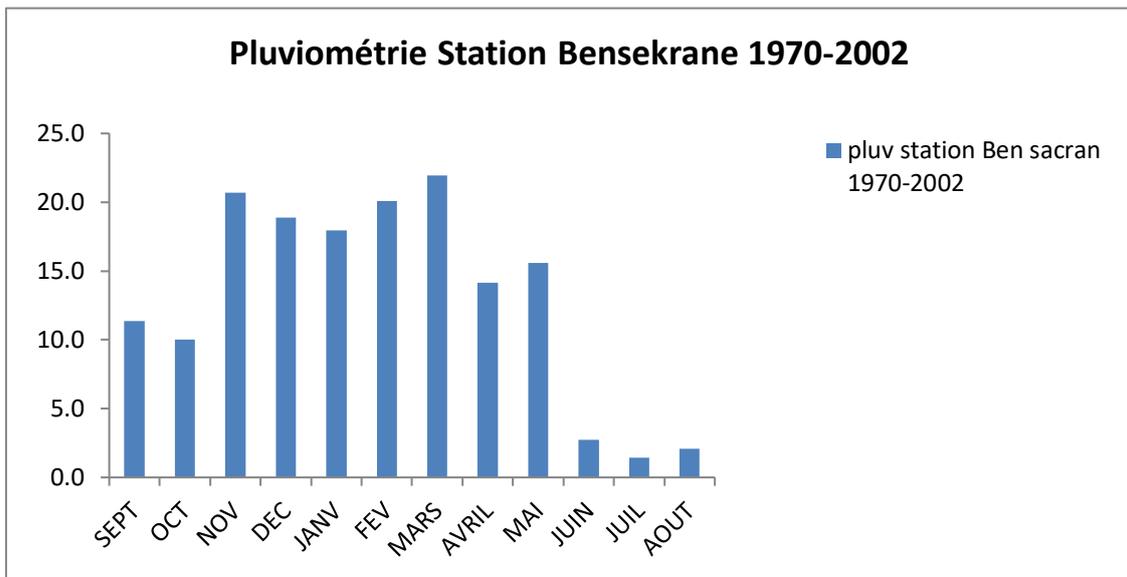


Figure 14 : Pluviométrie mensuelle moyenne interannuelle (1970-2002) (station de Bensekrane)

Dans les deux stations, Nous remarquons que la pluviométrie est presque nulle au cours des mois de juin juillet et Août. À partir de septembre la pluie commence à avoir des valeurs plus grandes pour enregistrer la valeur maximale le mois de mars 21.9 mm pour la station de Bensekrane.

Pour la station de Sidi Abdelli, le mois le plus pluvieux c'est le mois de novembre et le mois le moins pluvieux c'est le mois de juin.

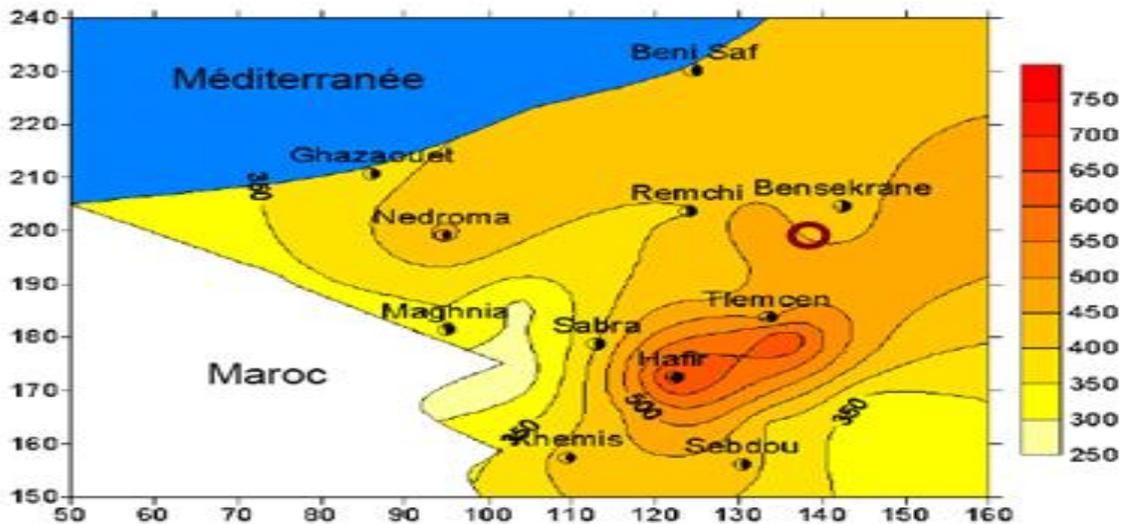


Figure 15 : Carte pluviométrique du bassin de la Tafna (1970/98)

- L'analyse à l'échelle de la zone d'étude, en tant que principal bassin versant fournissant des apports d'eau et de transport solide (figure 15), présente deux sous-zones pluviométriques bien distinctes :
- Au nord apparaît une zone pluviométrique relativement homogène entre 400 et 450 mm qui correspondent au bassin versant de l'Isser, dont la station la mieux représentative est celle de Bensekrane.
- Au sud la commune d'Ouled Mimoun, caractérisé par un cloisonnement du relief de montagne et de plaine entraînant une mosaïque de climat, où d'importants écarts marquent la pluviométrie locale, liés à l'altitude ; cet écart varie entre 450 et 550 mm.

b) Températures

Pour l'étude de la température, nous avons pu disposer des données de température moyenne de la station météorologique limitrophe (Bensekrane), dont le choix a été tributaire de la disponibilité de l'information. Les températures sont indiquées dans le tableau 16.

Tableau 16: La température moyenne mensuelle - Station de Bensekrane (1984-2002)

mois	sept	oct	nov	déc	jan	F év	mars	avr	mai	juin	juil	Aout
Température c°	22.5	18	14	11	9	11	12	14.5	16.5	21	25	25.1

Source ANRH Tlemcen, 2009

Les valeurs de la température moyenne mensuelle - Station de Bensekrane (1984-2002)
Sont présentées dans la figure 16

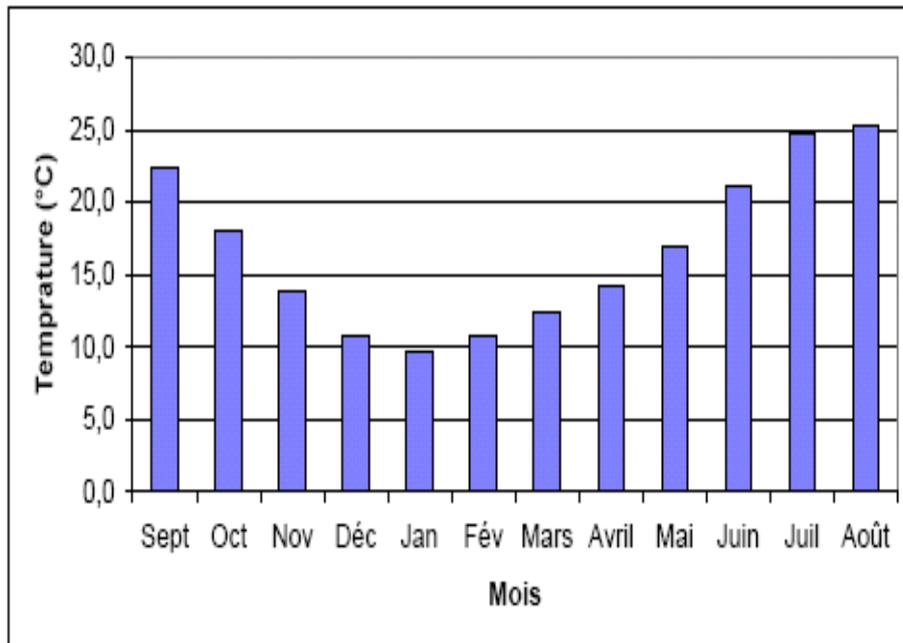


Figure 16 : Répartition spatio-temporelle de la température moyenne mensuelle - Station de Bensekrane (1984-2002)

La température au sein du site monte pour atteindre la température la plus élevée au mois d'août à 25.1°C puis commence à baisser à partir du mois de septembre pour atteindre la température la plus faible 9°C en janvier

c) Evaporation

Pour l'évaporation, nous avons utilisé les valeurs moyennes de l'année 2004-2005 de la station de Sidi Abdelli comme il est indiqué dans le tableau 17 et la figure 17

Tableau 17 : Moyennes des évaporations mensuelles (station Sidi Abdelli) 2004-2005

mois	sep	oct	Nov	dec	jan	fev	mar	avr	mai	juin	juil	Aou
Moy mm	163,8	115,7	43,4	33,8	36,5	46,8	77,7	108,5	173,5	203,7	236,4	239,5

Source : ANRH Tlemcen, 2009

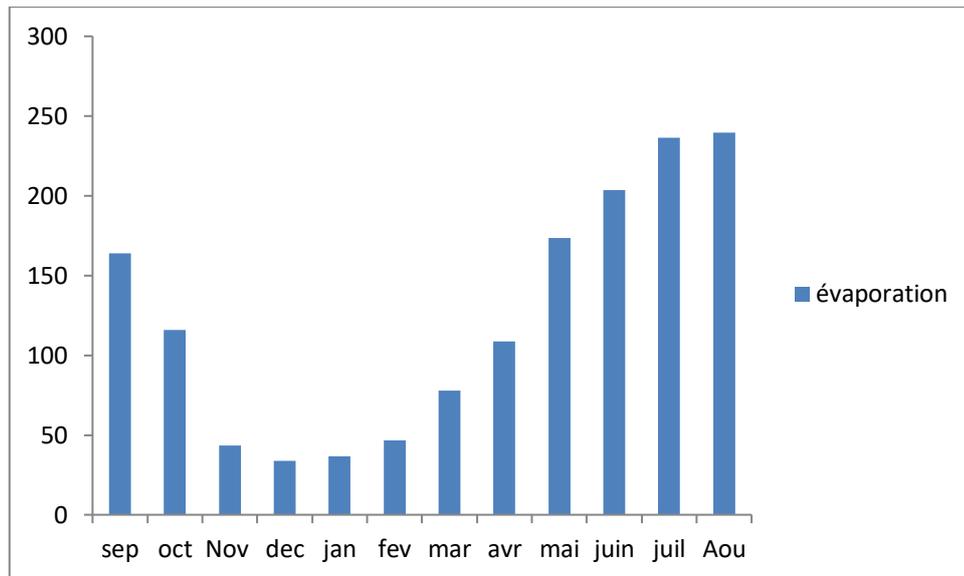


Figure17 : Moyennes des évaporations mensuelles (station Sidi Abdelli) 2004-2005

D'après les valeurs mentionnées dans le tableau17, nous constatons que la valeur maximale d'évaporation le mois d'août et la valeur minimale est enregistrée le mois de décembre.

D'une manière globale, les mesures du climat relevées sur les régions limitrophes des stations de lagunage étudiées dans les deux wilayas Tlemcen et Ain Temouchent, indiquent qu'il y règne avec un hiver pluvieux et un été sec. Le climat de cette zone côtière est du type méditerranéen, caractérisé par une période de sécheresse assez longue s'étalant du mois de mai à octobre, ainsi des températures douces.

III.4. Description des stations de lagunage :

Nous avons choisi six stations de lagunage naturel situant à l'ouest de l'Algérie. Les données de base des stations (capacité des lagunages en EH, qualité des eaux usées, surface du site occupée par le lagunage, ...) sont résumées dans le tableau n° 18.

Tableau 18: Les données de base des stations de lagunages étudiées :

	El Amria	El Maleh	Amir AEK	Hassi Ghala	El Sidi Safi	Sidi Senoussi
Capacité de STEP en EH à l'horizon de 2030	46 000	27 000	4267	27 000	14 500	12000
qualité des eaux usées	eaux domestiques	eaux domestiques	eaux domestiques	eaux domestiques	eaux usées domestiques	eaux usées domestiques
Surface du Site Occupée par le lagunage	21,8 ha	11,5 ha	4,45 ha	12,8 ha	9,4 ha	6.3 ha
Date de mise en	octobre 2008	octobre 2008	mai 2005	octobre 2008	octobre 2008	Décembre 2007
Débit annuel traité en m ³ /j	1615	968	314	906	397	838
Temps de séjour (jour)	99	99	48	106	47	39

III.4.1 Description des ouvrages constituant de la station de lagunage d'Amir Abel

Kader :

Le lagunage d'Amir Ebdel Kader est construit afin de protéger le milieu récepteur (Oued Tafna), lutter contre l'irrigation par des eaux usées brutes et de satisfaire aux besoins hydriques des terres agricoles situant à proximité du lagunage. La figure 18 ci-dessous montre une vue dessus du lagunage d'El Amir Abdel Kader



Figure 18 : Vue dessus (Google Earth) de la station de l'Amir Ebdel Kader (Chachoua ,2016)

Le lagunage d'Amir se constitue d'un Déversoir d'orage, des ouvrages de prétraitement, traitement secondaire et tertiaire :

a) Déversoir d'orage :

Cet ouvrage se situe à l'intérieur de la lagune et déverse une partie de l'effluent en cas de crues.

- b) **Prétraitement** : en tête du premier bassin, une unité de prétraitement est installée, pour éviter un comblement accéléré des bassins, le prétraitement est composé de :

- **Un dégrillage** : Compartiment constitué d'une grille, avec des barreaux verticaux espacés d'un diamètre de 01 cm.
- **Un dessablage** :

Le compartiment de dessablage se compose de deux couloirs de 7.20 m de longueur sur 38 cm de largeur pour l'un et 35 cm pour l'autre ou la vitesse de circulation est faible entraînant la décantation des sables qui seront extraits manuellement par les agents d'exploitation. Cette opération exige la présence de deux dessableurs à couloirs parallèles fonctionnant alternativement. Les by-pass des dessableurs sont assurés par des vannes murales à glissière. Les sables enlevés pendant le curage sont rejetés dans une benne installée devant le dessableur

c) Traitement biologique :

Le procédé de traitement biologique dans le cas de l'agglomération de l'Amir Ebdel Kader est le lagunage naturel, du type facultatif. À la sortie du dessableur, les eaux usées prétraitées sont orientées vers une première lagune de type facultative (figure 19) via un canal où l'eau est introduite par un déversoir répartiteur. La profondeur de bassin est de 2.50 mètres. Le temps de séjour est de 30 jours

Du bassin facultatif l'eau est déversée par un trop-plein situé sur un côté et rejoint le bassin de maturation (figure 20) qui a principalement pour but de diminuer les agents pathogènes. C'est un bassin entièrement aérobie ayant une profondeur d'eau de 1.50 m. le temps de séjours est de 18 jours



Figure 19: Bassin facultatif du lagunage Amir Ebdel Kader (Chachoua, 2010)



Figure 20 : Bassin de maturation du lagunage Amir Ebdel Kader (Chachoua, 2010)

Traitement tertiaire.

Afin d'avoir une certitude et une sécurité quant à l'élimination des germes et des parasites, il y a aussi la présence d'un bassin de désinfection et un bassin de décantation. Malheureusement, cette filière de traitement tertiaire n'a jamais fonctionné à cause de la mauvaise conception de cette filière. Les ouvrages de la filière de traitement tertiaire sont représentés dans la figure 21.

➤ Décantation :

Les eaux épurées à leur sortie du bassin de maturation contiennent des matières en suspension. Afin d'améliorer la turbidité de l'eau qui influe considérablement sur la désinfection de l'eau, la mise en place un décanteur circulaire a comme objectif de diminuer la concentration en MES.

➤ Désinfection :

Après la lagune de maturation, il est encore nécessaire de désinfecter les eaux résiduaires avant d'envisager leur réutilisation en agriculture, c'est pour cette raison qu'il y a eu la présence d'un bassin de désinfection.



Figure 21 : Bassin de Décantation + bassin de désinfection du lagunage Amir Ebdel Kader (Chachoua, 2010)

Le schéma de la station de lagunage naturel d'Amir Ebdel Kader est indiqué dans la figure 22 :

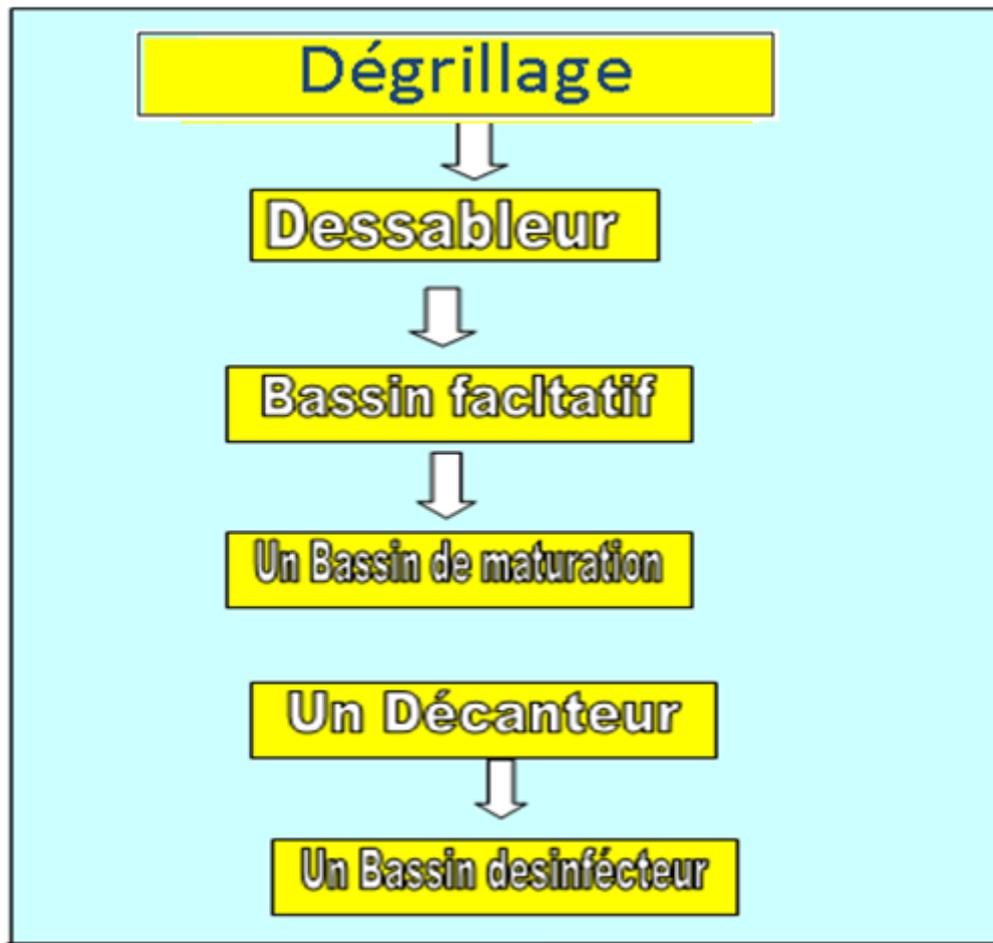


Figure 22 : Schéma des ouvrages constituant la station de lagunage de l'AEK

III.4.2. Description des ouvrages constituant de la station de lagunage d'El Maleh

Le lagunage d'El Maleh se compose d'un prétraitement et un traitement biologique. La date de mise en service est en octobre 2008. Le but de l'implantation de ce lagunage, est la protection du milieu récepteur (Oued El Maleh) et la réutilisation des eaux épurées pour l'irrigation des terres agricoles. Une vue de dessus de lagunage d'El Maleh est mentionnée dans la figure 23.



Figure 23 : Vue de dessus (Google Earth) du lagunage El Maleh(Chachoua ,2016)

a) Prétraitement :

Le prétraitement se compose d'un dégrillage manuel grossier avec un espacement des barreaux de 50 mm, l'épaisseur d'un barreau est de 20 mm, et l'angle d'inclinaison est de 70°. Il y a aussi un dégrillage manuel fin, l'espacement des barreaux est de 20 mm, l'épaisseur d'un barreau : 10 mm et l'angle d'inclinaison : 70°.

L'opération de dessablage est aussi présente dans le lagunage d'El Maleh. C'est un ouvrage, en béton, rectangulaire à deux couloirs fonctionnant en parallèle.

Les dimensions de chaque canal sont les suivantes :

$$\mathbf{H = 0,994\ m, l = 0,40\ m\ et\ L = 12,50\ m}$$

Le by passe de chaque dessableur est assuré par des vannes à glissières au nombre de six(06).

b) Traitement biologique :

Le traitement biologique se compose de trois lagunes en terre revêtues en géomembranes :

- **Lagune primaire ou anaérobie** : il y a deux bassins, chaque un a une surface carrée 44,30 m x 44,30 m et une hauteur de 4 m.
- **Lagunes facultatives** : il y a deux unités de 208 m x 87 m. L'hauteur des deux bassins est de 2m pour chaque un.
- **Lagune de maturation** : le lagunage d'El Maleh est doté d'un seul bassin de maturation d'une surface carrée de 80 m x 80 m et une hauteur de 1,50 m.

Les entrées et les sorties d'eau de chaque bassin sont munies de déversoirs avec système de conduits diffuseurs. Le schéma du lagunage d'El Maleh est mentionné dans la figure 24

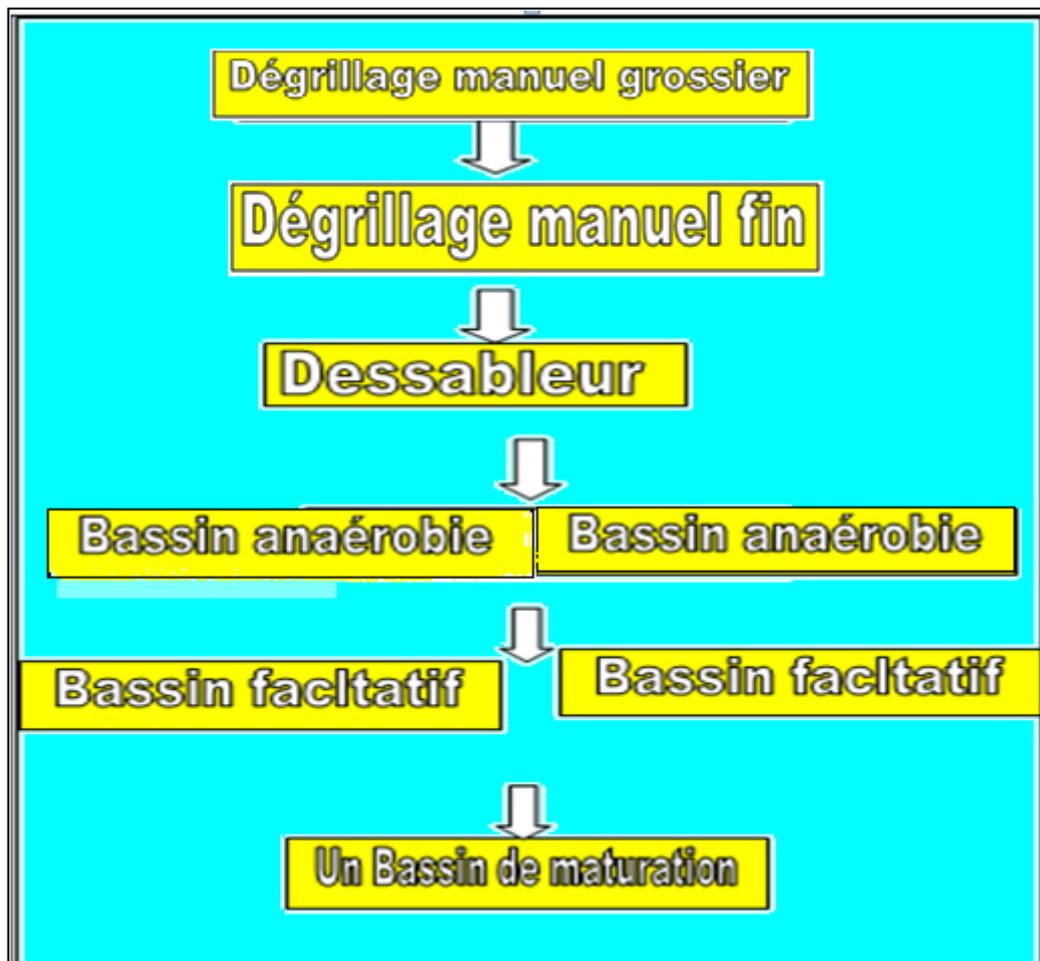


Figure 24 : Schéma de la station de lagunage d'El Maleh

III.4.3 Description des ouvrages constituant de la station de lagunage Sidi Safi

La station de lagunage naturel de Sidi Safi se compose d'un déversoir d'orage, un prétraitement et un traitement biologique. Cette station a été mise en place afin de protéger le milieu récepteur (Oued Sidi Djilloul), la préservation de la nappe souterraine et enfin la réutilisation des eaux épurées pour l'irrigation des terres agricoles. La figure 25 représente une vue dessus de la station de lagunage de Sidi Safi.



Figure 25 : Photo aérienne (Google Earth) du lagunage de Sidi Safi (Chachoua ,2016)

Le lagunage de Sidi Safi se compose de :

a. Un déversoir d'orage :

1. Le déversoir d'orage est un ouvrage en béton situé à l'extérieur de la lagune, cet ouvrage déverse une partie des eaux du collecteur vers l'oued pendant les précipitations

b. Prétraitement :

En tête du premier bassin, une unité de prétraitement est installée, Le prétraitement se compose de :

➤ **Un dégrillage :**

Compartiment constitué de 02 grilles, une grille grossière d'épaisseur de 10 mm et un espacement de 30 mm, une grille fine d'épaisseur de 8 mm et un espacement de 6 mm.

➤ **Dessablage :**

Le compartiment est constitué d'un dessableur en béton armé de 7.5 mètres de longueur et 2 mètres de largeur, composé de deux couloirs de circulation lente provoquant la décantation des sables.

c. Traitement biologique :

Le traitement biologique se compose de :

- **Bassin anaérobie:**

La station compte d'un seul bassin anaérobie, de forme circulaire. La profondeur du bassin est de 3 m et sa surface de 1 134.11 m². Le bassin ne compte pas une géomembrane, il est en béton armé. Le drain est constitué d'une conduite en PVC.

- **Bassin facultatif :**

En aval du bassin anaérobie, se trouve un bassin facultatif, de forme de grain d'haricot. Le passage des eaux entre les bassins anaérobies et facultatifs se fait gravitairement par une conduite de jonction en PVC. La profondeur du bassin est de 1.5 m et sa surface d'environ 5 511 m². Le bassin compte une géomembrane, du type géotextile. Le drain est constitué d'une conduite en PVC

- **Bassin de maturation :**

Le bassin de maturation reçoit les effluents du bassin facultatif par écoulement gravitaire via une conduite en PVC. C'est un bassin entièrement aérobie, et donc relativement d'une faible profondeur de 01 m. La surface est de 6 630 m². Le bassin compte une géomembrane, du type géotextile

d) **Lit de séchage :**

Les caractéristiques de lits de séchage sont :

- ✓ Longueur : 39 m.
- ✓ Largeur : 19.5 m.
- ✓ Profondeur : 1.2 m.



Figure 26 : Schéma du lagunage de Sidi Safi

III.4.4. Description des ouvrages constituant de la Station de Sidi Senoussi :

La station de Sidi Senoussi est composée de deux filières de traitement, une pour le prétraitement, et l'autre pour le traitement biologique. La figure 27 représente une vue de dessus du lagunage de Sidi Senoussi.



Figure 27 : Vue de dessus (Google Earth) du lagunage de Sidi Senoussi (Chachoua, 2016)

a) La filière de prétraitement

Le but de la filière est d'éliminer les grosses particules. Elle se compose d'un dégrilleur et d'un dessableur

- **Le dégrillage :** est composé de:

Une grille grossière (figure 28) qui a les caractéristiques suivantes :

Espacement des barreaux : $E = 60 \text{ mm}$

Epaisseur des barreaux : $e = 10 \text{ mm}$



Figure 28 : Grille grossière du lagunage Sidi Senoussi (Chachoua,2009)

- Grille moyenne : Il y a deux grilles Manuelles d'espacement des barreaux de 30 mm, et d'épaisseur des barreaux de 10 mm
- **Le dessablage :**

Le dessablage s'effectue dans un ouvrage longitudinal composé de deux (02) couloirs, fonctionnant en alternance, dimensionnées pour recevoir le débit de pointe Q_p ($120 \text{ m}^3/\text{h}$) à long terme (2030), et un bassin pour la récupération des sables, la figure 29 montre l'ouvrage de dessablage.

Le dessableur a les caractéristiques suivantes :

. Surface :	4,80 m ²
. Nombre d'ouvrages :	02
. Hauteur d'eau :	$H_e = 0,80\text{m}$
. Hauteur de l'ouvrage : H	$(H_e + 0,5 \text{ m}) = 1,20 \text{ m}$
. Longueur :	$L = 4,50 \text{ m}$
. Largeur :	$l = 1,00 \text{ m}$



Figure 29 : Les bassins de dessablage du lagunage Sidi Senoussi (Chachoua,2009)

Lorsqu'on veut éliminer les sables on arrête l'écoulement dans un des couloirs par les deux lames rouges qui vont bloquer l'écoulement et par conséquent les sables décantent dans le bassin. La récupération des sables se fait manuellement à l'aide d'une pelle. Les sables éliminés du bassin dessableur sont stockés dans le couloir de stockage.

b) La filière de traitement biologique

Cette filière est composée de six bassins, qui sont répartis en trois étages. Les bassins sont représentés dans les figures 30, 31 et 32

- **Deux bassins anaérobies : de (30 m x 30 m)** avec une profondeur de 4 m correspondant, au dimensionnement à long terme (figure 30).



Figure 30 : Les bassins anaérobies du lagunage Sidi Senoussi (Chachoua,2009)

- **Deux bassins facultatifs :**

Les dimensions des bassins facultatifs sont de 38m x 150 m avec une profondeur de **1,5 m** (figure 31)



Figure 31 : Bassin facultatif du lagunage Sidi Senoussi (Chachoua,2009)

➤ **Deux bassins de maturation :**

La surface de chaque bassin est de **(54 m x 54 m)** avec une profondeur de **1, 2 m**, Ces bassins reçoivent les effluents des bassins facultatifs (figure 32).



Figure 32 : Bassin de maturation du lagunage Sidi Senoussi (Chachoua,2009)

L'étanchéité des bassins est réalisée par la pose des géomembranes en plastique étanche. Les eaux épurées par la station de Sidi Senoussi sont rejetées dans l'oued de Sidi Senoussi, et sont réutilisées pour l'irrigation des jardins et des arbres fruitiers.

Le schéma descriptif de la station de Sid Senoussi est indiqué dans la figure 33

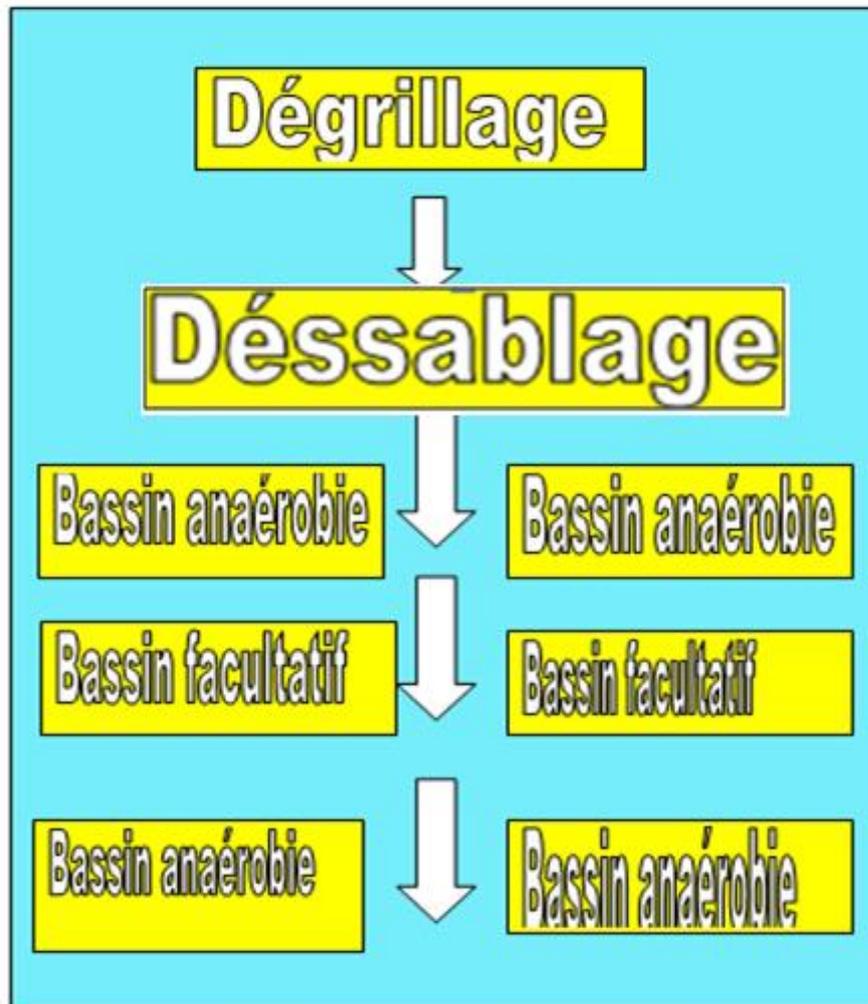


Figure 33 : Schéma du lagunage de Sidi Senoussi

III.4.5 Description des ouvrages constituant de la Station d'El Amria :

L'objectif de l'implantation du lagunage d'El Amria est la protection du milieu naturel (Sebka d'Oran), éviter la contamination de la nappe phréatique et la réutilisation des eaux épurées pour l'irrigation. La figure 34 est une vue de dessus du lagunage d'El Amria. La station se compose des ouvrages suivants :

- Ouvrage de prétraitement (dégrilleur, dessableur, déshuileur)
- Bassin anaérobie (02)
- Bassin facultatif (02)

- Bassin de maturation (O2)
- Station de relevage (Q= 195 l/s, HMT= 8m)
- Lit de séchage



Figure 34 : Photo aérienne (Google Earth) du lagunage d’El Amria (Chachoua, 2016)

a. Le prétraitement :

Le prétraitement se compose de deux dégrilleurs, un dessableur et un déshuileur

- Dégrilleurs :

Il existe deux dégrilleurs traitants chacun la totalité du débit de pointe

1. Épaisseur des barreaux 8 mm
2. Espacement entre les barreaux 20 mm
3. Hauteur de la grille 1m
4. Largeur de la grille 3 m
5. Longueur de la grille 3 m

- Dessableur :

Un dessableur longitudinal à deux couloirs traitant chacun la totalité du débit, la largeur du dessableur est 3m et la hauteur d’eau du dessableur est 0.12 m

- Déshuileur : la hauteur est de 2m, et la largeur est L= 4.44 m.

b) **Traitement biologique**

Il ya un assemblage de trois types de bassins (bassins anaérobies, bassins facultatifs, bassin de maturation)

➤ **Bassin anaérobie :**

I l'y a deux bassins anaérobies travaillant en parallèle dont la surface du premier bassin est 2663 m² et la surface du deuxième bassin est de 919 m².

➤ **Bassins facultatifs :**

Il y a deux bassins facultatifs travaillant en parallèle $S_1= 45748 \text{ m}^2$, $S_2 =14527 \text{ m}^2$ la profondeur $H=1.50 \text{ m}$.

➤ **Bassin de maturation :**

Il y a deux bassins fonctionnent en série, la surface de bassin1, $S_1 = 33961 \text{ m}^2$ et celle du deuxième $S_2 = 14527 \text{ m}^2$

c) **Aire de séchage :** les dimensions de lit de séchage est $A=7328 \text{ m}^2$, $H= 40 \text{ cm}$.

Le schéma de la station de lagunage est présenté dans la figure 35.

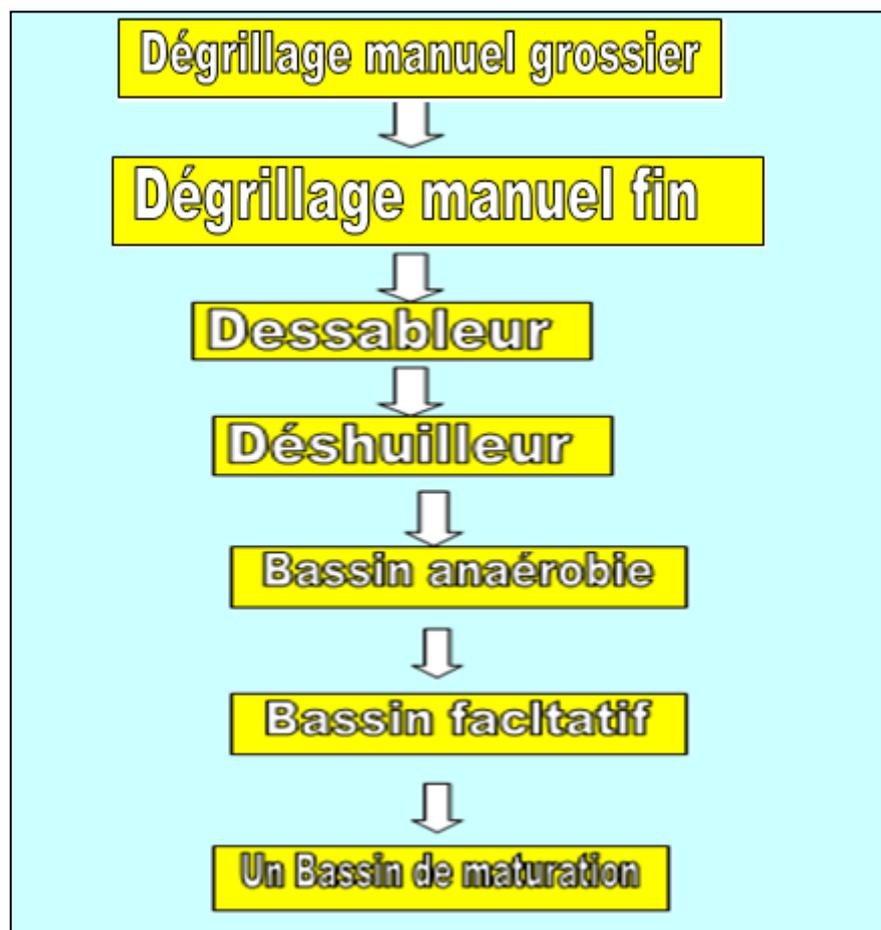


Figure 35 : Schéma des ouvrages constituant de lagunage de l'Amria

III.4.6. Description des ouvrages constituant de la Station de Hassi El Ghala

La station de lagunage naturel de Hassi El Ghala est composée des ouvrages de prétraitement et des ouvrages de traitement biologiques et des lits de séchage pour les boues extraites chaque les dix ans. Le lagunage de Hassi El Ghala est réalisé à fin de protéger le milieu récepteur et réutiliser les eaux épurées pour l'irrigation. La figure 36 est une vue de dessus du lagunage de Hassi El Ghala

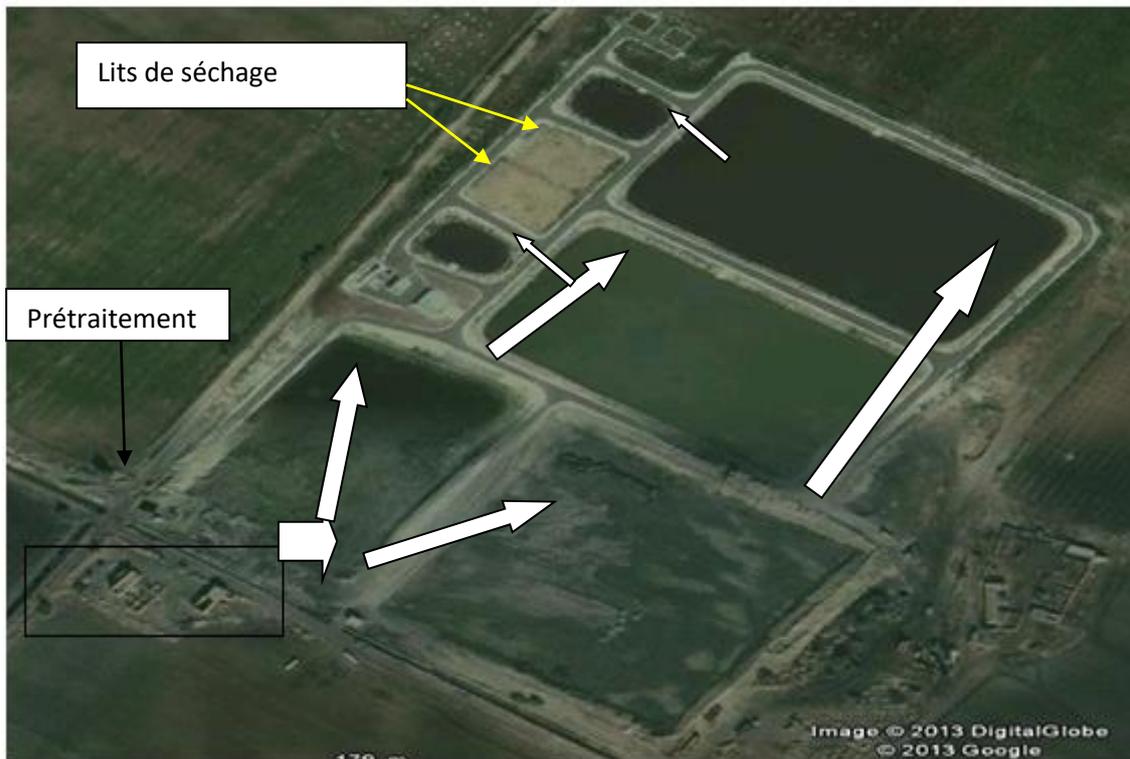


Figure 36 : Vues dessus (Google Earth) du lagunage Hassi El ghala(Chachoua , 2013)

Le lagunage de H. Ghala se compose d'un

a) **Déversoir d'orage** : est implanté a l'extérieur de la lagune ce dernier sert a déverser une partie de l'affluent directement vers la chaaba en cas de crues.

b) **Prétraitement** : en tête du premier bassin, une unité de prétraitement est installée, comprend :

Dégrillage : Le lagunage comporte à son entrée un dégrilleur mécanique vertical avec barreaux verticaux espacés d'un diamètre de 6 cm.

Dessablage : Le compartiment de dessablage est constitué de deux couloirs 5.4 m de longueur et 0.8 m de largeur.

Déshuilage : Le bassin de déshuilage est d'une longueur de 4.40 m sur 3.2 m de largeur et une profondeur de 4m équipé au fond de 12 disques pour insufflation d'air provenant des supprimeurs.

c) **Traitement biologique :** Cette filière se compose de :

- **Deux Bassins anaérobies :** la station compte 02 bassins anaérobies, disposés en parallèle, de forme rectangulaire. La profondeur des bassins est de 2.85 m , 2.16 m et leurs surfaces de 1092m² , 1134 m².
- **Deux Bassins facultatifs :** En aval des bassins anaérobies, se trouvent 02 bassins facultatifs, de forme rectangulaire, disposés parallèles. Le passage des eaux entre les bassins anaérobies et facultatifs se fait gravitairement avec une conduite de liaison en PVC. La profondeur des bassins est de 1.69 et leur surface de 17 574 m².
- **Deux Bassins de maturation :** Les bassins de maturation reçoivent les effluents des bassins facultatifs par écoulement gravitaire dans une conduite de liaison en PVC. Ces bassins sont disposés en série. La profondeur des bassins est de 0.87 m et leurs surfaces de 22 350 m², et 12 144 m². Le drain est constitué d'une conduite en PVC. Le temps de séjour dans ces bassins est de 12.5 jours.

d) **Lit de séchage :**

Les caractéristiques de ces lits de séchage sont :

- ✓ Longueur : 58 m.
- ✓ Largeur : 38 m.
- ✓ Profondeur : 0.2 m.

Le schéma de la station de lagunage est indique dans la figure 37

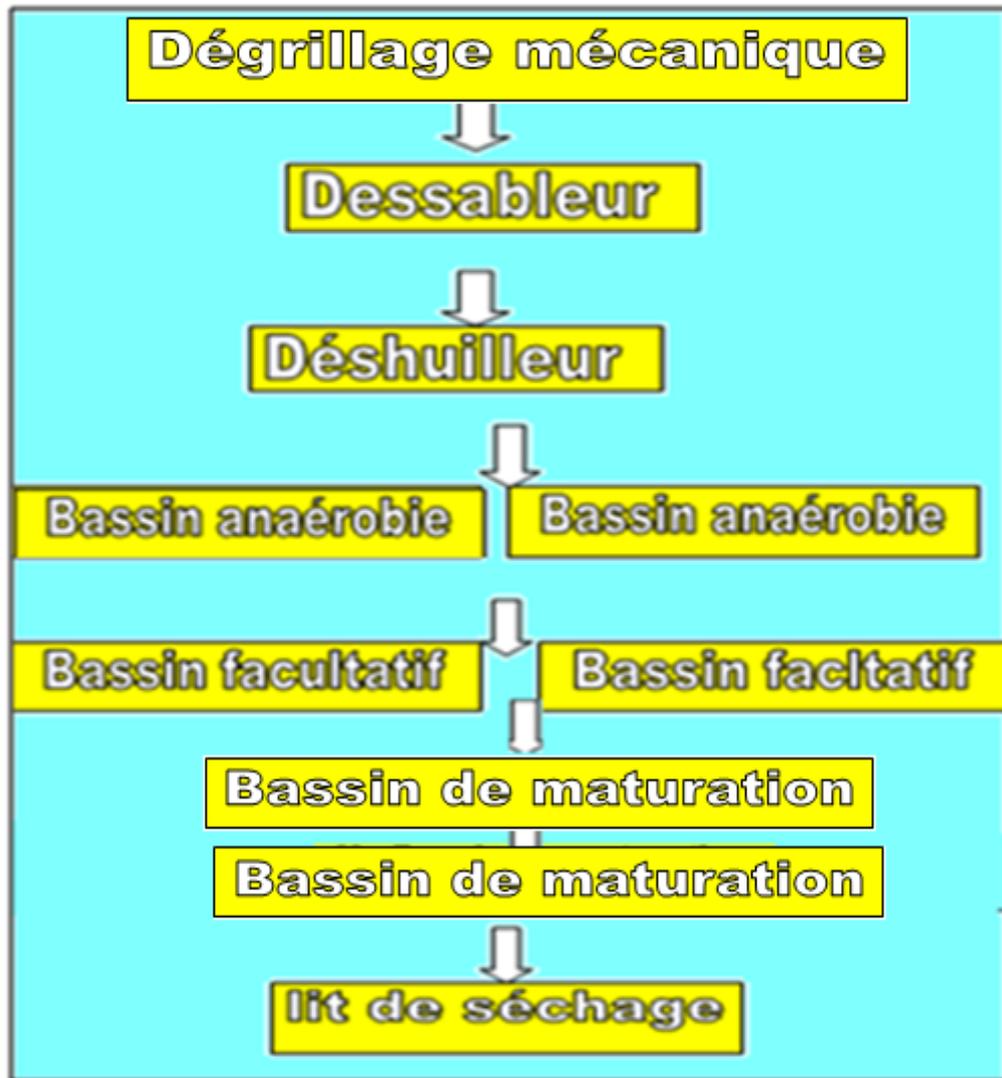


Figure 37 : Schéma de la station de lagunage de Hassi El Ghala

III.5. Matériel et méthode:

Nous avons analysé les eaux usées entrantes et sortantes des stations de lagunage par fréquence de deux fois par mois. Les prélèvements d'eau ont été effectués à l'entrée (eaux brutes) des six Stations d'épuration ainsi qu'à leur sortie (eau traitée) avant qu'elles soient rejetées au milieu naturel. Elles ont été effectuées avec beaucoup d'attention et de précaution de façon à représenter le plus exactement possible le milieu d'où il provient. Les échantillons sont prélevés entre 11 heures du matin et 1 heures de l'après_midi lorsque les activités sont plus intenses.

III.5.1 Méthode de prélèvement des échantillons :

Nous avons utilisé le matériel couramment employé à des prélèvements d'eau destinée pour les analyses physicochimique, qui sont des flacons en verre. Ces derniers sont soigneusement lavés, rincés, séchés et stérilisés préalablement.

La méthode la plus simple pour prélever un échantillon consiste à tenir la bouteille stérile, près de sa base, de l'introduire sous la surface de l'eau, et retirer son bouchon afin de pouvoir la remplir d'eau à la profondeur désirée. La bouteille doit être fermée immédiatement après le prélèvement. Elle devra être convenablement identifiée, conservée à l'abri de la lumière et de la chaleur, de préférence dans une glacière (température proche de 4 °C pendant le transport).

III.5.2 Matériel utilisés

Les paramètres physicochimiques analysés sont, pH, DBO₅, DCO, l'ammonium et les nitrates la conductivité, phosphore. La méthode et l'appareillage utilisés sont décrits dans les paragraphes suivants. Les paramètres pH, DBO₅, DCO, la conductivité sont mesurés pour l'ensemble des lagunages. Par contre, pour les paramètres l'ammonium et les nitrates nous avons effectué les analyses pour quatre lagunages, le phosphore est mesuré seulement pour Sidi Senoussi à titre indicatifs.

a) Mesure du pH :

La mesure du pH est indispensable pour connaître l'acidité ou l'alcalinité à travers chaque site de prélèvement. L'opération se fait in situ, en trempant l'électrode de l'appareil du pH-mètre portatif de type (pH 90) dans le flacon. La lecture est faite après stabilisation du chiffre mentionné sur l'écran du pH-mètre.

b) Mesure de la conductivité :

La mesure de la conductivité a été réalisée in situ à l'aide d'un conductimètre portable. Une fois l'appareil est étalonné, on introduit l'électrode dans l'eau à analyser, après stabilisation, on note la valeur indiquée sur l'écran. Les valeurs lues sur le conductivimètre sont exprimées en $\mu\text{s}/\text{cm}$.

c) Mesure de la concentration des matières en suspension (MES) :

Les matières en suspension totales (organiques et minérales) sont mesurées par filtration. Elles sont déterminées par pesée après séchage à 105°C. Après avoir lavé le disque de filtration (papier filtre) au moyen de l'eau distillée et son séjour dans l'étuve à 120 °C pendant 2 heures. Après refroidissement dans un dessiccateur pendant une journée, on pèse le papier_ filtre ; celui-ci est utilisé dans la filtration de 50 ml d'eau à analyser. Le papier régénéré est soumis à la même opération précédemment. Le mode de calcul s'effectue comme suit :

$$\text{MES} = (M - M_0) * 100 / V$$

Avec :

V : volume d'eau à analyse (50 ml).

M : masse du disque filtration après utilisation (mg)

M₀ : masse du disque filtrant avant utilisation (mg)

d) Mesure de la demande biochimique en oxygène (DBO₅) :

La DBO₅ est mesurée à l'aide DBO-mètre. L'opération se fait en remplissant les flacons de 250 ml de DBO-mètre avec de l'eau à analyser puis on met le bouchon et l'agitateur de l'appareil qui est réglé automatiquement pour un chiffre de cinq jours. La lecture sur le DBO₅ est corrigée par un facteur adéquat. Les valeurs lues sont exprimées en (mg/l).

$$\text{DBO}_5 = \text{Lecture} * \text{Facteur de correction}$$

e) Mesure de la demande chimique en oxygène (DCO) :

On met 500 ml d'échantillon dans un bécher sur agitateur magnétique pendant 2 minutes et on allume le réacteur DCO pour le chauffer à 150 °c.

On prélève 20 ml d'échantillon et on dilue jusqu' à 200 ml. Puis on prend par la pipette 2 ml d'échantillon dans le tube de réactif de DCO (Bichromate de potassium) et on mélange très bien. De la même méthode, on prépare le blanc, on mélange le contenu du tube de réactif avec 2 ml d'eau distillée. On introduit les deux tubes dans le réacteur pendant 2 heures .Après les deux heures on éteint le réacteur puis on laisse les tubes refroidis a 120° c pendant 20 minutes .Ensuit, on agite les deux tubes et on les laisse refroidir.

Puis on utilise le spectrophotomètre, on introduit le numéro de programme mémorisé pour la demande chimique en oxygène « 430 » puis on presse sur la touche READ /ENTER et on règle la longueur d'onde à 420 nm. On place l'adaptateur de tube DCO dans le puits de mesure, on place le blanc dans l'adaptateur et on presse sur le ZERO. On retire le blanc et on place l'échantillon .puis READ/ENTER.

Le spectrophotomètre est aussi utilisé pour le dosage de nitrate, nitrite, phosphore.

f) Mesure des nitrates :

On introduit le numéro de programme mémorisé dans le spectrophotomètre DR/2000 pour les nitrates a forte dose « 355 », puis on presse sur READ/ ENTER, l'affichage indique régler à 500 nm. On tourne le bouton de réglage de longueur d'onde jusqu'à 500 nm, puis on presse sur READ/ ENTER.

On remplit un flacon colorimétrique avec 1 ml d'échantillon et on dilue jusqu'à 25 ml le résultat trouvé doit être multiplié par le coefficient de dilution (25). On ajoute la contenu d'une gélule de nitraver 5 au flacon et après on presse sur les boutons SHIFT+TIMER. On doit agiter le flacon rigoureusement jusqu' à ce que le minuteur sonne après une minute.

Lorsque le minuteur sonne, on presse une autre fois sur SHIFT+TIMER une période de réaction de 5 minutes commence, et une couleur ambre se développe.

On remplit un autre flacon avec 25 ml du blanc (l'eau distillée).lorsque le minuteur sonne, on introduit le blanc dans le puits de mesure et on presse ZERO. L'affichage va indiquer « ATTENDRE » puis 0.0 mg/l N-NO₃⁻ . On retire le blanc et on place l'échantillon

préparé dans le puits de mesure et on presse sur READ/ENTER et le résultat est affiché en mg/l.

g) Mesure de L'ammonium :

On introduit le numéro de programme mémorisé dans le spectrophotomètre DR/2000 qui mesure l'ammonium 480, puis on règle la longueur d'onde à 425 nm.

On prend 1 ml d'échantillon dans un flacon colorimétrique puis on le dilue jusqu'à 25 ml. Dans un autre flacon on prend 25 ml d'eau distillée. On ajoute 3 gouttes de solution de polyvinyle alcool dans chaque flacon, pour accumuler l'azote ammoniacal. On ajoute 3 gouttes de solution Minéral : stabilizer dans les deux flacons afin que l'azote ne se dégage pas, et on agite bien. On ajoute 3 gouttes de solution « Nisler Reagent » dans les deux flacons, on agite très bien. La couleur de l'échantillon tend vers la jaunette. On presse SHIFT+TIMER, une période de réaction de 1 mn commence et lorsque le minuteur sonne, on place le blanc dans le puits de mesure. Lorsque le spectrophotomètre affiche le ZERO on retire le blanc et on introduit l'échantillon.

h) Mesure de Phosphate :

On introduit le numéro de programme mémorisé dans le spectrophotomètre DR/2000 pour le phosphate « 490 », puis READ/ENTER. On tourne le bouton de la longueur d'onde jusqu'à 890 nm. On prend 1 ml d'eau usée et on le dilue jusqu'à 25 ml, on ajoute le contenu d'une gélule de réactif chroma vers 3, et on agite. La couleur devient bleue, lorsque le minuteur sonne on presse sur SHIFT TIMER une période de réaction de 2 minutes commence. On remplit un autre flacon avec 25 ml d'eau distillée (blanc), lorsque le minuteur sonne, on introduit le blanc pour caler le Zéro, puis on introduit l'échantillon préparé.

CHAPITRE IV

RESULTATS ET INTERPRETATIONS

IV. Résultats et interprétations

IV.1.Introduction

Le présent chapitre est une synthèse des principaux résultats obtenus par les analyses physico-chimiques effectuées, ainsi que les interprétations des résultats .Dans ce chapitre, nous avons comparé les concentrations des eaux usées sortantes par rapport aux valeurs limitées par les normes de réutilisation agricole et les normes de préservation du milieu récepteur que nous avons indiqué dans le tableau n° 19.

IV.2 Normes de rejets des eaux usées

Les normes Algérienne de rejet des eaux usées épurées sont résumées dans le tableau 16 selon deux colonnes un pour les valeurs-limites des eaux usées destinées à une irrigation agricole, l'autre pour préserver le milieu récepteur.

Tableau n° 19: Normes de rejets des eaux usées

Paramètres	Norme maximales admissible pour une réutilisation agricole
pH	$6.5 \leq PH \leq 8.5$
L'oxygène	/
MES	30 mg/l
DBO ₅	30mg/l
DCO	90 mg/l
Chlorure	10 mg/l
Azote kjeldah	/
- Phosphates	/
Ammonium	/
Nitrates	30

Source : Arrêté interministériel du 2 janvier 2012 JO n° 41 15 /07/2012

Un effluent brut est considéré comme biodégradable lorsqu'un échantillon moyen sur 24 heures, après une décantation de deux heures, présente les caractéristiques suivantes

- Un rapport DCO/DBO < 2,5 ;
- Une DCO < 750 mg O₂/l ;
- Une teneur en azote total < 100 mg/l.

IV.3. Les résultats des analyses

Les résultats des analyses obtenues sont présentés dans les figures suivantes pour les différents paramètres de pollution pour chaque lagunage ainsi que leur interprétation.

IV.3.1. Les résultats de pH

Le pH c'est la concentration des ions [H₃O⁺] dans un liquide. Dans le domaine de l'eau, le pH joue un rôle primordial à la fois dans les propriétés physicochimiques, d'alcalinité, et d'agressivité. Les figures 38, 39, 40, 41, 42, et 43 représentent les variations des valeurs de pH pour chaque lagunage

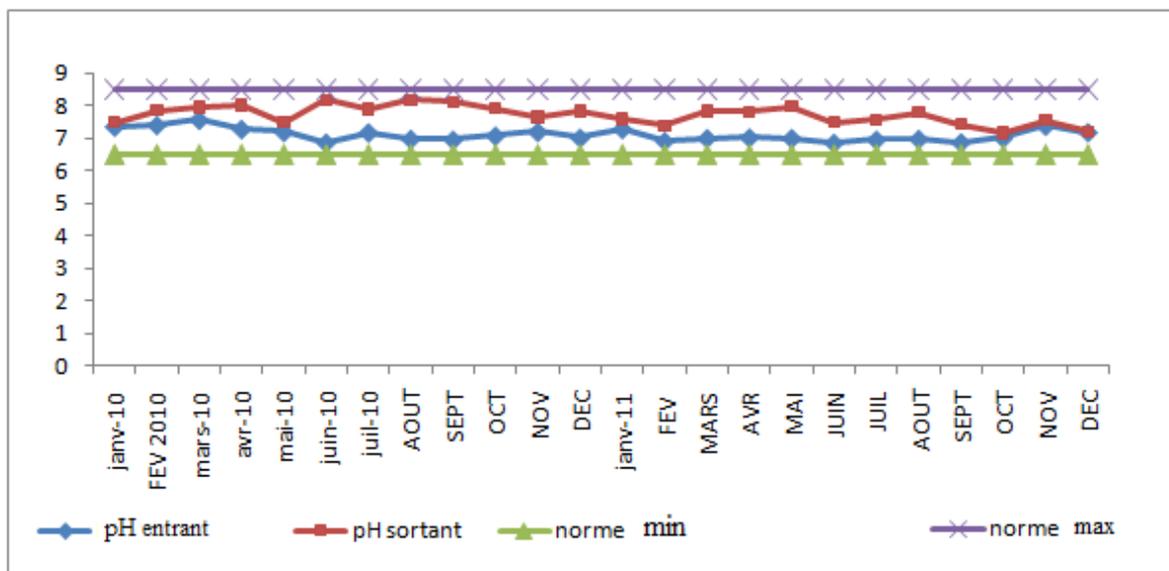


Figure 38 : Variation de pH pour le lagunage Sidi Senoussi (2010-2011)

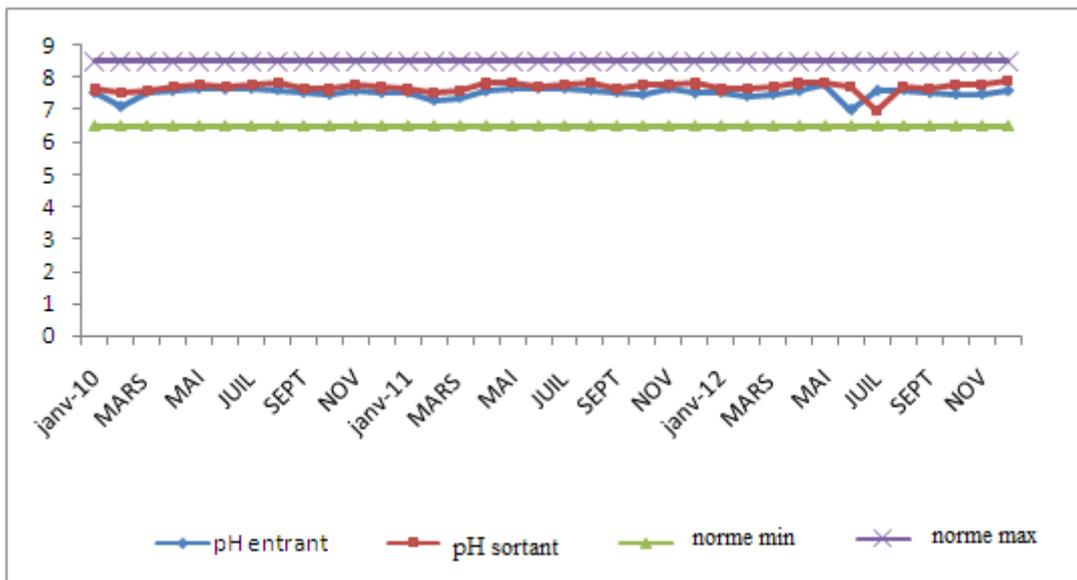


Figure 39 : Variation de pH pour le lagunage d'Amir Ebdel Kader(2010-2012)

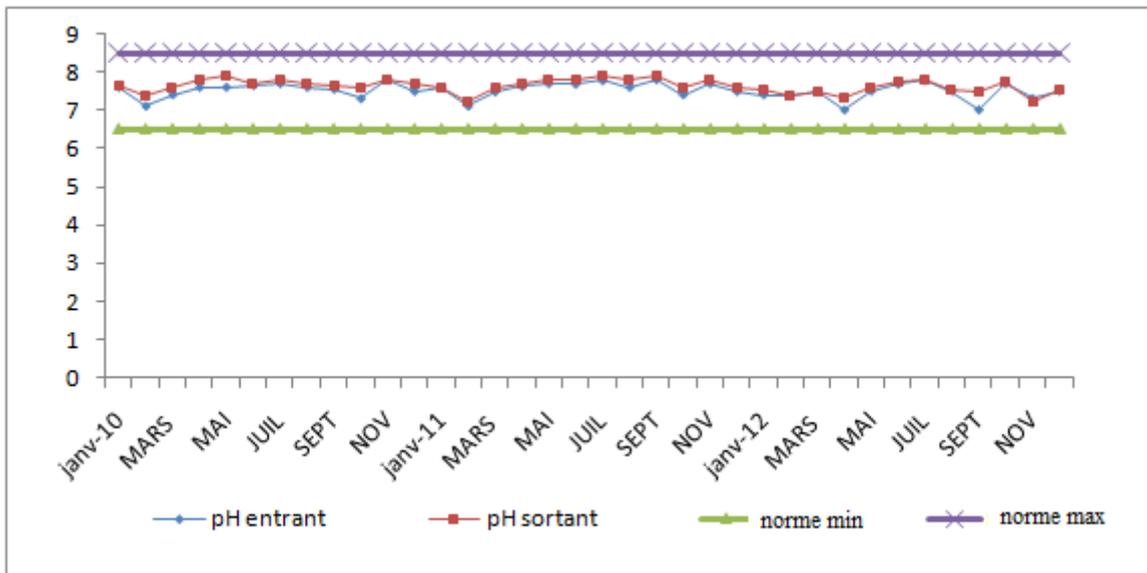


Figure 40 : Variation de pH pour lagunage de Sidi Safi (2010-2012)

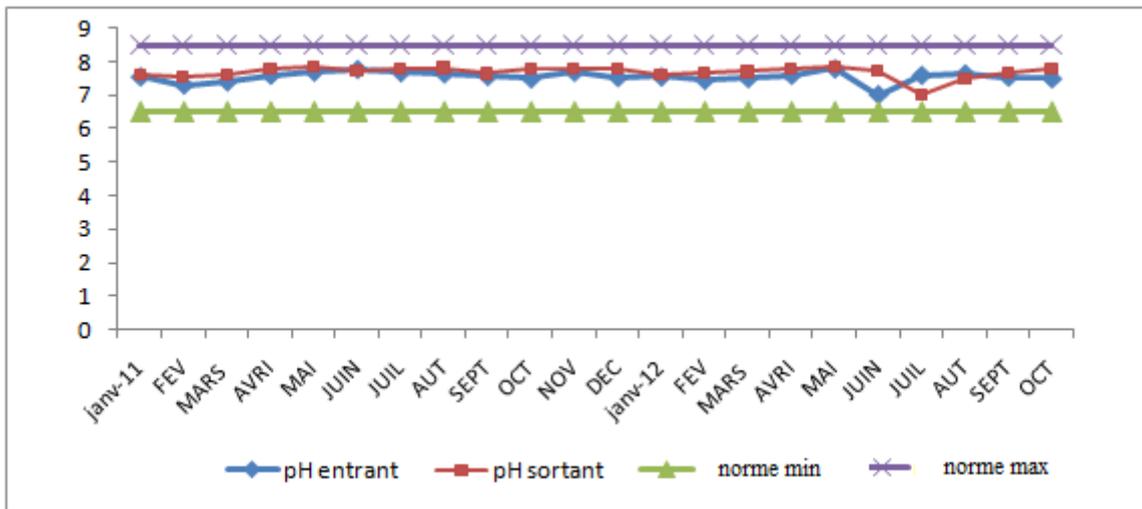


Figure 41 : Variation de pH pour le lagunage d'El Maleh(2011-2012)

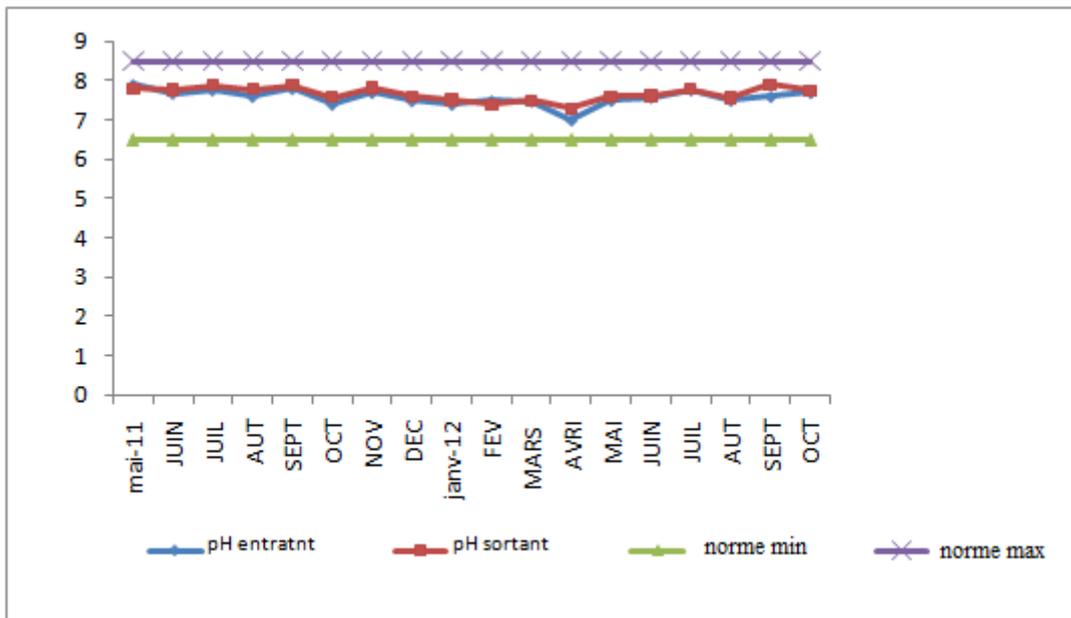


Figure 42 : Variation de pH pour le lagunage d'El Amria (2011- 2012)

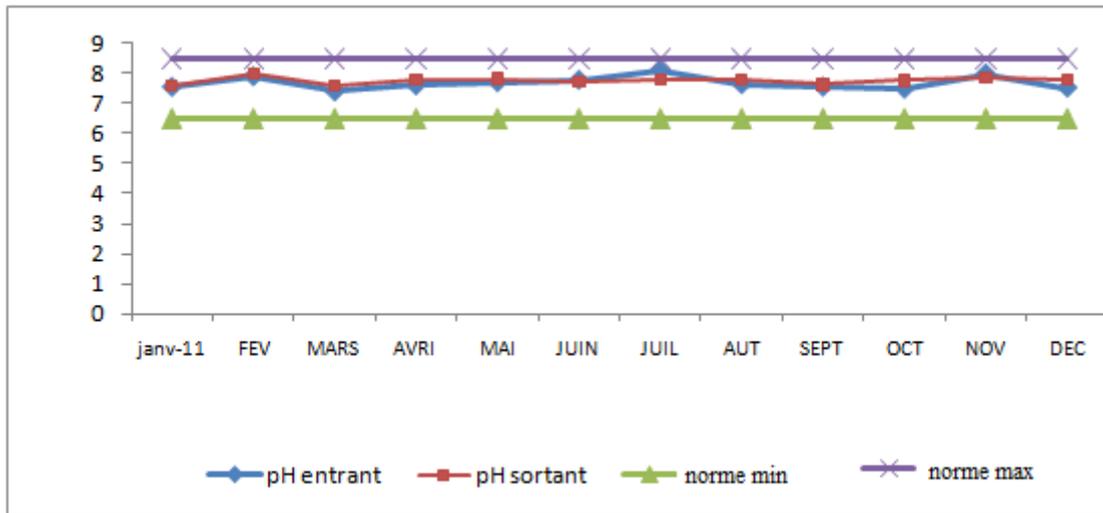


Figure 43 : Variation de pH pour le lagunage de Hassi El Ghala (2011)

IV.3.2. Les résultats des matières en suspension

Théoriquement les MES sont les matières qui ne sont, ni solubles, ni à l'état colloïde du fait des limites séparant des trois états. Les matières en suspension comportent des matières organiques et des matières minérales.

Les MES sont mesurés par la méthode de filtration, les résultats obtenus sont représentés en mg/l dans les figures 44, 45, 46, 47, 48 et 49.

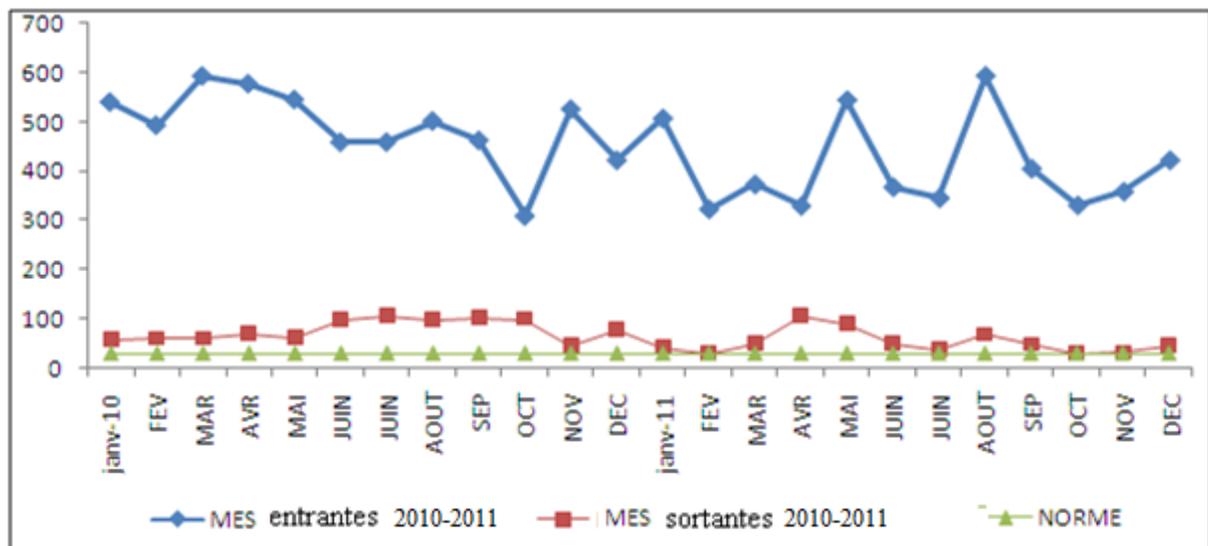


Figure 44 : Variation des concentrations des MES(en mg/l) de Sidi Senoussi (2010-2011)

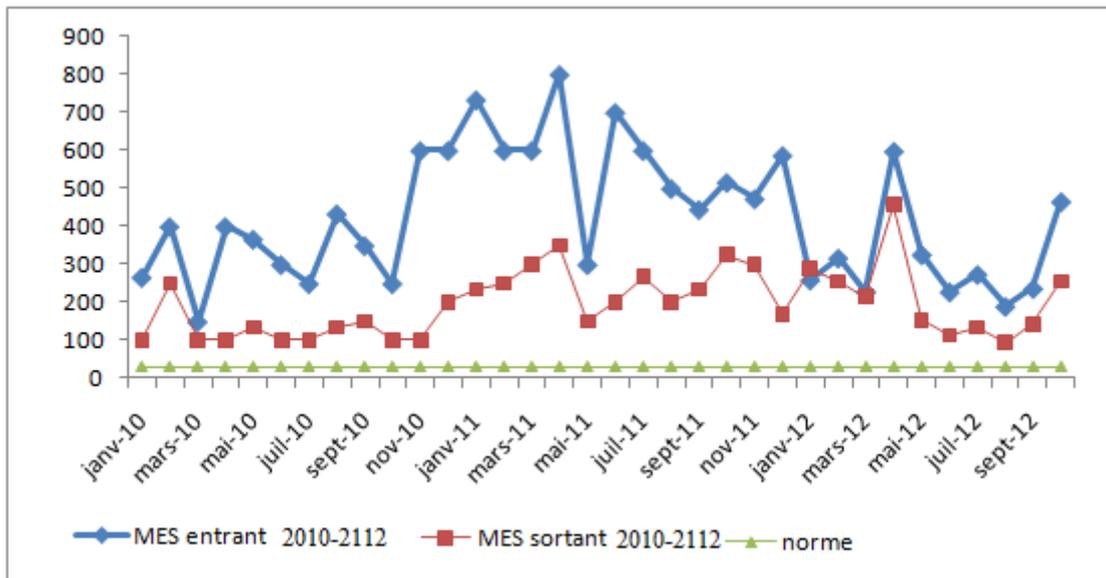


Figure 45 : Variation des concentrations des MES (en mg/l) d'Amir Ebdel Kader(2010-2012)

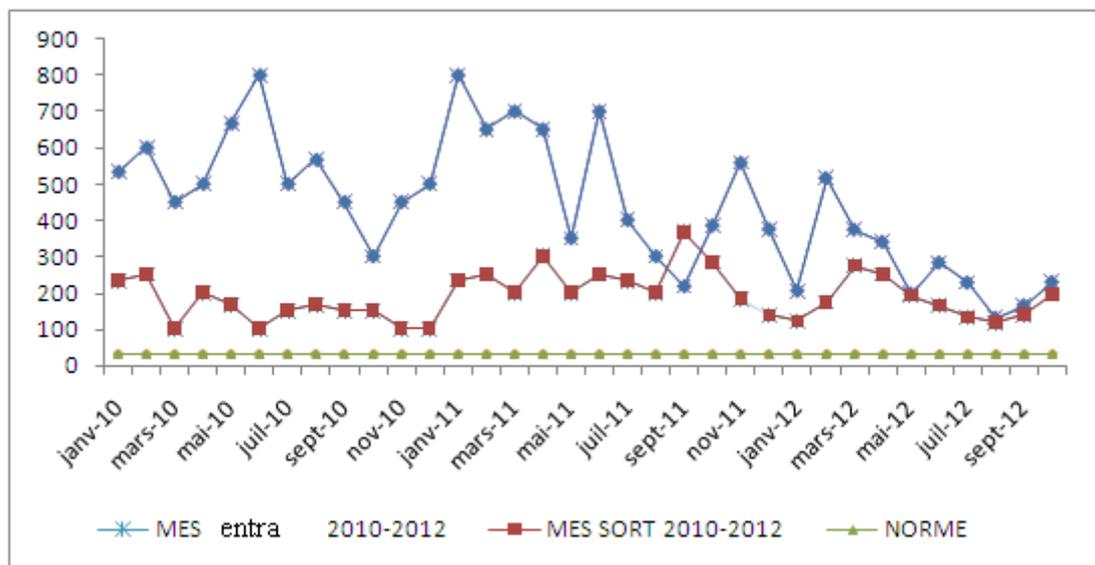


Figure 46 : Variations des concentrations des MES en mg/l de Sidi Safi (2010-2012)

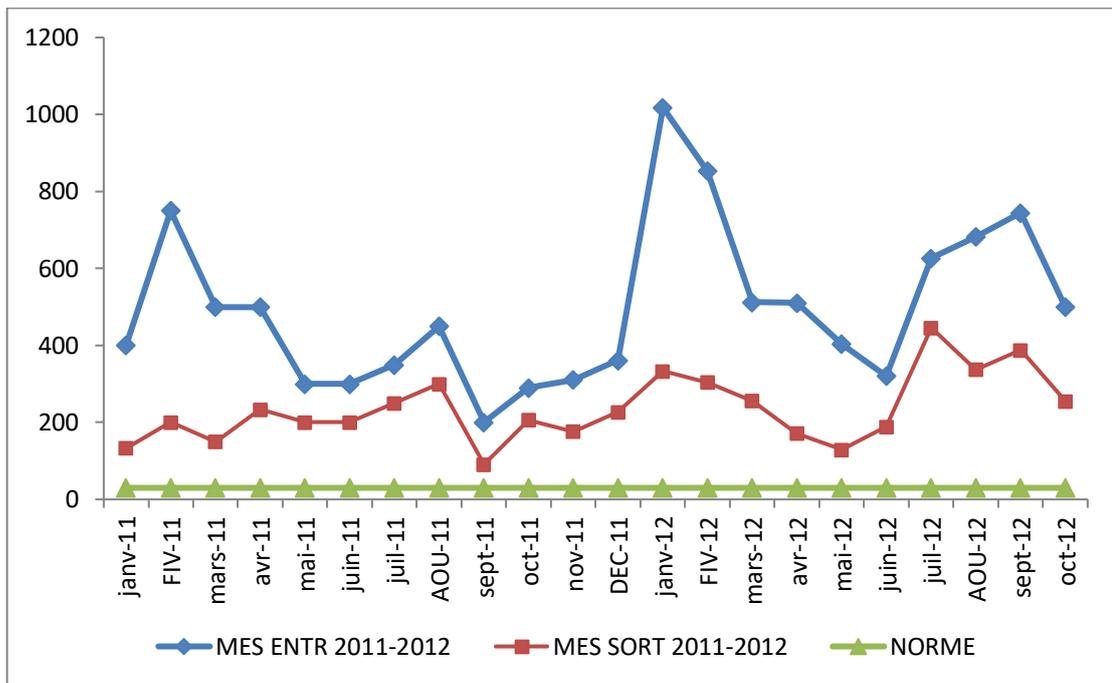


Figure 47 : Variations des concentrations des MES (en mg/l) d'El Maleh (2011-2012)

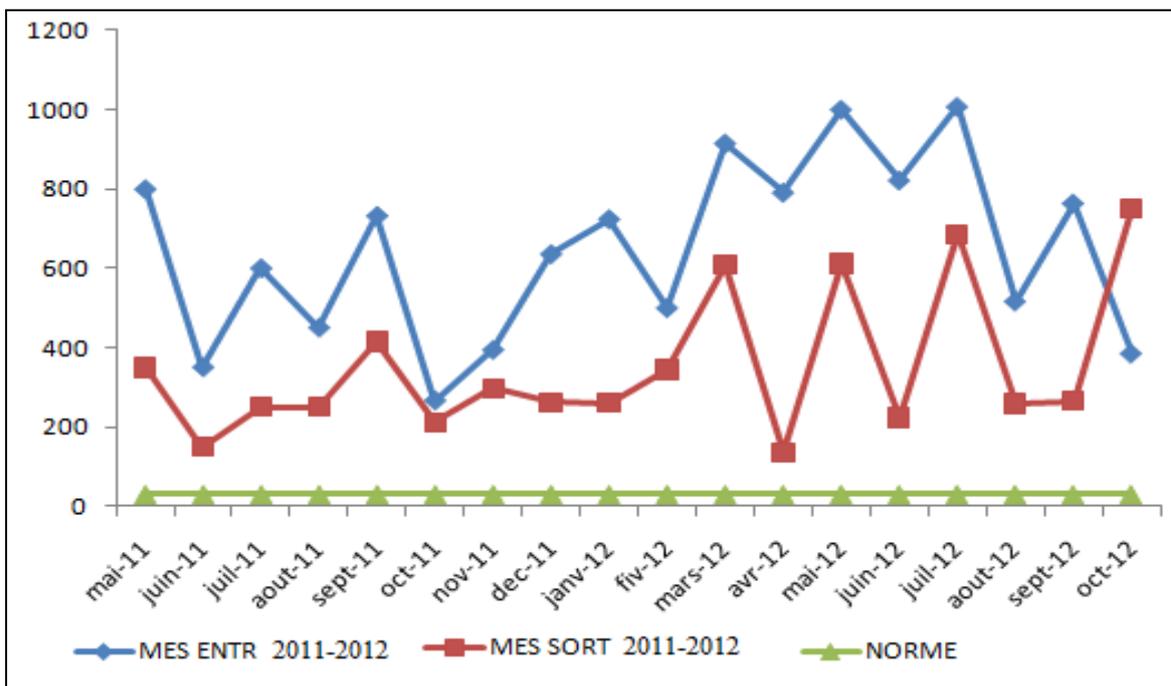


Figure 48 : Variations des concentrations des MES (en mg/l) d'El Amria (m2011- 2012)

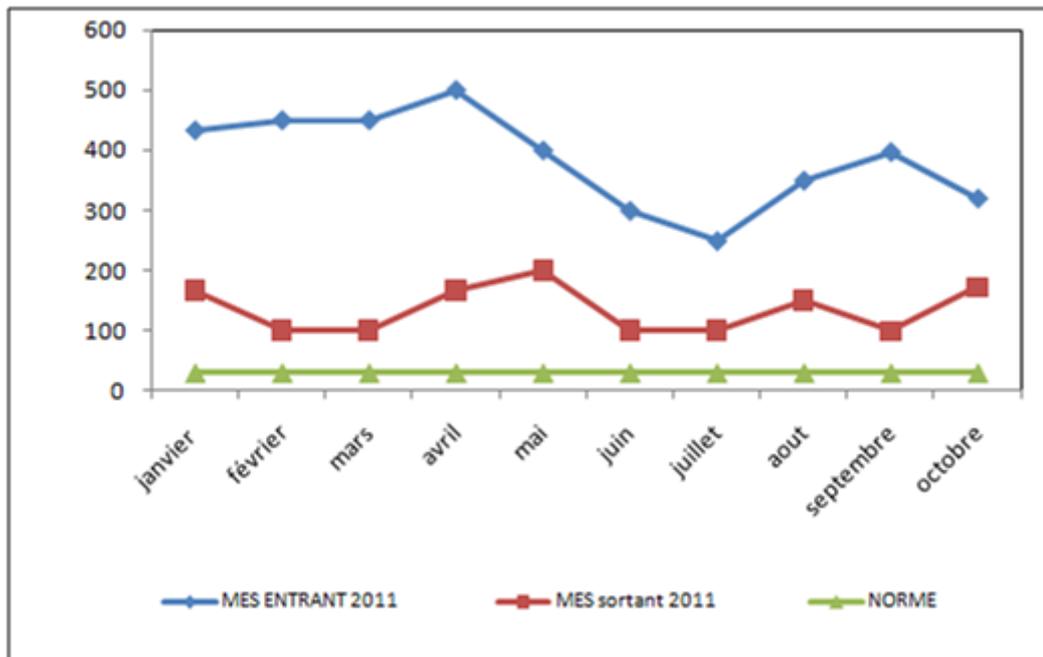


Figure 49 : Variation des concentrations des MES (en mg/l) du Lagunage H. Ghala(2011)

IV.3.3. les Résultats de la DBO₅

La DBO₅ ou la demande biologique en oxygène est la quantité de dioxygène nécessaire aux micro-organismes aérobies pour oxyder la matière organique biodégradable de l'eau. Il s'agit donc d'une consommation potentielle de dioxygène par voie biologique. Ce paramètre constitue un bon indicateur de la teneur en matières organiques biodégradables d'une eau naturelle polluée ou d'une eau résiduaire. Les concentrations des eaux usées entrantes et sortantes en DBO₅ en mg/l sont mentionnées dans les figures : 50, 51, 52, 53, 54 et 55.

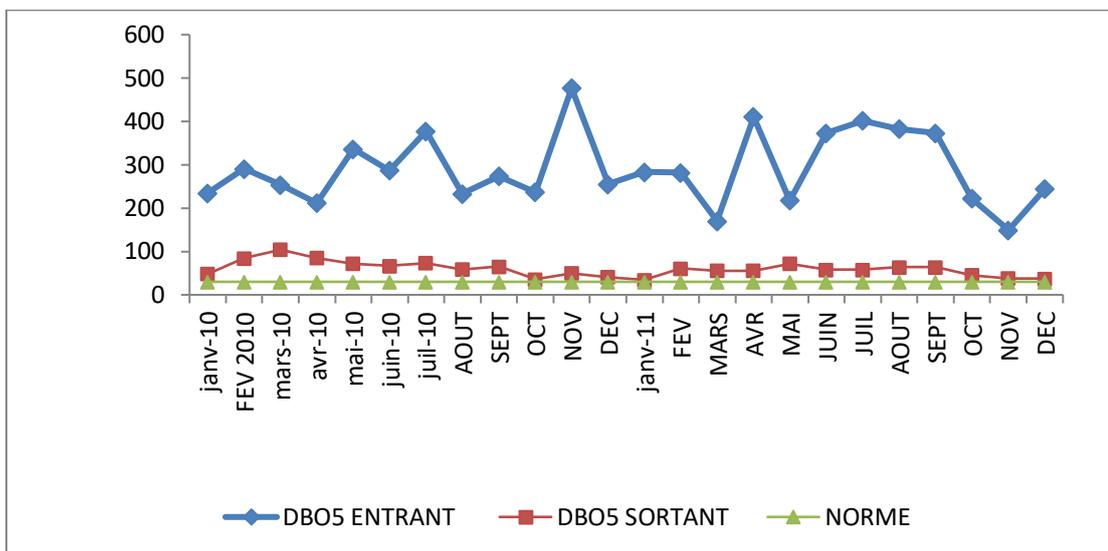


Figure 50 : Variation des concentrations de DBO₅ (en mg/l) du lagunage Sidi Senoussi (2010-2011)

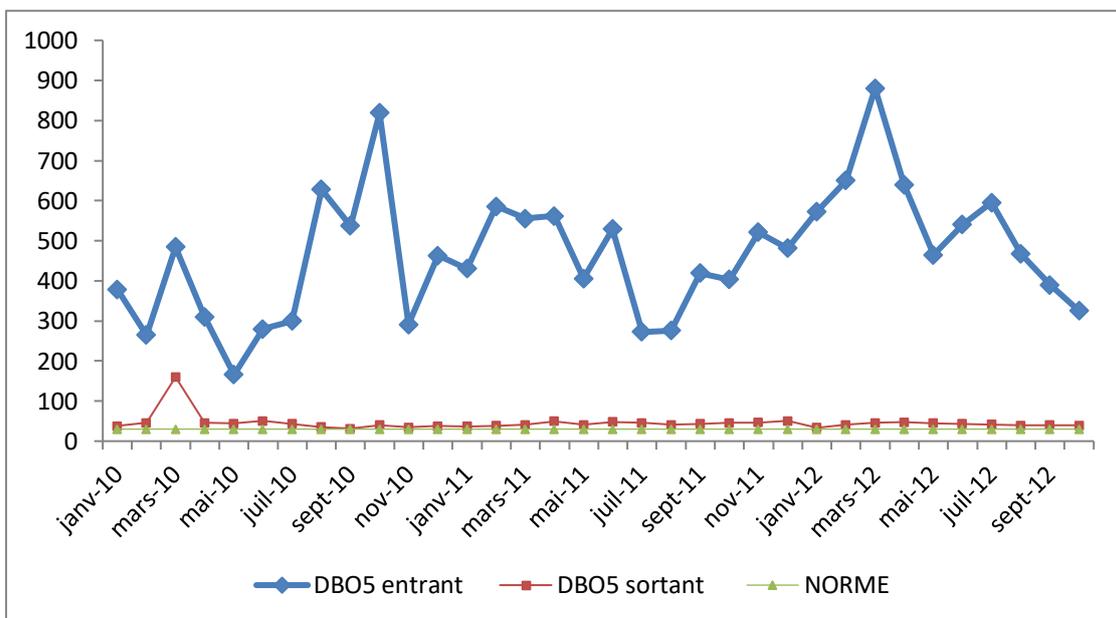


Figure 51 : Variation des concentrations de DBO₅ (en mg/l) du lagunage Amir Ebdel Kader (2010-2012)

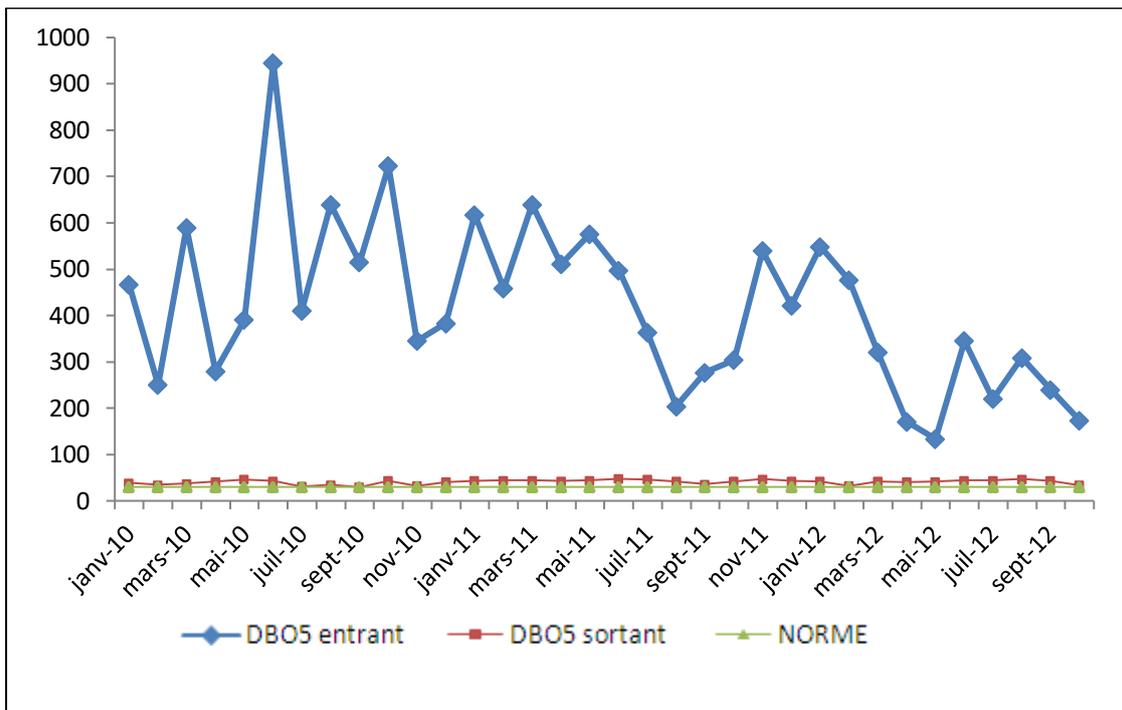


Figure 52 : Variation des concentrations de DBO₅ (en mg/l) du lagunage Sidi Safi (2010-2012)

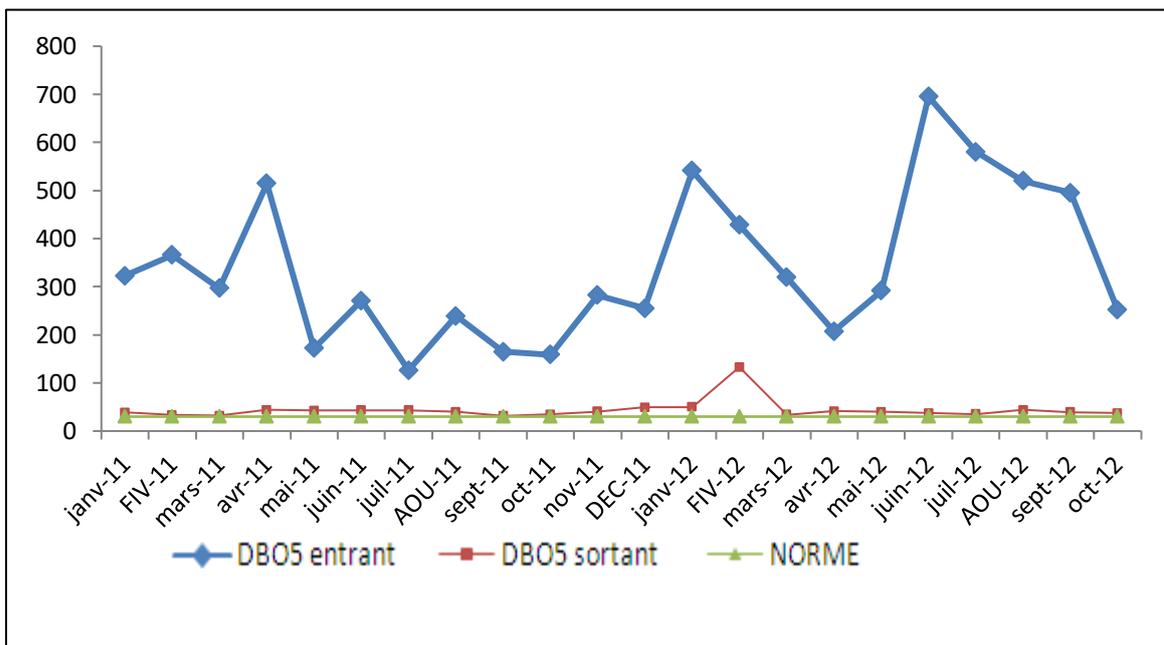


Figure 53 : Variation des concentrations de DBO₅ (en mg/l) du lagunage El Maleh (2011-2012)

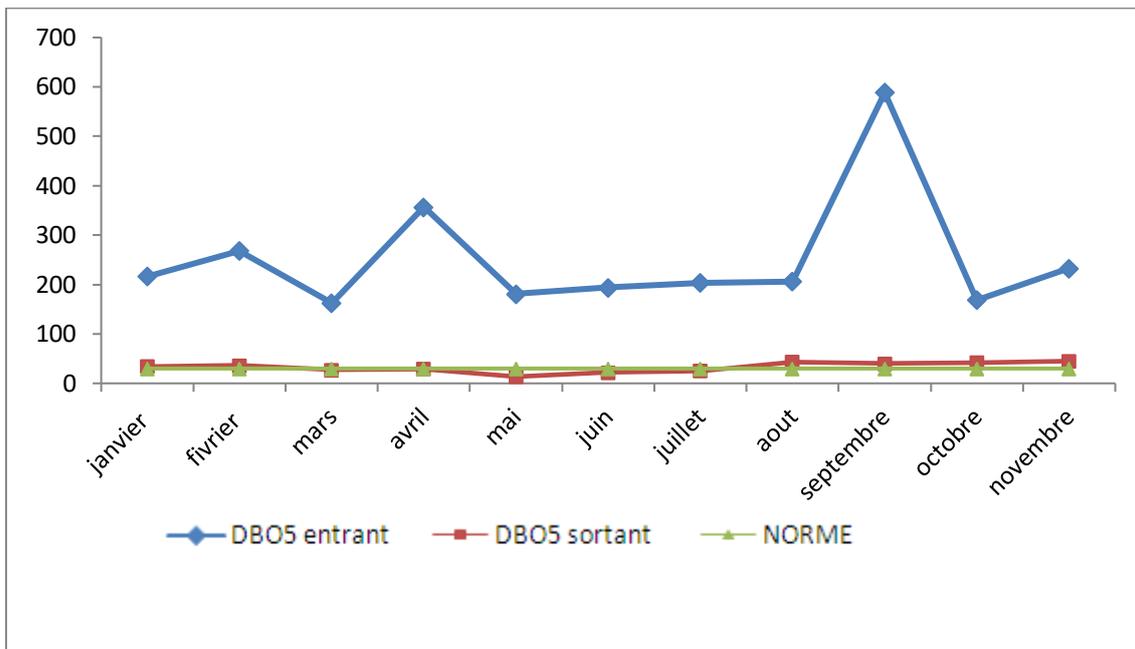


Figure 54: Variation des concentrations de DBO₅ (en mg/l) du lagunage Hassi El Ghala (2011)

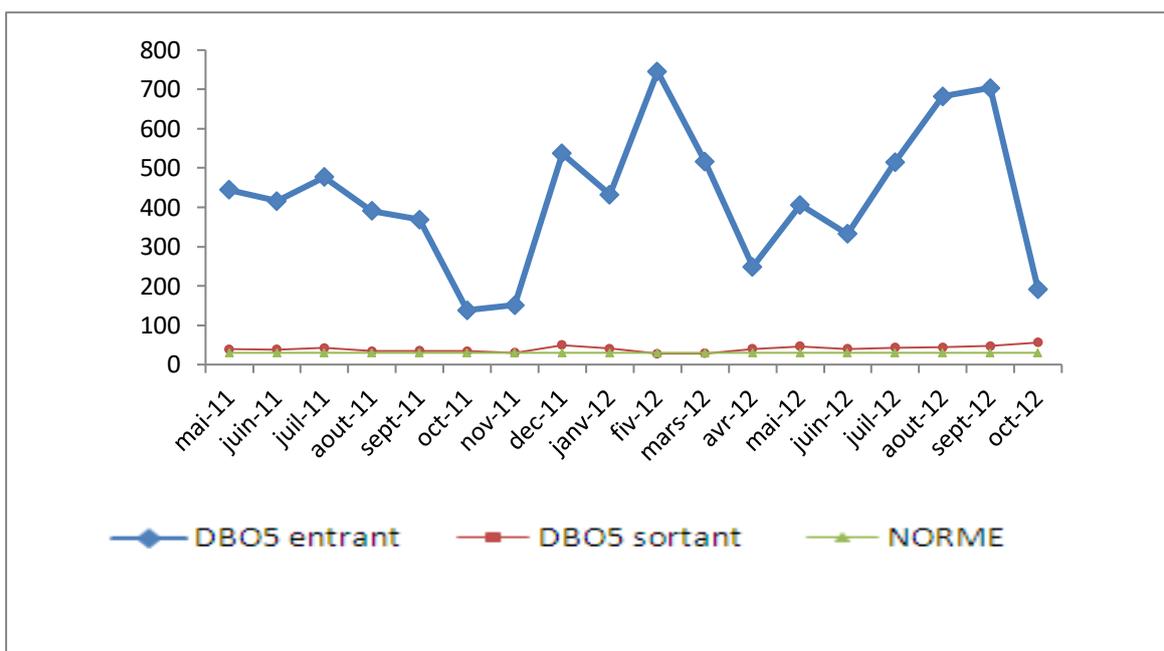


Figure 55: Variation des concentrations de DBO₅ (en mg/l) du lagunage d'El Amria (2011- 2012)

IV.3.4 Les résultats de la DCO

La DCO est la quantité d'oxygène consommée lors d'une réaction chimique mettant en milieu sulfurique concentré et à une température élevée. Les résultats sont exprimés en mg/ l dans les figures : 56, 57, 58, 59, 60 et 61.

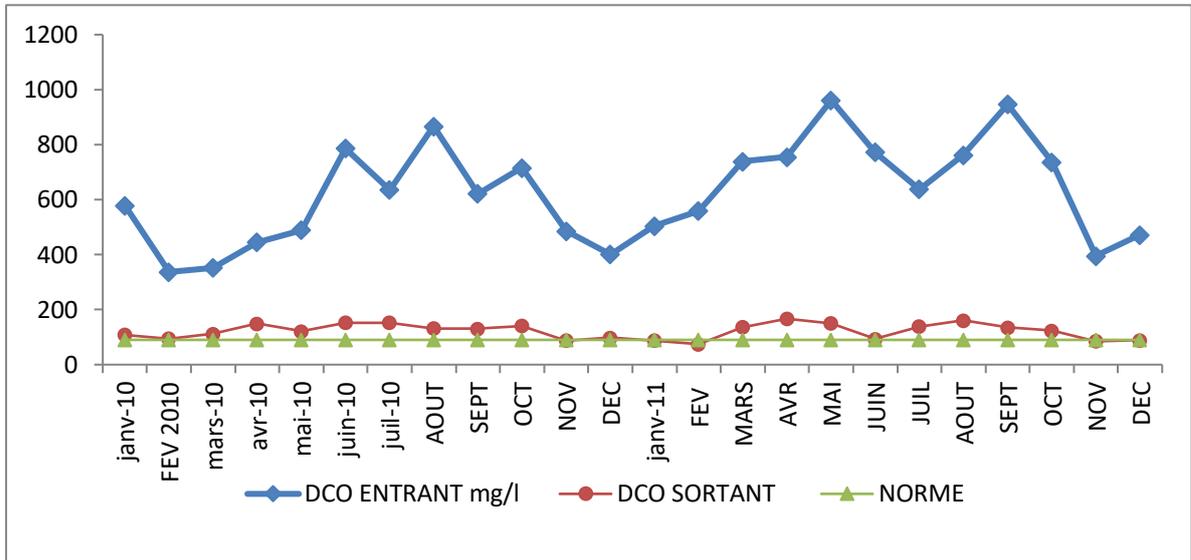


Figure 56 : Variation des concentrations de DCO (en mg/l) du lagunage de Sidi Senoussi (2010-2011)

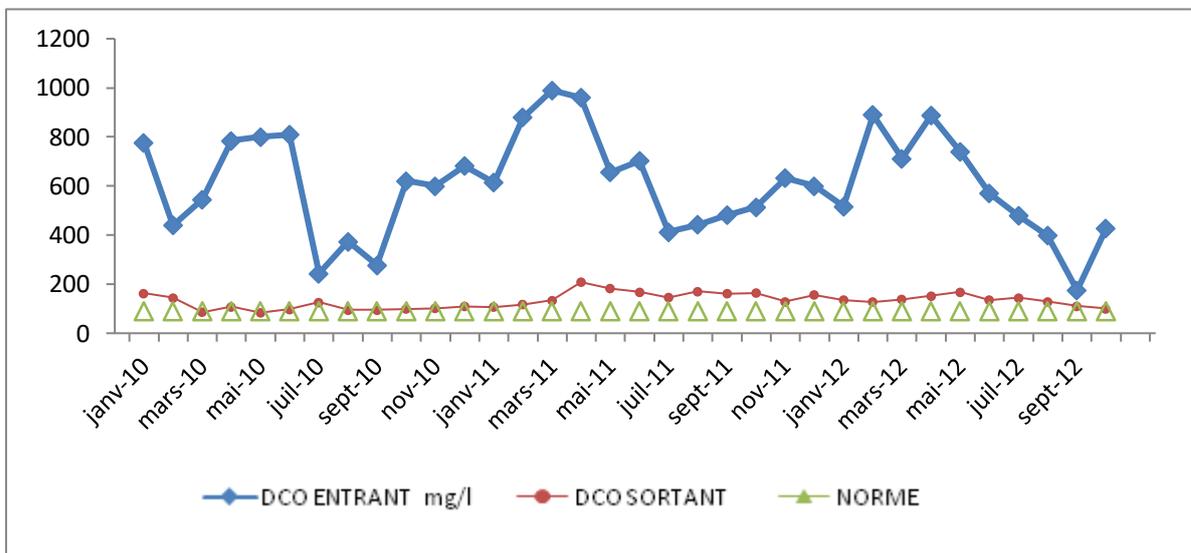


Figure 57 : Variation des concentrations de DCO (en mg/l) du lagunage d'Amir Ebdel Kader (2010-2012)

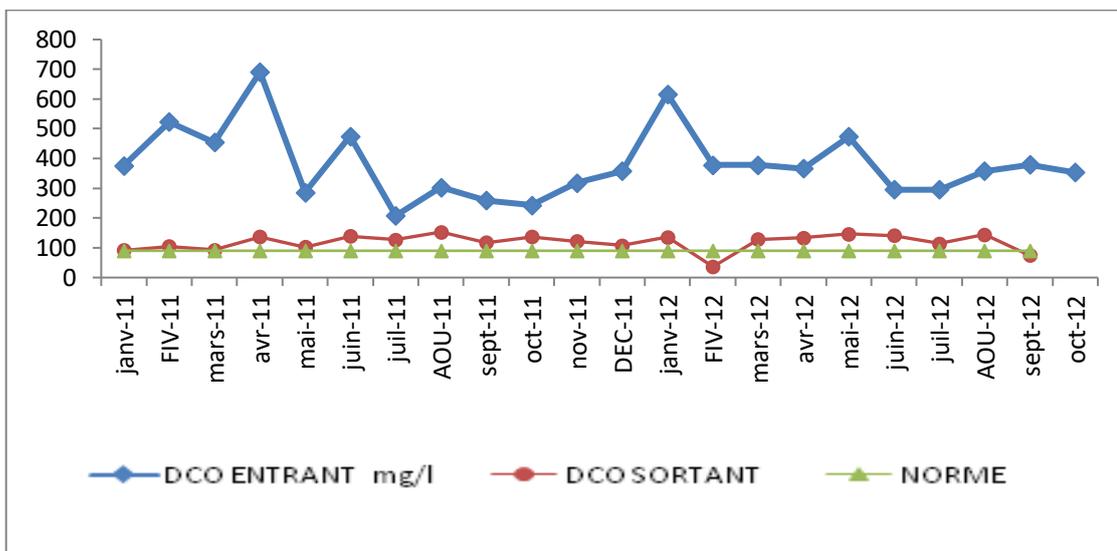


Figure 58: Variation des concentrations de DCO (en mg/l) du lagunage El Maleh (2011-2012)

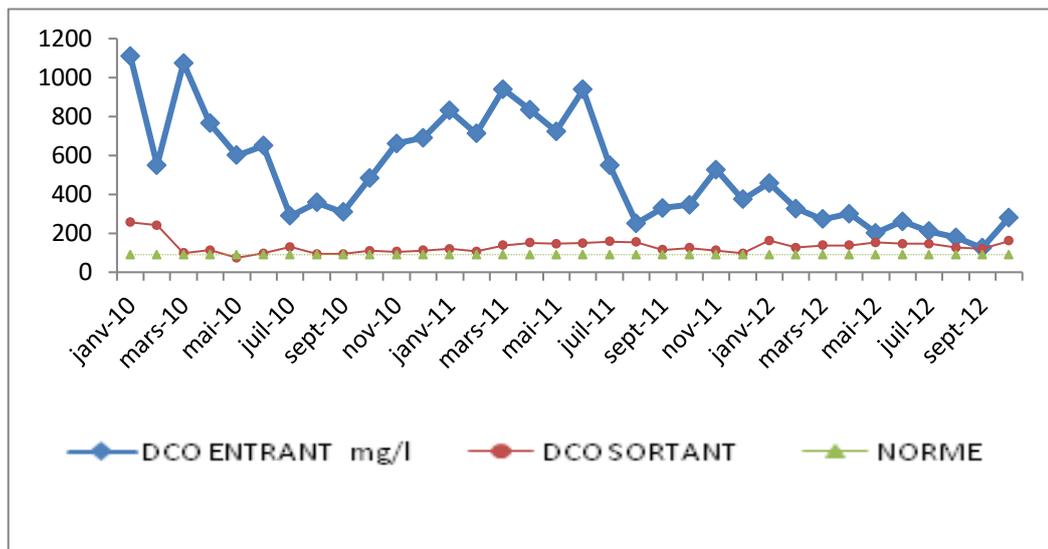


Figure 59: Variation des concentrations de DCO (en mg/l) du lagunage de Sidi Safi (2010-2012)

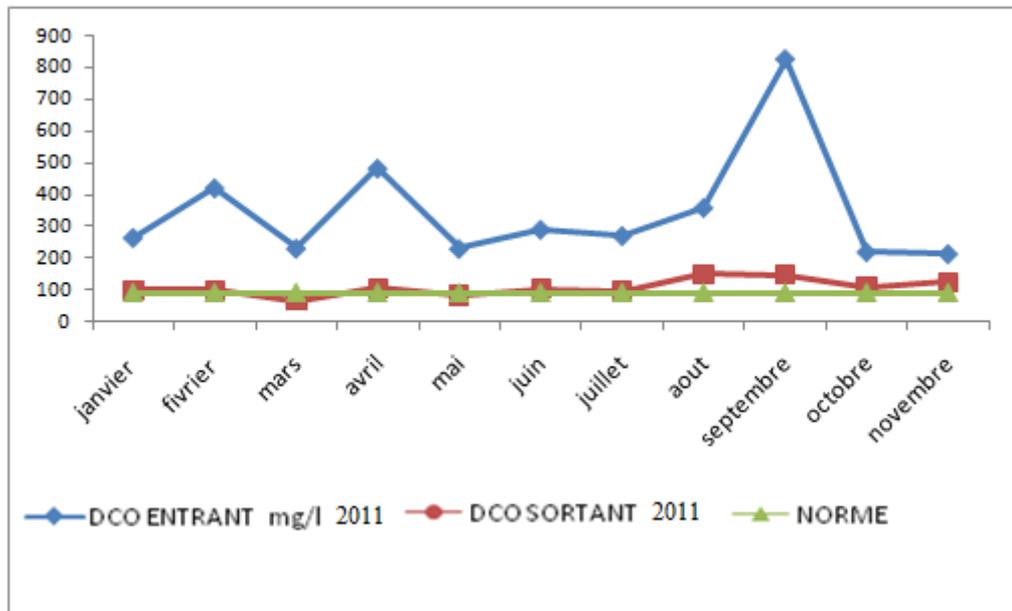


Figure 60 : Variation des concentrations en DCO (en mg/l) du lagunage de Hassi El Ghala (2011)

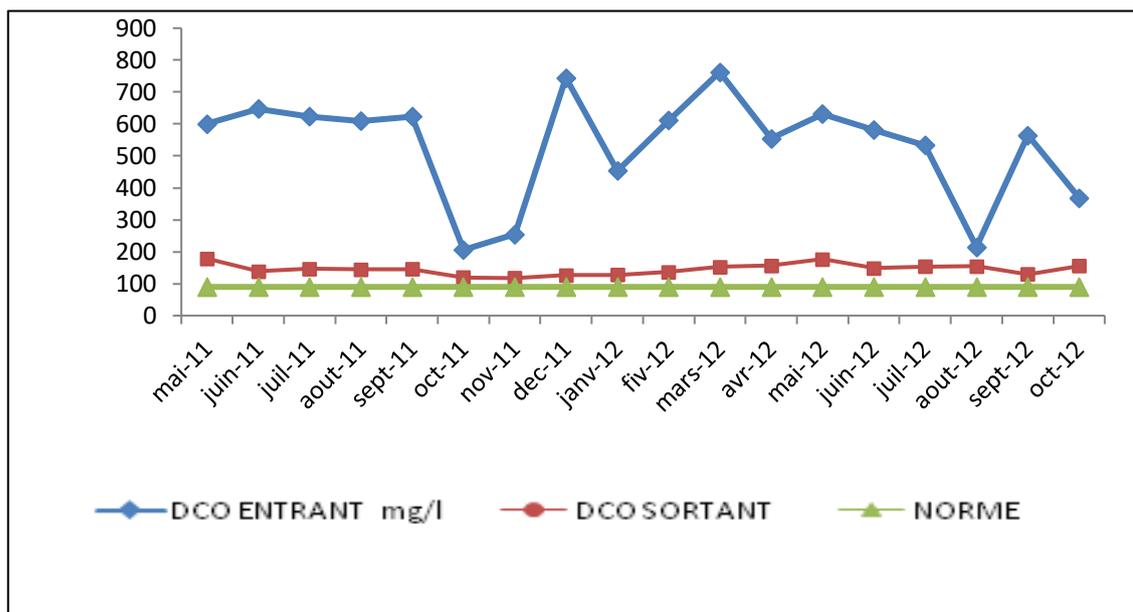


Figure 61: Variation des concentrations de DCO (en mg/l) du lagunage d'El Amria (2011-2012)

IV.3. 5 Les résultats de l'ammonium :

Le NH₄, c'est le premier composé résultant de la décomposition des matières azotées. Cet élément est considéré comme fertilisant pour les terres agricoles. Les concentrations de l'ammoniaque des eaux entrantes et sortantes en mg/l sont mentionnées dans les figures : 62, 63, 64 et 65. Pour le lagunage d'El Maleh et El Amria, les analyses n'ont pas été effectuées.

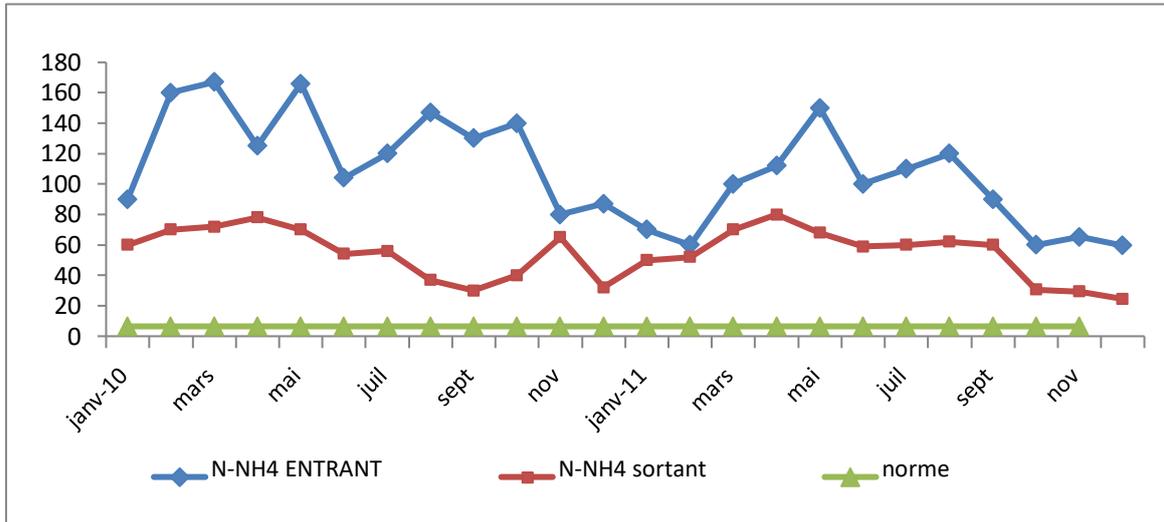


Figure 62 : Variations des concentrations de l'ammoniaque (en mg/l) du lagunage de Sidi Senoussi (2010-2011)

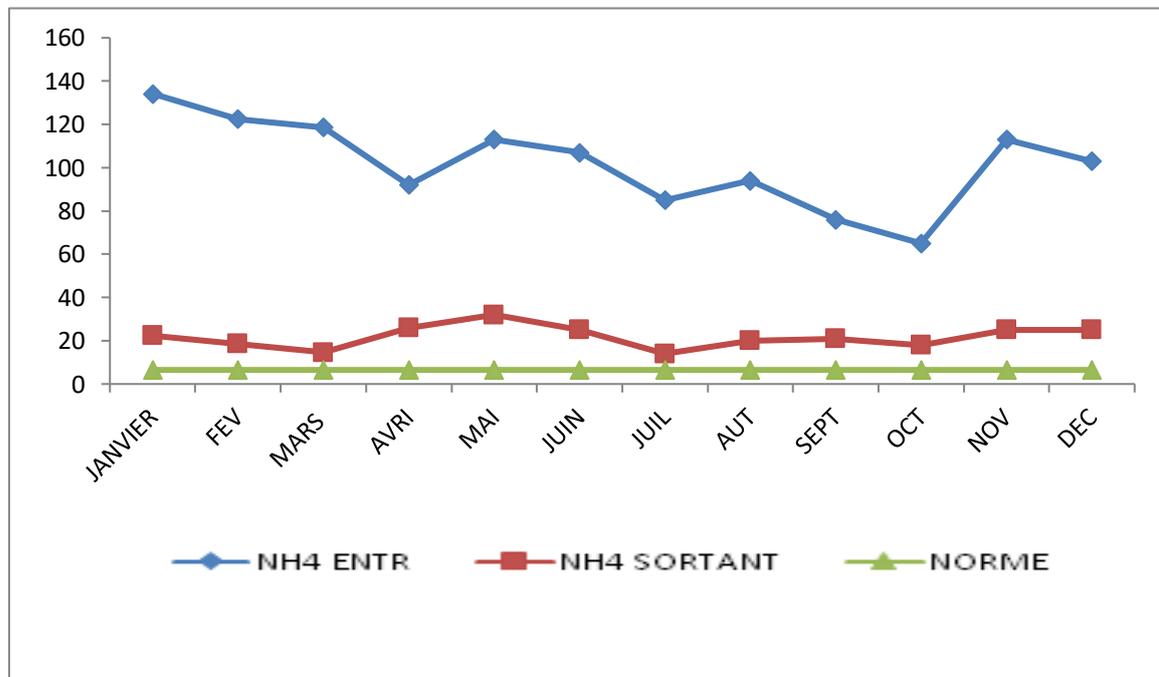


Figure 63 : Variations des concentrations de l'ammoniaque (en mg/l) du lagunage d'Amir Ebdel Kader (2010)

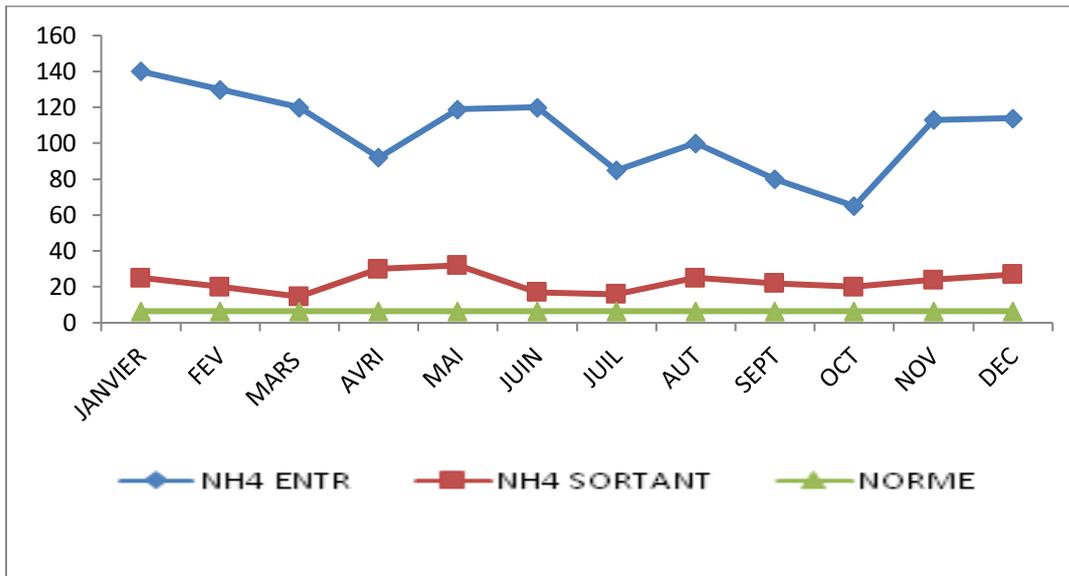


Figure 64 : Variation des concentrations de l'ammoniaque (en mg /l) du lagunage de Sidi Safi (2010)

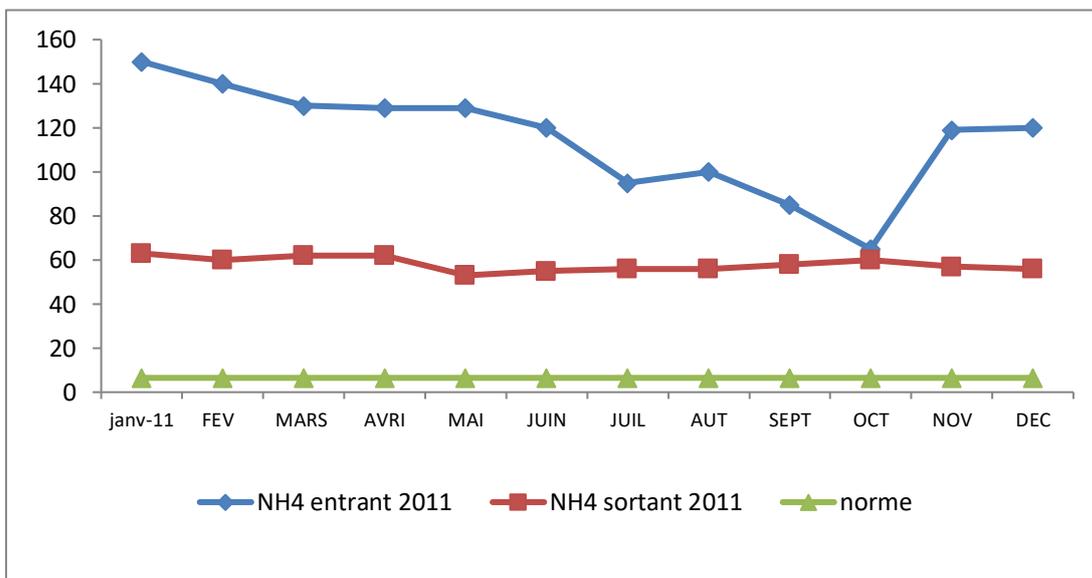


Figure 65 : Variations des concentrations de l'ammoniaque (en mg /l) du lagunage du Hassi El Ghala (2011)

IV.3.6. Les résultats de nitrates

Les concentrations en nitrates des eaux usées entrantes et sortantes (en mg /l) sont présentées dans les figures : 66, 67, 68 et 69 ainsi que la valeur limitée par les normes. Pour le lagunage d'El Maleh et El Amria, les analyses n'ont pas été réalisées.

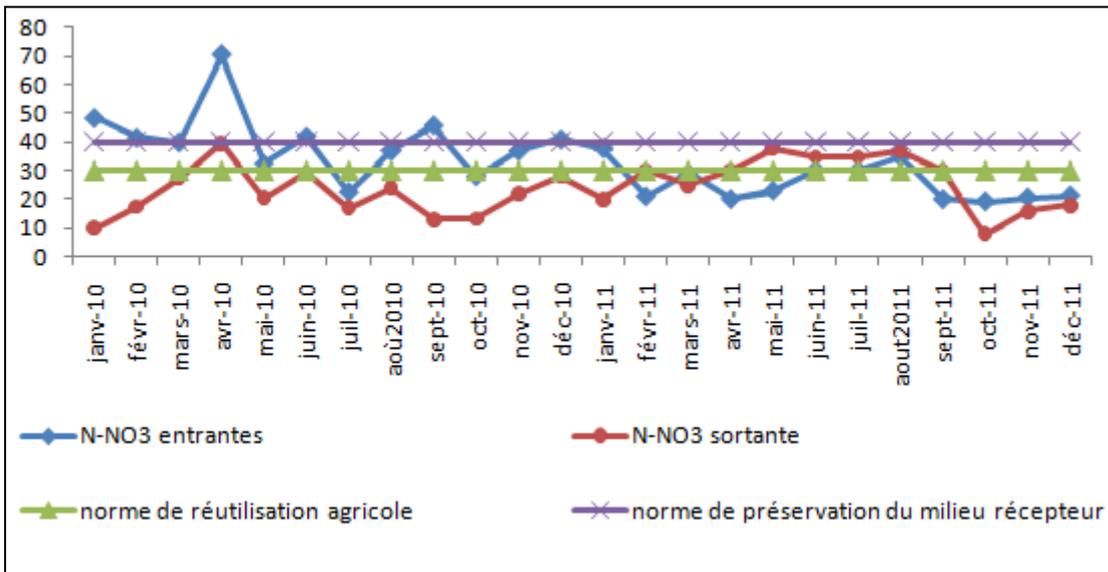


Figure 66 : Variation des concentrations des nitrates (en mg /l) du lagunage Sidi Senoussi (2010-2011)

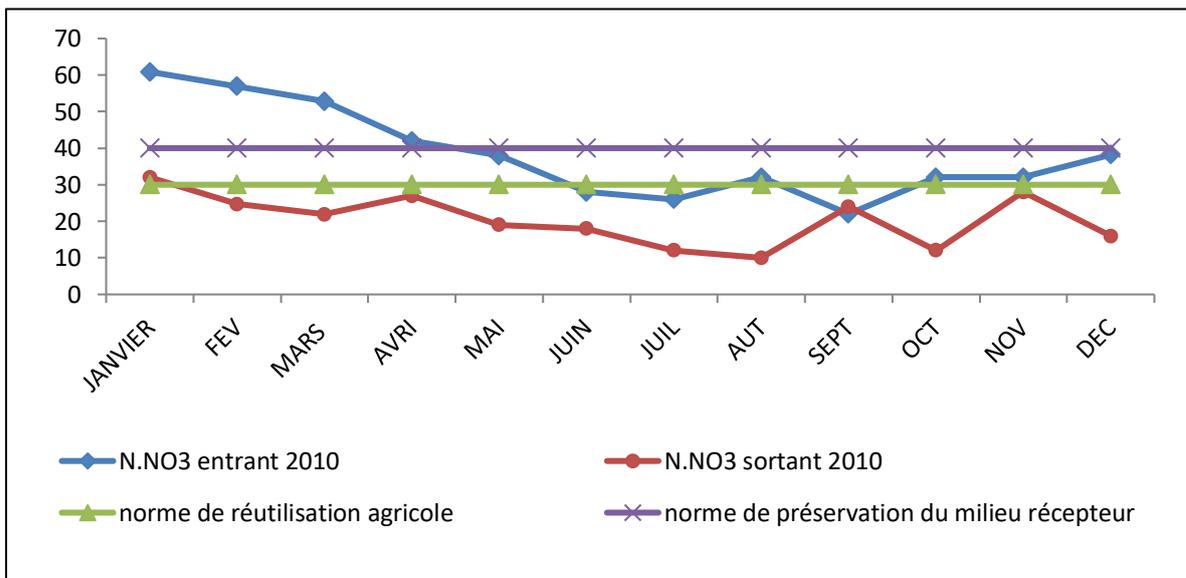


Figure 67 : Variation des concentrations des nitrates (en mg /l) du lagunage d'Amir Ebdel Kader (2010)

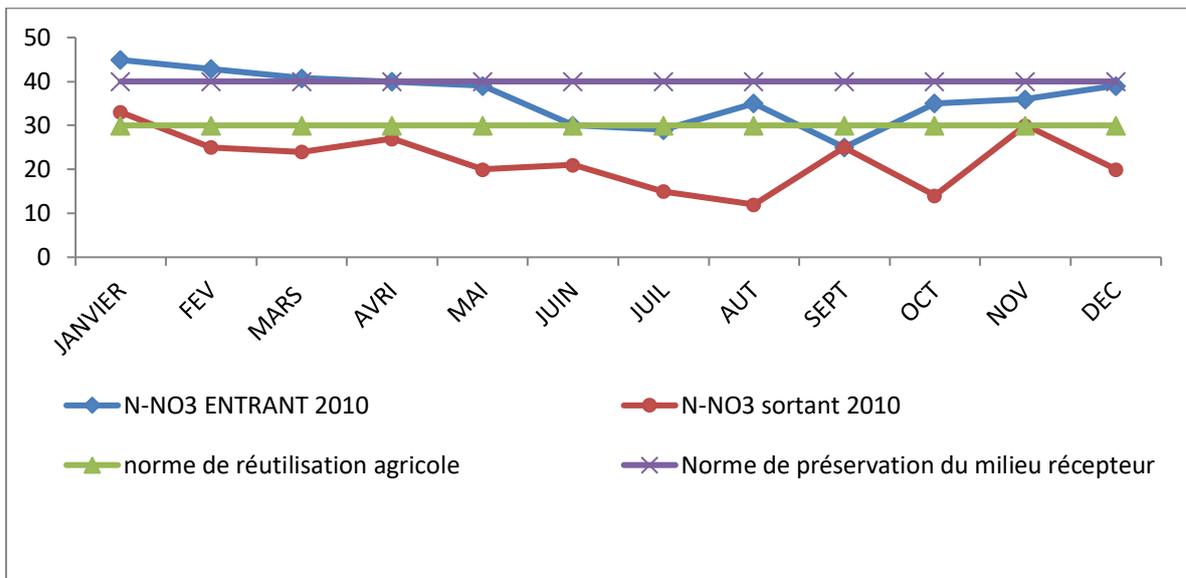


Figure 68 : Variation des concentrations des nitrates (en mg /l) du lagunage de Sidi Safi (2010)

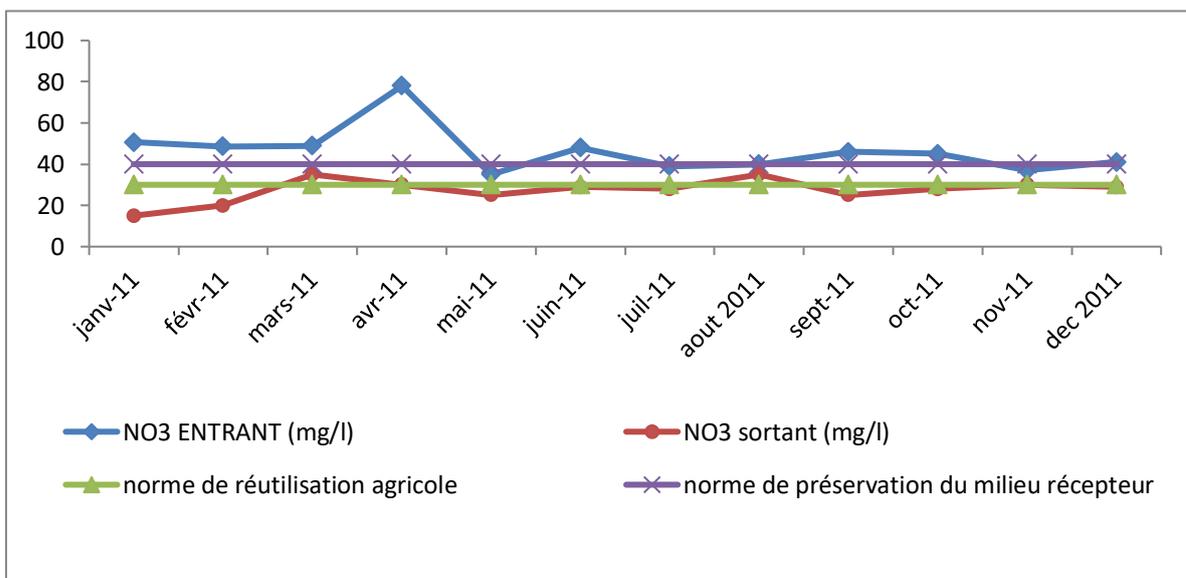


Figure 69 : Variation des concentrations des nitrates (en mg /l) du lagunage de Hassi El Ghala(2011)

IV.3.7. les résultats du phosphore :

Le phosphore se trouve dans les eaux usées domestiques peut provenir des détergents ainsi que de la décomposition de la matière organique. Les résultats en mg /l sont disponibles seulement au niveau du le lagunage de Sidi Senoussi durant l'année 2010 sont présentés dans la figure 70.

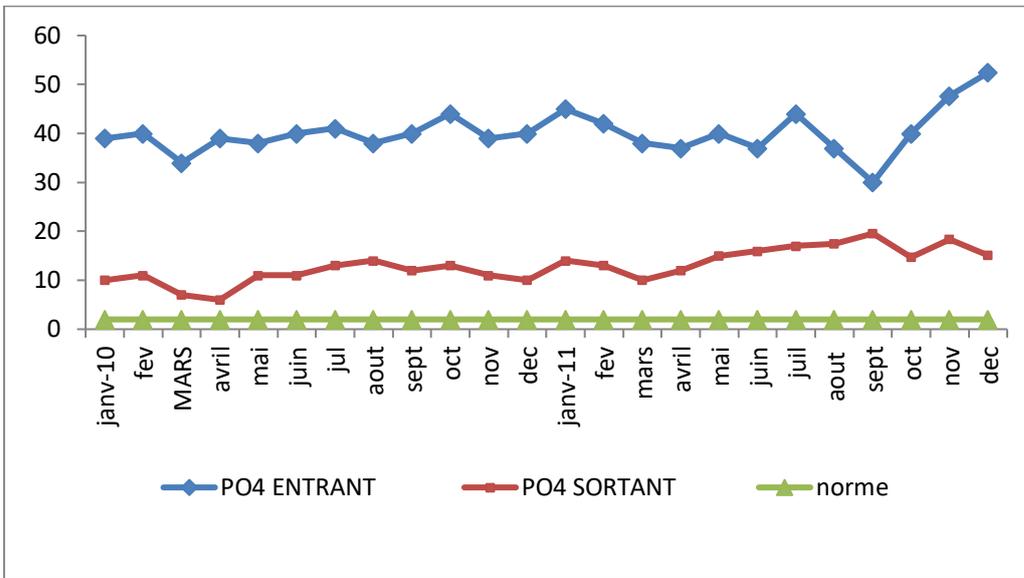


Figure 70: Variation des concentrations de PO₄ en mg /l du lagunage de Sidi Senoussi (2010-2011)

IV.3. 8. Les résultats de la conductivité :

La conductivité représente le taux de présence des sels minéraux dans l'eau, nous avons mesuré la conductivité des eaux usées entrantes et sortantes des six stations par fréquence de deux fois par mois. Les résultats obtenus en $\mu\text{s/cm}$ sont présentés dans les figures : 71, 72, 73, 74, 75 et 76.

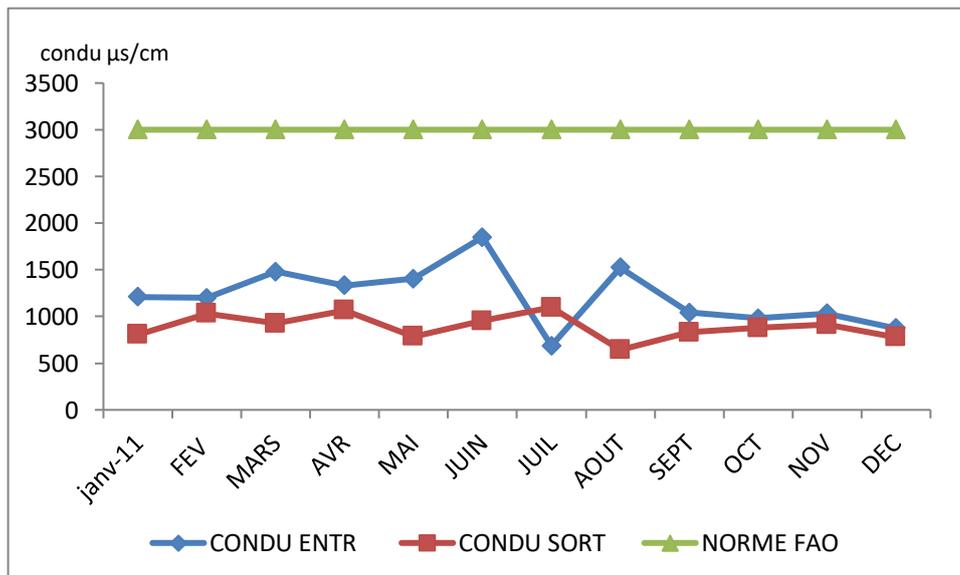


Figure 71 : Variations de la conductivité du lagunage de Sidi Senoussi (2011)

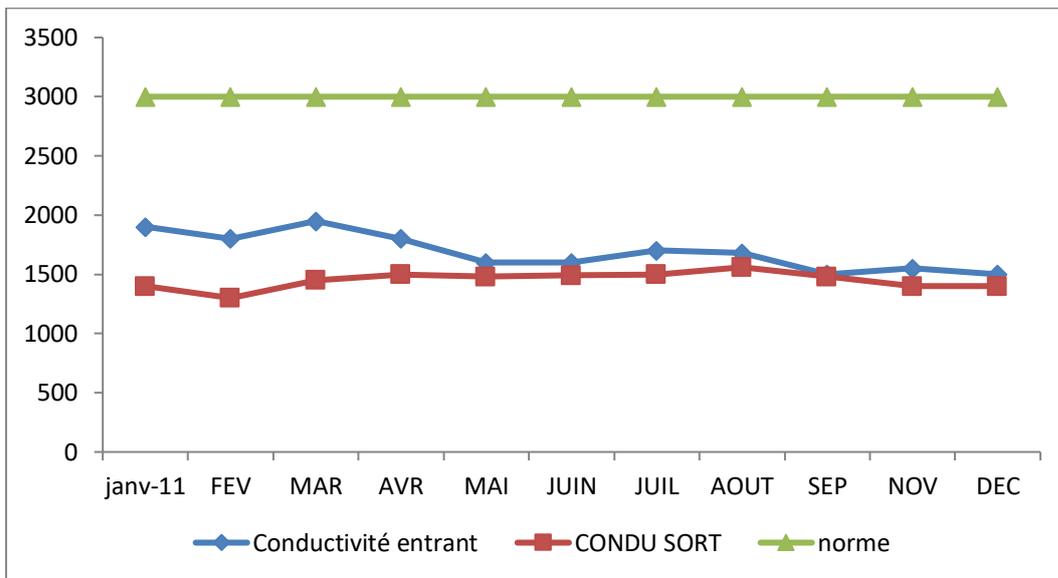


Figure 72 : Variations de la conductivité du lagunage de Sidi Safi (2011)

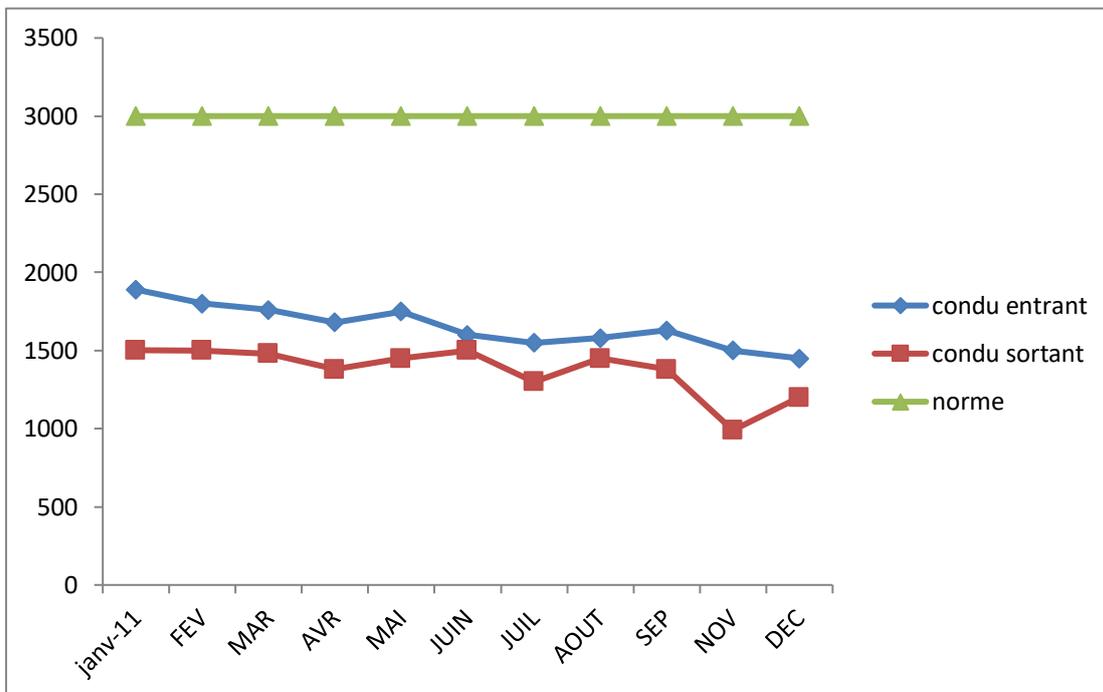


Figure 73 : Variations de la conductivité du lagunage d'Amir Ebdel Kader (2011)

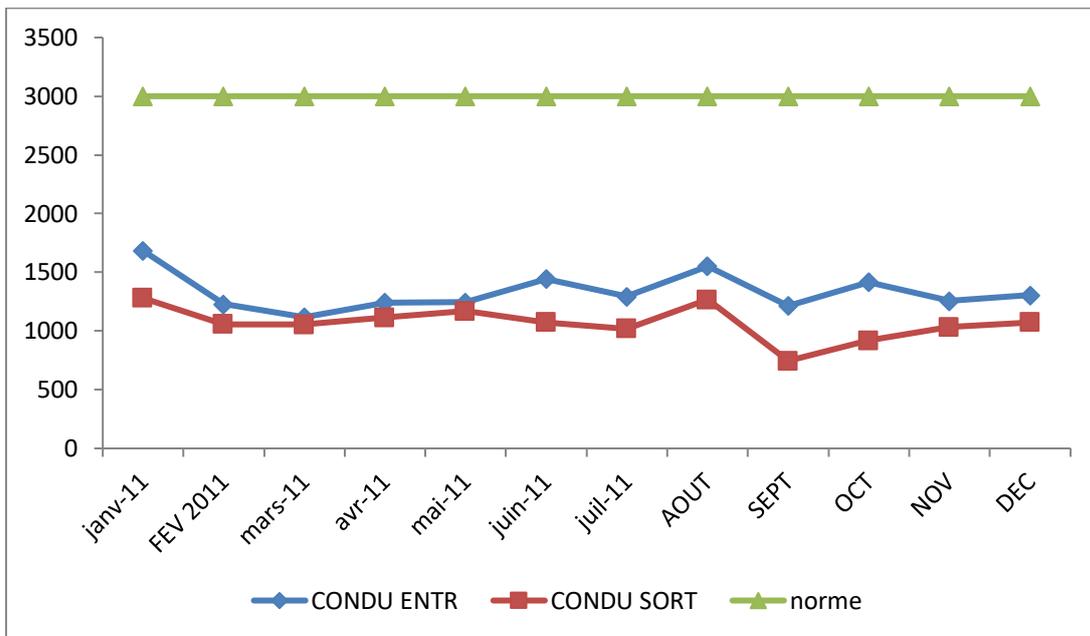


Figure 74 : Variations de la conductivité du lagunage d’El Maleh (2011)

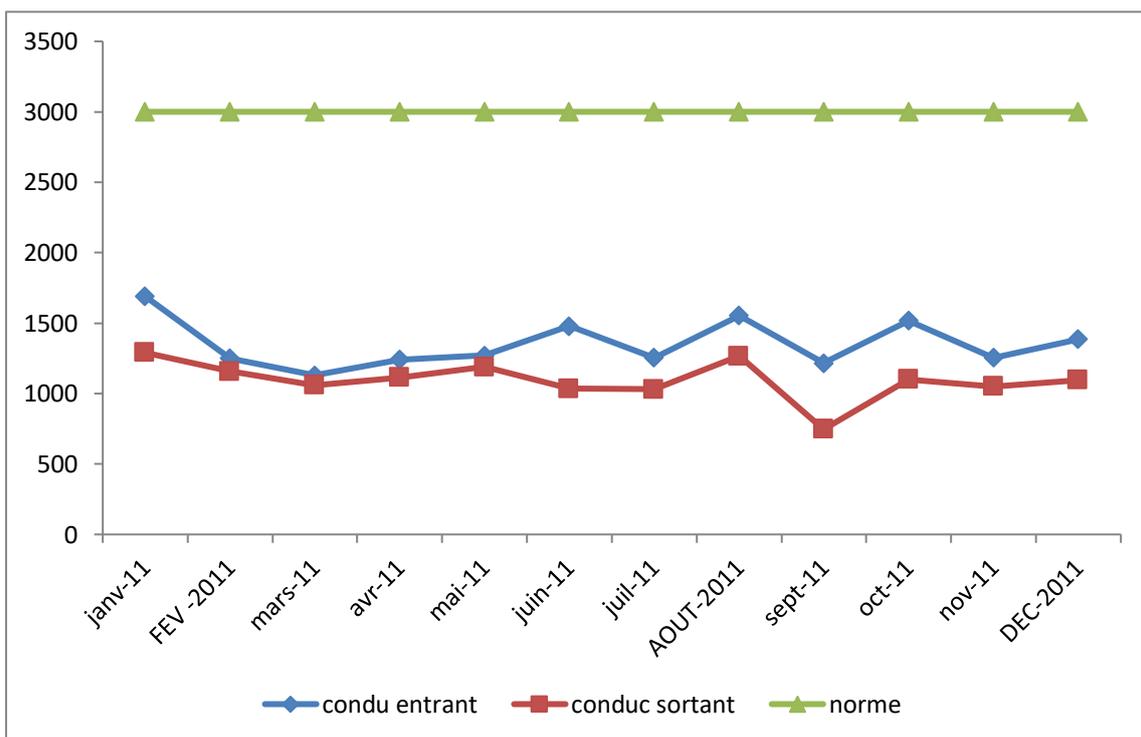


Figure 75 : Variations de la conductivité du lagunage de Hassi El Ghala (2011)

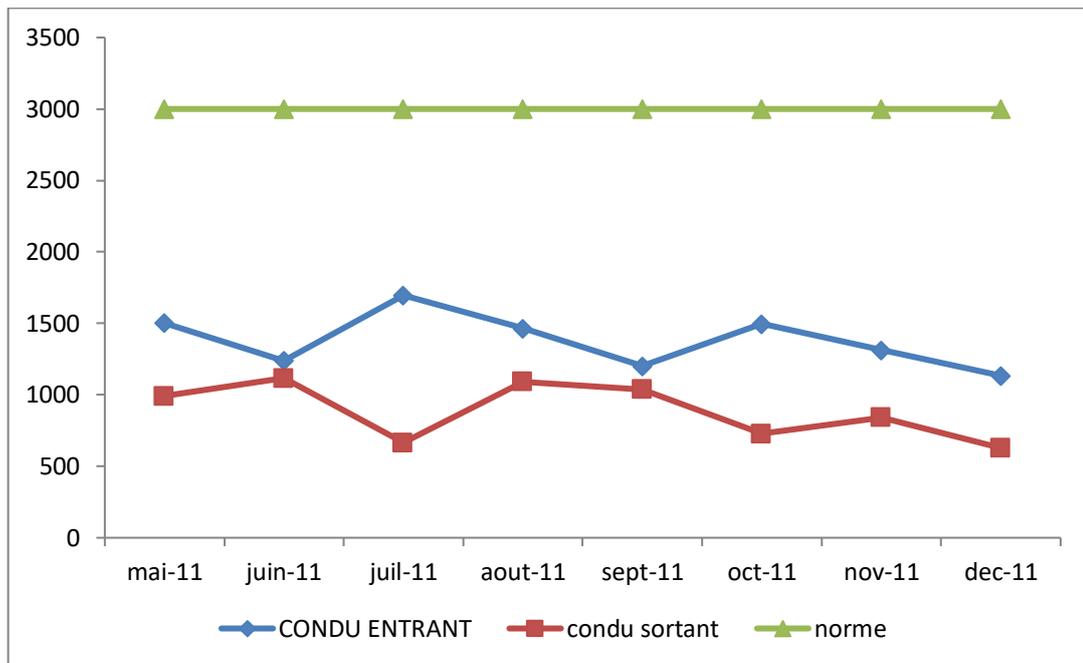


Figure 76 : Variations de la conductivité d'El Amria (2011)

IV.4 Interprétation des résultats

Dans les paragraphes suivants, les résultats obtenus pour chaque paramètre physicochimique analysé sont interprétés, et comparés avec les valeurs limitées par les normes requises de la réutilisation agricole. Enfin, nous tirons des conclusions en comparant les performances épuratoires des six lagunages étudiés entre eux.

IV.4.1 Interprétation des résultats de pH:

Les valeurs moyennes de pH des eaux entrantes et sortantes sont indiquées dans le tableau (20)

Tableau n°20 : Les valeurs moyennes entrantes et sortantes du pH

lagunage	Sidi Senoussi	d'Amir Ebdel kader	Sidi Safi	El Maleh	El Amria,	Hassi El Ghala
pH entrant	7.10	7.55	7,53	7.55	7,55	7,52
pH sortant	7.71	7.69	7,685	7,678	7.71	7,68
norme	6.5-8.5					

D'après le tableau 20, les valeurs moyennes de pH fluctuent autour de la valeur 7 alors on peut dire que les eaux entrantes et sortantes sont relativement neutres.

Dans les figures 38, 39, 40, 41,42 et 43 le graphe des valeurs sortantes est au dessus du graphe des valeurs entrantes, mais ils sont très proches de l'un de l'autre, ce qui montre qu'il y a une légère augmentation de pH des eaux sortantes. Nous pouvons justifier cette augmentation de pH par les ions H⁺ dégagés lors de l'opération de nitrification



En outre, plus le développement phytoplanctonique est important, plus les valeurs de pH ont tendance à augmenter.

Le pH des eaux entrantes et sortantes restent conformes aux normes.

IV.4.2. Interprétation des résultats des matières en suspension

Les concentrations moyennes en MES des eaux entrantes et sortantes sont indiquées dans le tableau (21)

Tableau n°21 : Les concentrations moyennes entrantes et sortantes en MES(en mg/l)

lagunage	Sidi Senoussi	d'Amir Ebdel Kader	Sidi Safi	El Maleh	El Amria,	Hassi El Ghala
MES entrantes moyennes (mg/l)	450,86	421,89	443,16	494,72	647,44	368,16
MES Sortante moyenne (mg/l)	66,04	195,38	190,17	235,28	351,83	135,48
norme	30 mg/l					

Nous remarquons dans l'ensemble des figures 44, 45, 46, 47, 48 et 49 que les concentrations entrantes sont très fortes par exemple, le lagunage de Sidi Safi a enregistré en mai 2010 et janvier 2011, 800 mg/l. Cette valeur a été enregistrée aussi à Sidi Safi en mai 2010 et janvier 2011. En plus, le lagunage d'El Amria a enregistré des valeurs supérieures à 1000 mg/l en mai et juin 2012. Par contre les valeurs habituelles des MES des eaux urbains sont inférieures à 600 mg/l

On constate aussi que les deux graphes des concentrations entrantes et sortantes sont loin de l'un de l'autre, ce qui nous renvoie à conclure qu'il y a une bonne dégradation des matières en suspension. Malheureusement, cette abatement n'est pas suffisant et les concentrations sortantes des MES dans les six lagunages sont au-dessus de la norme requise comme il est indiqué dans le tableau 21. Cette concentration élevée en MES revient à la présence des algues dans les eaux épurées.

D'après les figures 44, 45, 46, 47, 48 et 49, nous remarquons aussi que les concentrations entrantes sont fortes au cours des mois : mars, avril, décembre, janvier, février, et relativement faibles au cours des mois chauds. On peut expliquer ce dernier par : le transport solide est important au cours des mois les plus pluvieux, et faible pendant les mois chauds.

Pour les concentrations sortantes, nous observons que les variations sont aléatoires parce que plusieurs paramètres peuvent intervenir : par exemple pendant les mois chauds il y a l'évaporation, en plus la production algale est meilleure, tout ça augmente la concentration des MES. Par contre pendant l'hiver il y a le transport solide (les concentrations entrantes sont fortes) ce qui augmente les concentrations sortantes en MES. Alors pendant deux saisons différentes nous avons des facteurs qui provoquent l'augmentation des concentrations en MES, c'est pour cette raison que les concentrations sortantes sont aléatoires, et il n'y a pas une période là où la concentration sortante en MES est minimale.

Les variations des rendements interannuel des MES pour chaque lagunage sont indiquées dans les figures : 77, 78, 79, 80 et 81.

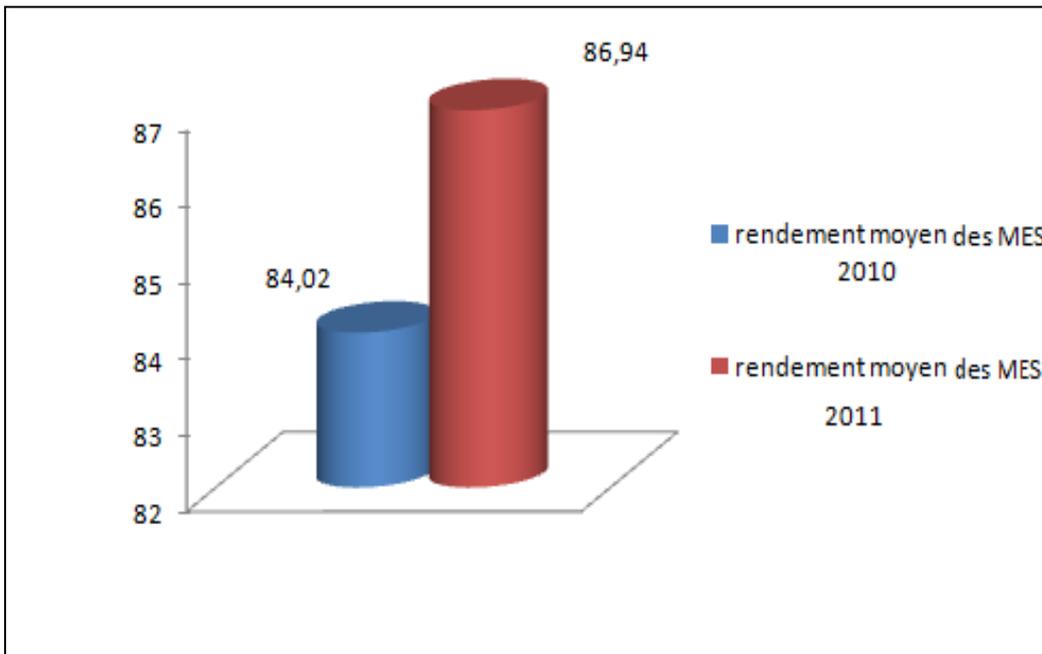


Figure 77: Variation du rendement interannuel des MES du lagunage de Sidi Senoussi (2010-2011)

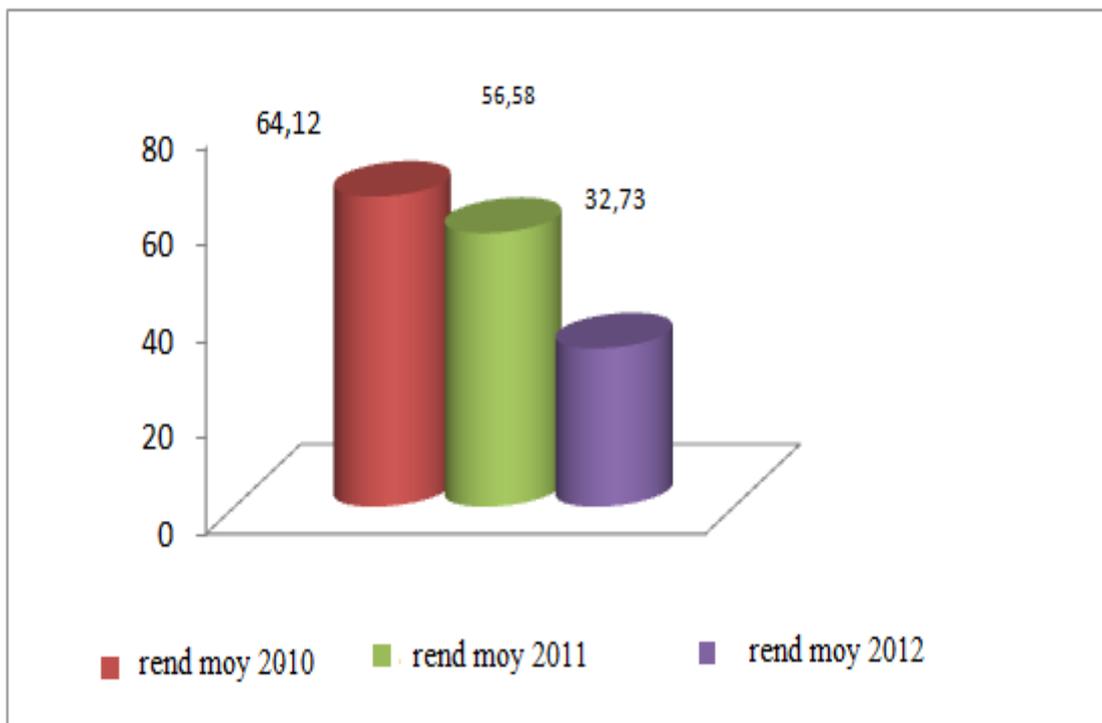


Figure 78: Variation du rendement interannuel des MES lagunage d'Amir Ebdel Kader (2010-2012)

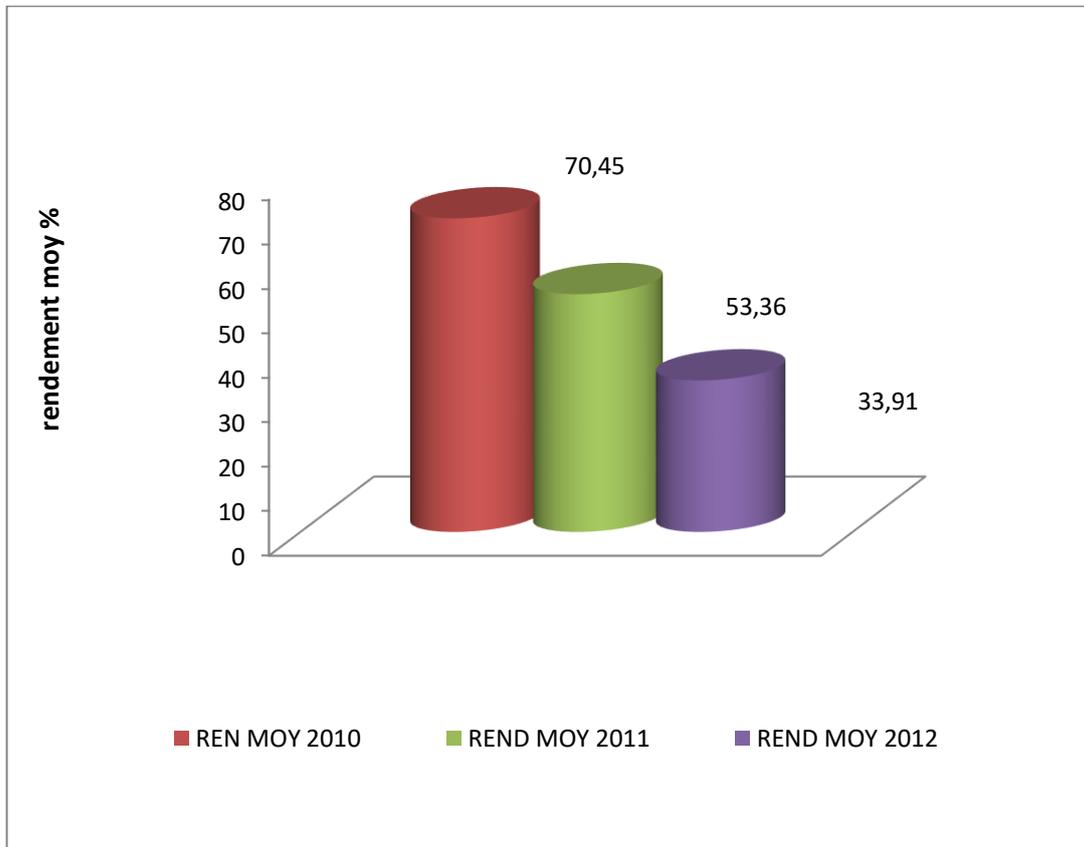


Figure 79 : Variation du rendement interannuel des MES du lagunage de Sidi Safi (2010-2012)

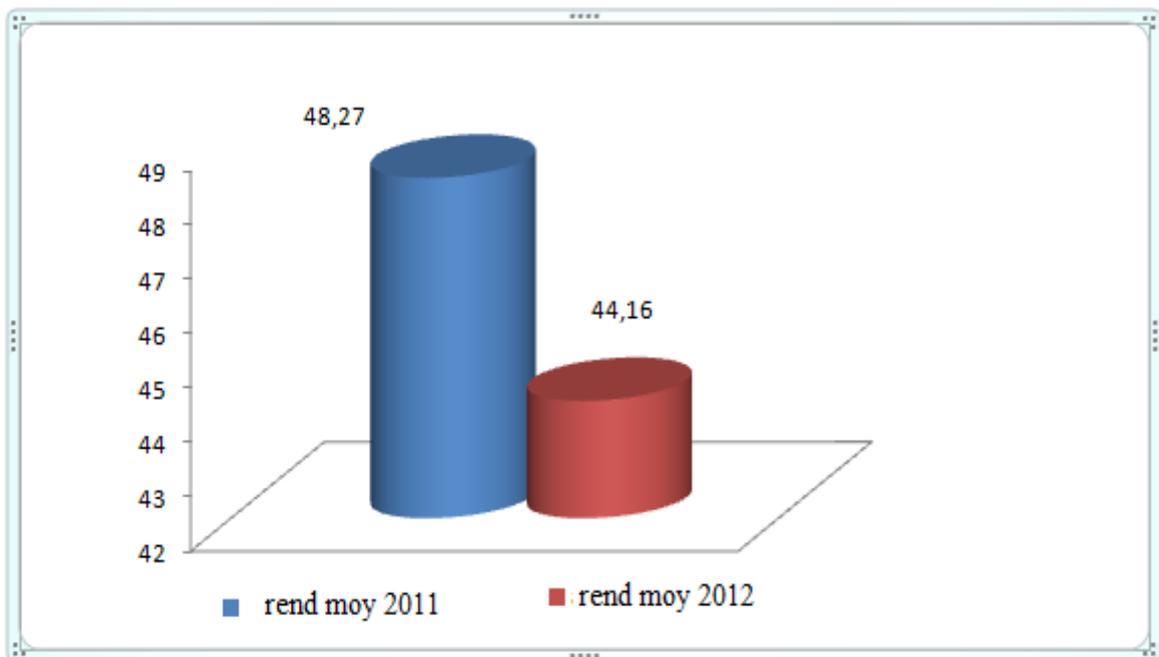


Figure 80 : Variation du rendement interannuel des MES du lagunage d'El Amria (2011-2012)

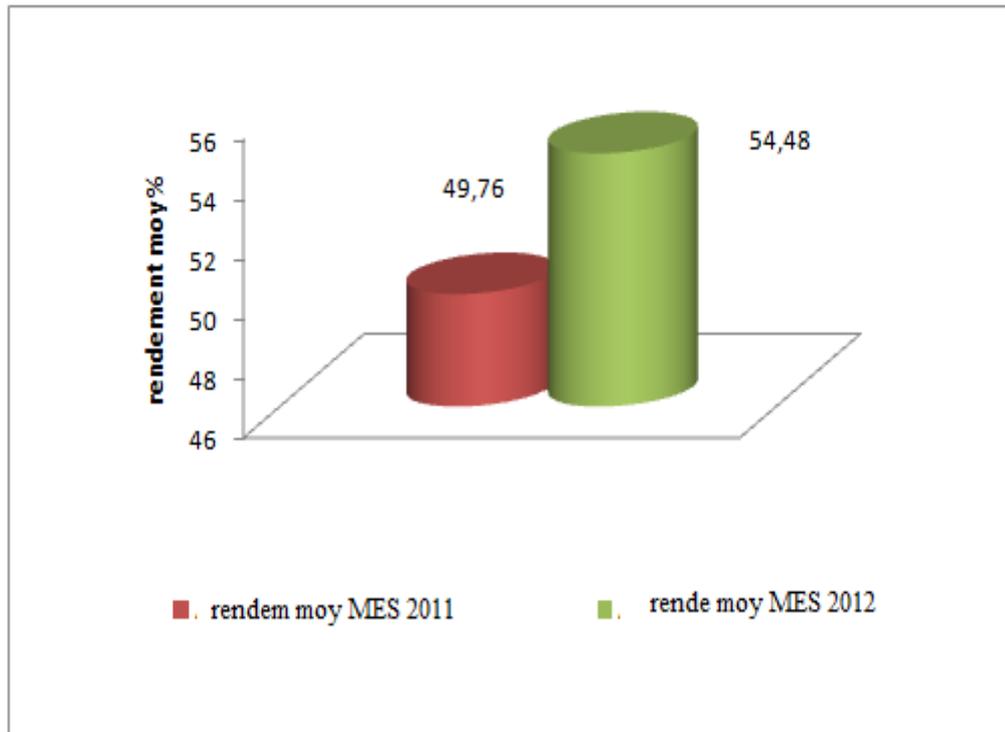


Figure 81 : Variation du rendement interannuel des MES du lagunage d’El Maleh (2011-2012)

Dans les trois lagunages « sidi Safi, AEK et El Amria » nous remarquons que le rendement décroît. Les lagunages d’El Maleh et Sidi Senoussi ont enregistré une amélioration de rendements. Nous pouvons expliquer la décroissance de rendement des trois lagunages par l’accumulation des boues au fond des bassins au cours des années qui réduit le volume des bassins par conséquent le temps de séjour diminue. Par contre, il y a eu une amélioration du rendement dans les lagunages d’El Maleh et Sidi Senoussi, cela revient à la conception la plus complète des deux lagunages (chaque étage comporte deux bassins en parallèle, c.à.d. le débit est divisé en deux. Le lagunage d’El Amria est aussi doté par deux bassins en parallèle pour chaque étage, mais la concentration entrante est trop forte.

En comparant les rendements moyens d’élimination des MES de chaque lagune avec l’autre nous obtenons la figure 82 :

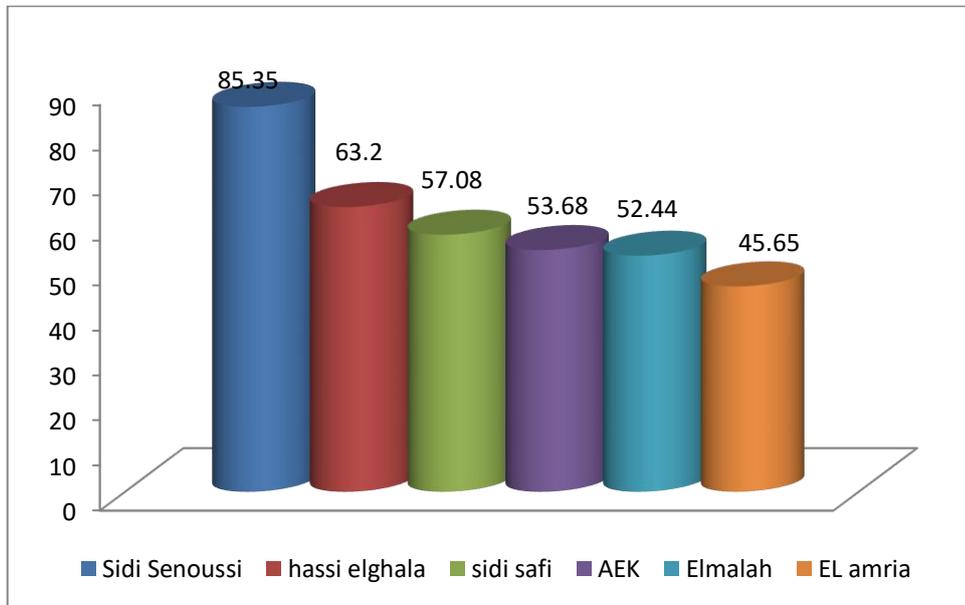


Figure 82: Rendement moyen d'abattement des MES des lagunages étudiés

D'après la figure 82, nous constatons que l'ordre décroissant du rendement d'abattement des MES est : le lagunage de Sidi Senoussi, Hasssi El Ghala, Sidi Safi, Amir Abdel Kader, El Maleh, El Amria.

À fin de comprendre quel est l'influence de la concentration moyenne entrante et le temps de séjour sur le rendement d'abattement des MES, nous avons tracé les graphes présentés dans la figure 83 et 84.

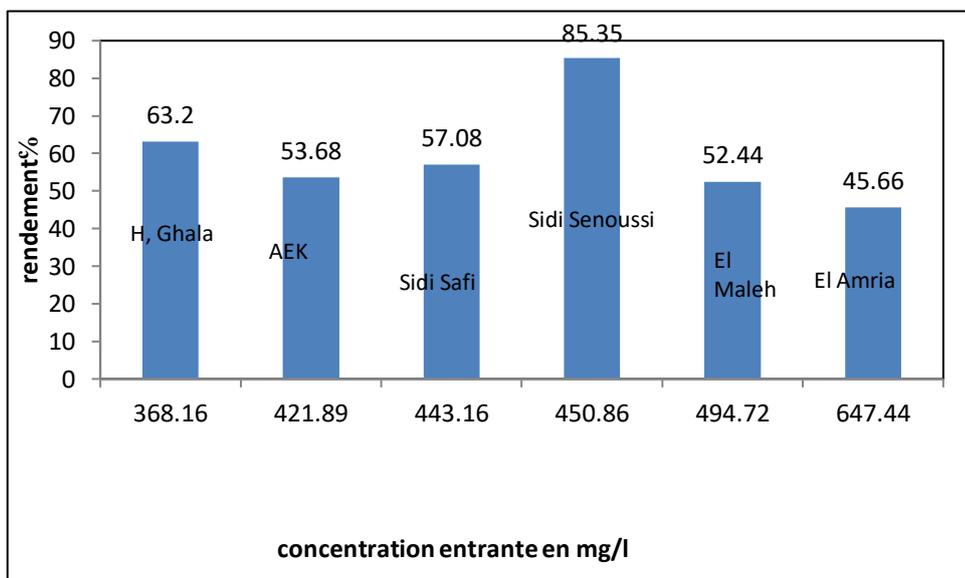


Figure 83 : Variation du rendement MES en fonction des concentrations moyennes entrantes

Nous remarquons que le rendement des MES décroît avec la concentration moyenne entrante sauf le lagunage de Sidi Senoussi qui présente un rendement maximale avec une concentration qui n'est pas minimale (450.86 mg/l).

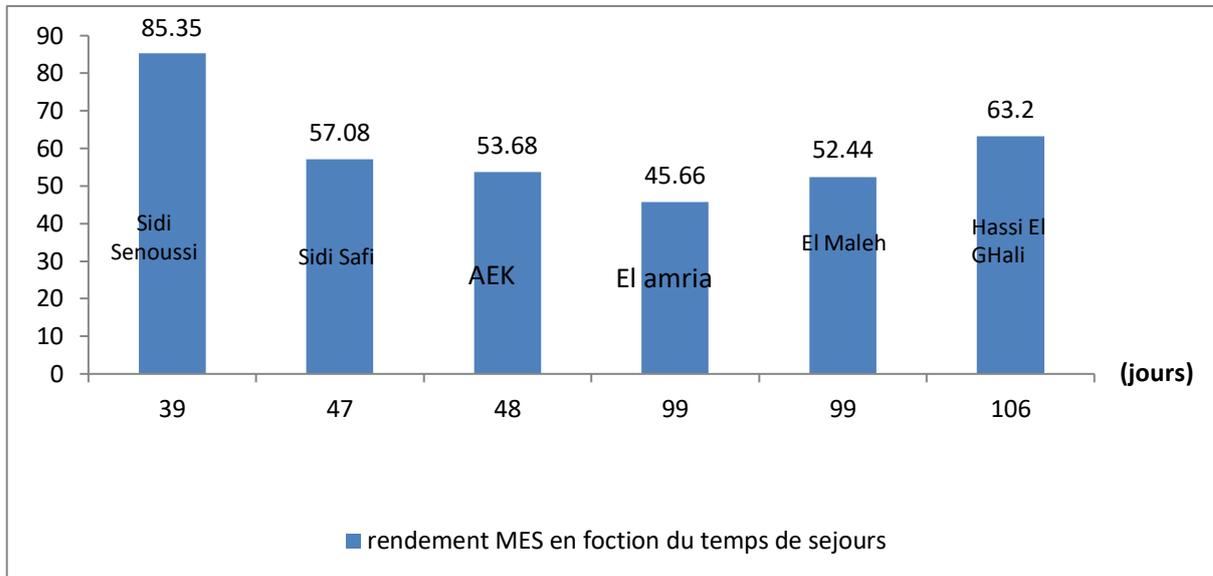


Figure 84 : Variation du rendement des MES en fonction du temps de séjour

D'après la figure 84, qui représente l'influence du temps de séjour sur le rendement des MES, nous constatons qu'il n'y a pas une relation directe et claire entre les deux paramètres. On peut expliquer cela par : chaque lagunage a ses propres critères (concentration entrante, température, conception, ...etc.). En plus, le temps de séjour calculé est théorique et n'est pas réel, car ce dernier varie avec : les conditions climatiques, le débit des eaux usées reçu, et le volume des boues accumulées dans les bassins.

IV.4.3. Interprétation des résultats de la DBO₅ :

Les concentrations moyennes en DBO₅ en mg/l des eaux entrantes et sortantes sont indiquées dans le tableau (22)

Tableau n°22 : Les concentrations moyennes entrantes et sortantes en DBO₅ en mg/l

lagunage	Sidi Senoussi	AEK	Sidi Safi	El Maleh	El Amria,	Hassi El
DBO ₅ moyenne entrante en mg/l	290,74	467,27	420,17	340,86	427,44	252,55
DBO ₅ moyenne sortante en mg/l	59,36	45,46	40,79	43,96	39,88	32,53
Norme de réutilisation et le rejet	30mg/l					

Les concentrations entrantes sont très fortes par exemple : Le lagunage d’AEK a eu 900 mg/l en mars 2012 et 800 mg/l en septembre 2011, et le lagunage de Sidi Safi a eu des concentrations entrantes qui dépassent 500 mg/l, avec une valeur maximale de 945 mg/l.

D’après les figures 50, 51, 52, 53, 54 et 55, nous remarquons que dans toutes les stations de lagunage étudiées, nous avons eu une forte dégradation de DBO₅. Les concentrations sortantes sont presque confondues avec la norme requise. Les graphes des concentrations sortantes ont une forme très proche d’une droite. Alors il n’y a pas une différence significative entre les concentrations sortantes au cours de tous les mois.

Les variations des rendements interannuels d’élimination de DBO₅ pour chaque station de lagunage, sont présentées dans les figures 85, 86, 87,88 et 89

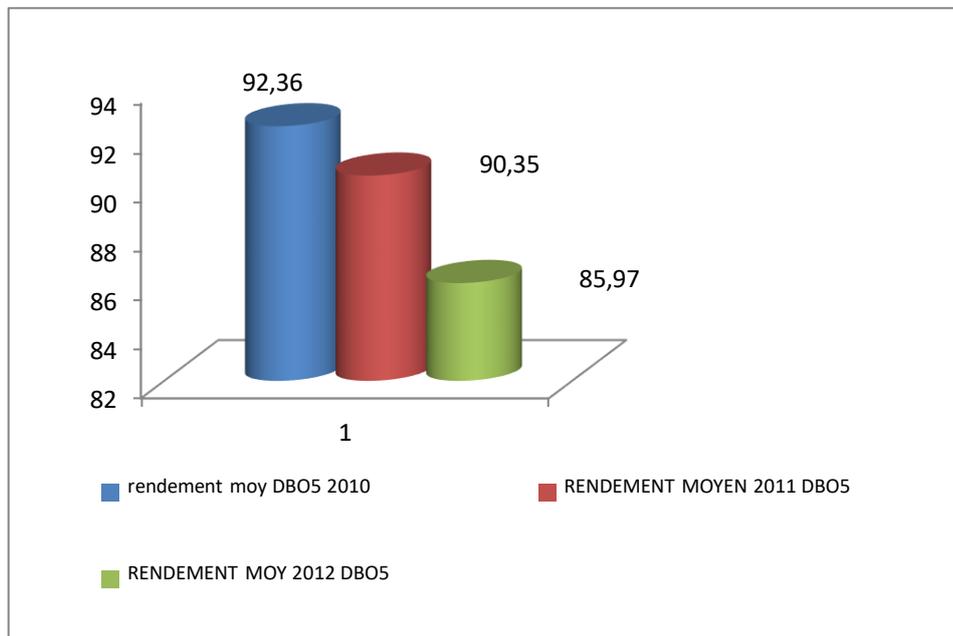


Figure 85 : Variation des rendements interannuels de DBO₅ à Sidi Safi (2010-2012)

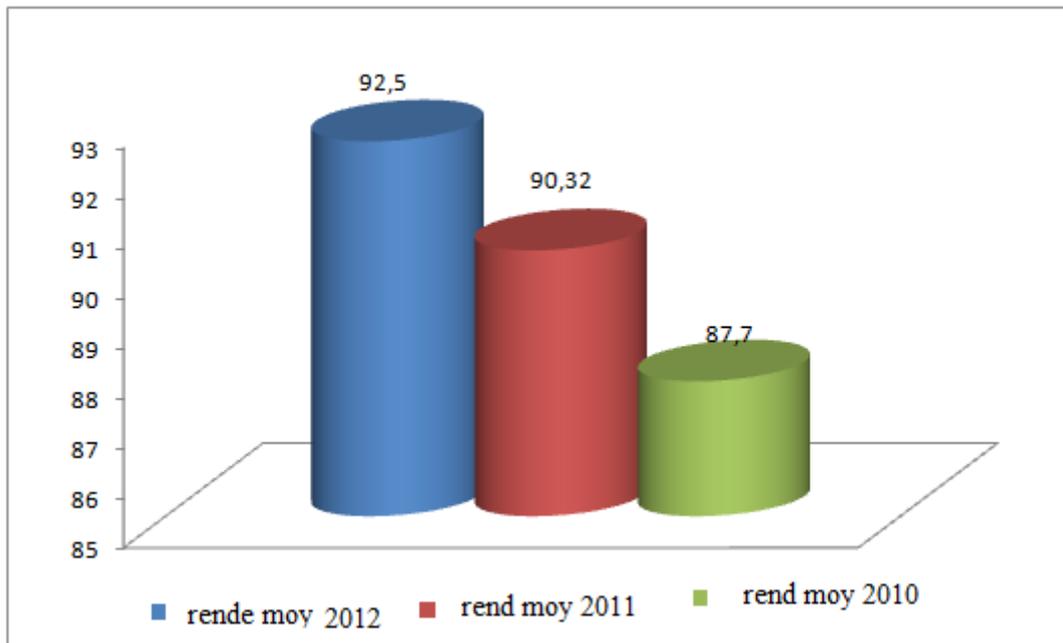


Figure 86 : Variation du rendement interannuel de DBO₅ à Amir Ebdel Kader(2010-2012)

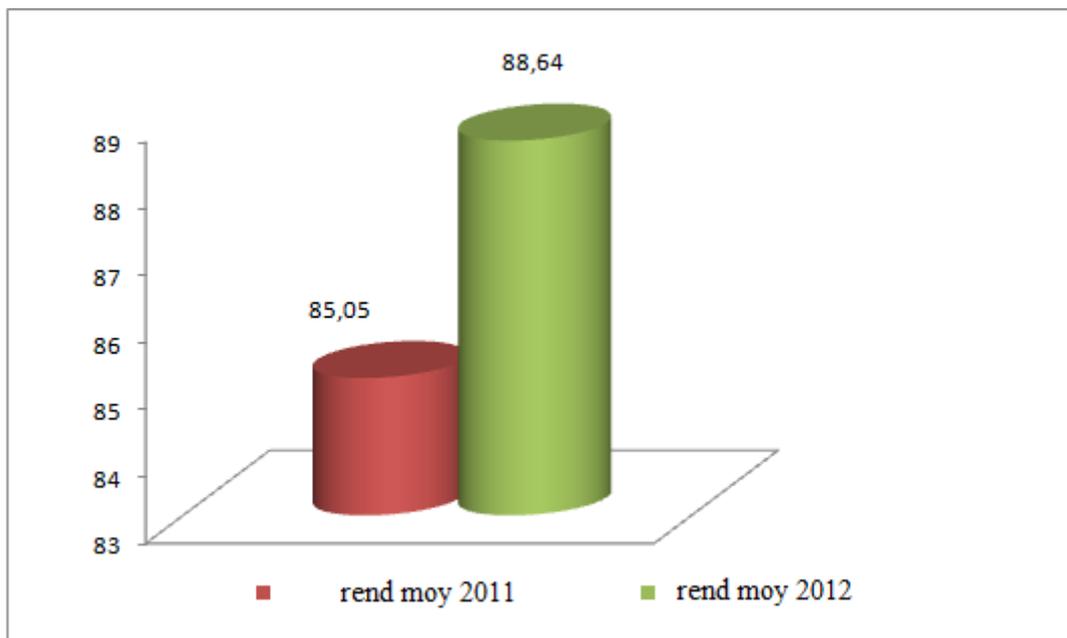


Figure 87 :Variation du rendements interannuel de DBO₅ à El Maleh (2011-2012)

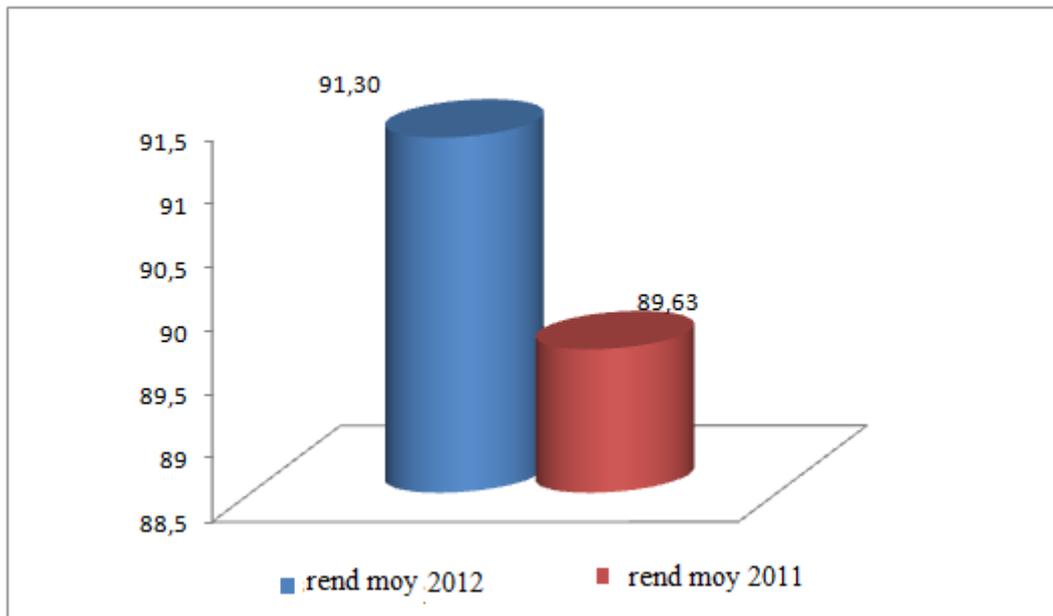


Figure 88 :Variation du rendement interannuel de DBO₅ à El Amria (2011-2012)

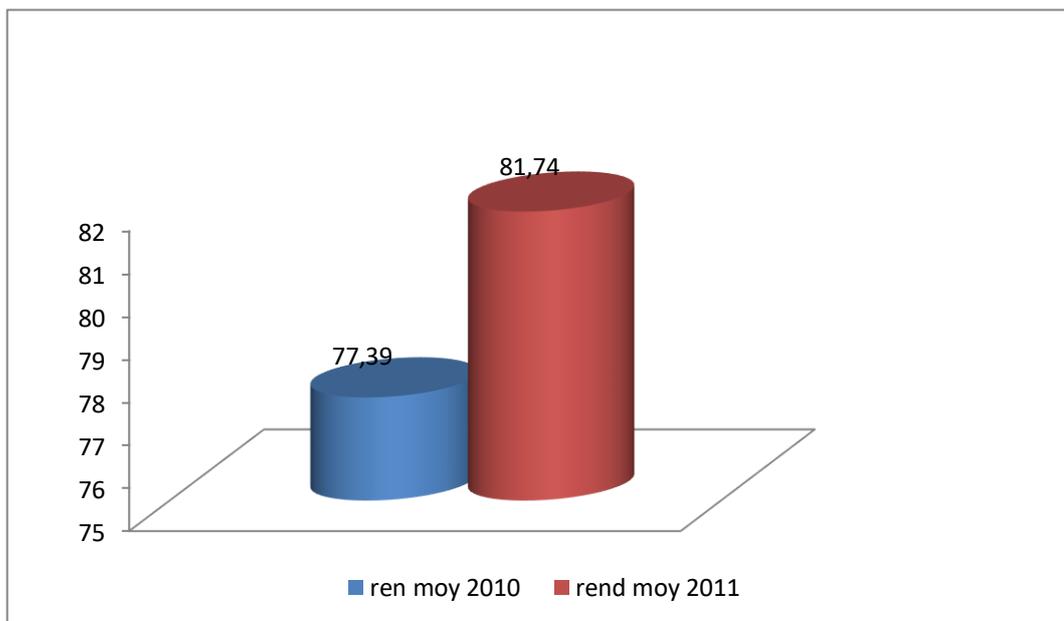


Figure 89 :Variation du rendement interannuel de DBO₅ du lagunage de Sidi Senoussi(2010-2011)

D'après les figures 85, 86, 87,88 et 89, nous constatons qu'il y a une amélioration de taux d'abattement de DBO₅ avec le temps pour toutes les lagunages, sauf le lagunage de Sidi Safi, il y a une diminution du rendement avec le temps.

Les rendements moyens d'abattement de DBO₅ pour chaque lagunage sont présentés dans la figure 90.

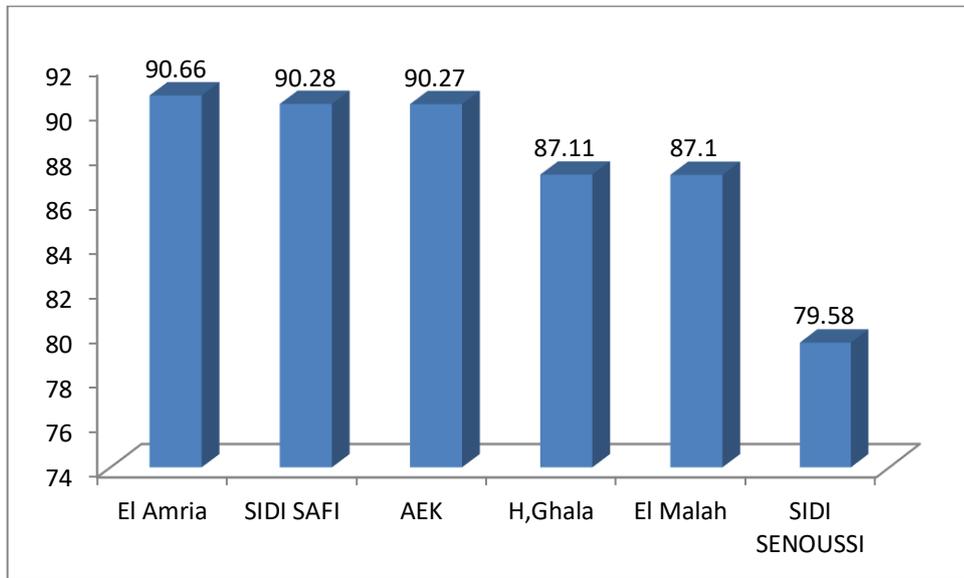


Figure 90 : Rendements moyens d'abattement de DBO₅ des lagunages étudiés

En comparant les rendements moyens d'abattement du DBO₅ des lagunages entre eux (comme il est indiqué dans la figure 90), nous résulte que l'ordre décroissant est comme suite « El Amria, Sidi Safi, AEK, H. Ghala, El Maleh, Sidi Senoussi »

Afin de conclure quels sont les paramètres qui influent sur la dégradation de la matière organique, nous avons tracé les graphes présentés dans les figures 91 et 92.

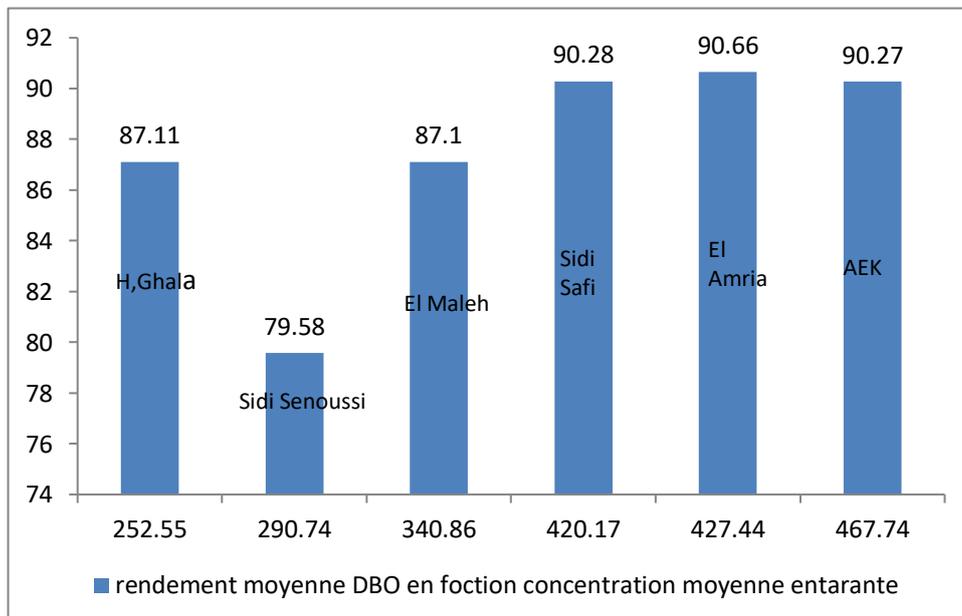


Figure 91 : Variation du rendement moyen DBO₅ en fonction de la concentration moyenne entrante

D'après la figure 91, nous constatons que les lagunages qui ont des fortes concentrations entrantes ont marqué des bons rendements (Amria, Sidi Safi ,AEK). Par contre ceux qui ont des faibles concentrations entrantes ont enregistré des faibles rendements. La relation entre la concentration entrante et le rendement n'est pas logique, cela peut être expliqué par : plusieurs paramètres, autre que la concentration entrante, peuvent influencer la dégradation de la matière organique(DBO_5).

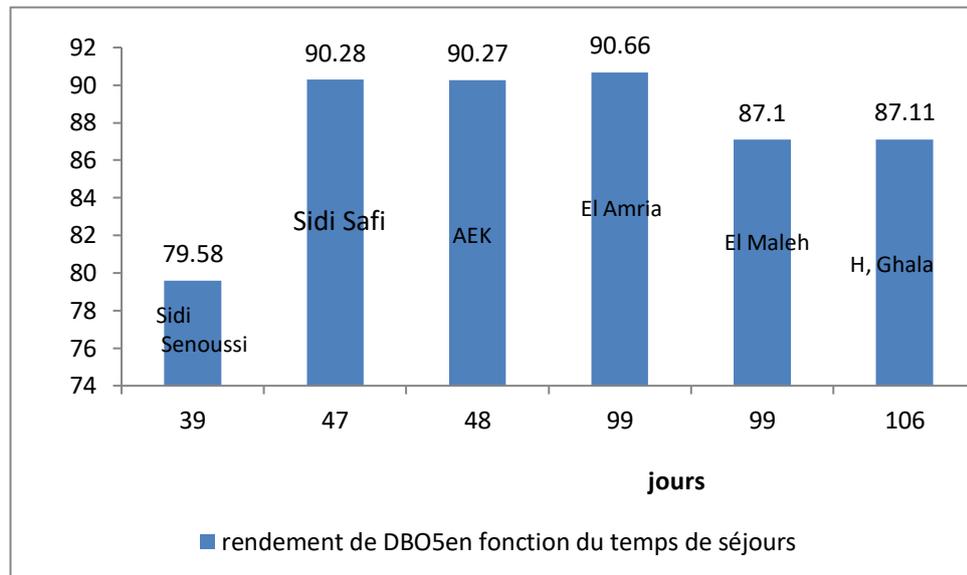


Figure 92 : Variation du rendement de DBO_5 en fonction du temps de séjours

D'après la figure 92, nous remarquons que le rendement de DBO_5 augmente avec le temps de rétention, pour l'ensemble des stations de lagunage, sauf El Maleh et Hassi El Ghala. Ces deux derniers ont des temps de rétention théoriques maximaux, mais des rendements inférieurs au rendement maximal. Cette contradiction peut être justifiée par : les stations de lagunage de Hassi El Ghala et d'El Maleh ne fonctionnent pas correctement à cause des boues décantées dans le fond des bassins qui provoquent une diminution du temps de rétention réel.

IV.4 .4. Interprétation des résultats de La demande chimique en oxygène

Les concentrations moyennes en DCO des eaux entrantes et sortantes sont indiquées dans le tableau (23)

Tableau n°23 : Les concentrations moyennes entrantes et sortantes en DCO en mg/l

lagunage	Sidi Senoussi	AEK	Sidi Safi	El Maleh	El Amria,	Hassi El Ghala
DCO moyenne entrante (mg/l)	623,28	606,95	514,86	381,31	532,47	347,07
DCO moyenne sortante (mg/l)	121,72	132,24	132,63	118,23	145,22	107,7
Norme de réutilisation et du rejet au milieu naturel	90 mg/l					

D’après les figures 56, 57, 58, 59,60 et 61 nous remarquons que les concentrations en DCO des eaux épurées sont inférieures à celles des eaux usées brutes. En outre, pour chaque lagunage, le graphe correspondant aux concentrations des eaux usées sortantes en DCO est très proche de celui correspondant à la valeur limitée par les normes. Alors nous pouvons dire qu’il y a un bon abattement de DCO pour toutes les stations de lagunage.

Les concentrations sortantes sont au dessus de la norme, sauf la station de Hassi El Ghala où le graphe de DCO sortant est confondu avec le graphe de la norme durant les mois du janvier jusqu’ à juillet. Nous pouvons expliquer cela par : les concentrations de DCO entrantes pendant cette période sont très faibles.

Les concentrations sortantes changent d’une façon aléatoire au cours des mois, alors on ne peut pas conclure quels sont les mois là où la dégradation du DCO est idéale. Donc, on peut dire que plusieurs facteurs peuvent intervenir, par exemple au cours des mois d’été la température élevée peut accélérer l’opération de la dégradation de DCO, mais l’évaporation augmente la concentration. Les mois froids défavorisent la dégradation, mais la dilution causée par les précipitations diminue la concentration.

Les rendements interannuels de chaque lagunage sont indiqués dans les figures 93, 94, 95, 96 et 97.

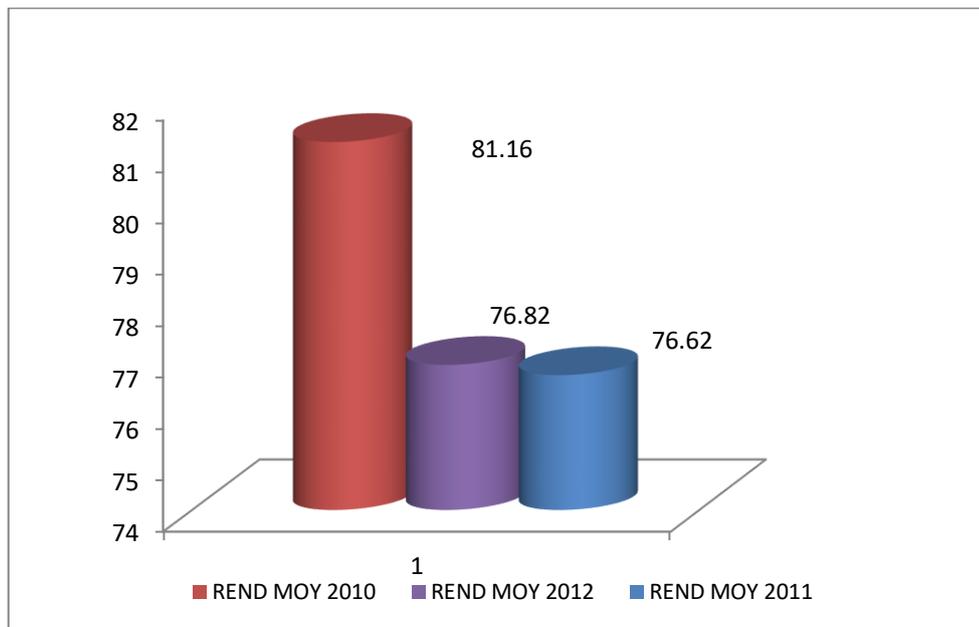


Figure 93 : Variation du rendement interannuel de DCO Amir Ebdel Kader (2010-2012)

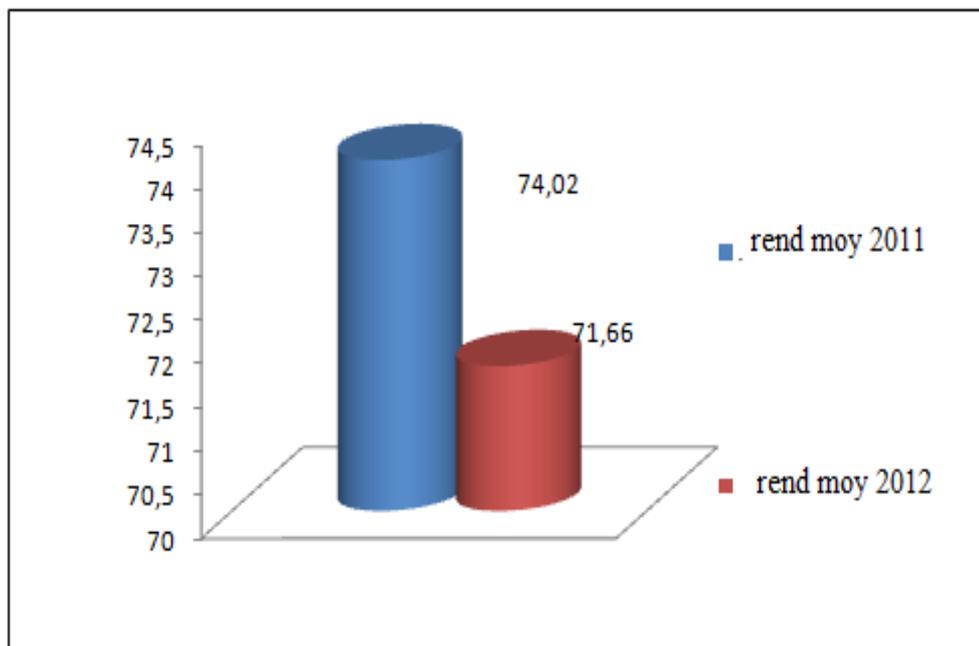


Figure 94 : Variation de rendement interannuel de DCO à El Amria (2011-2012)

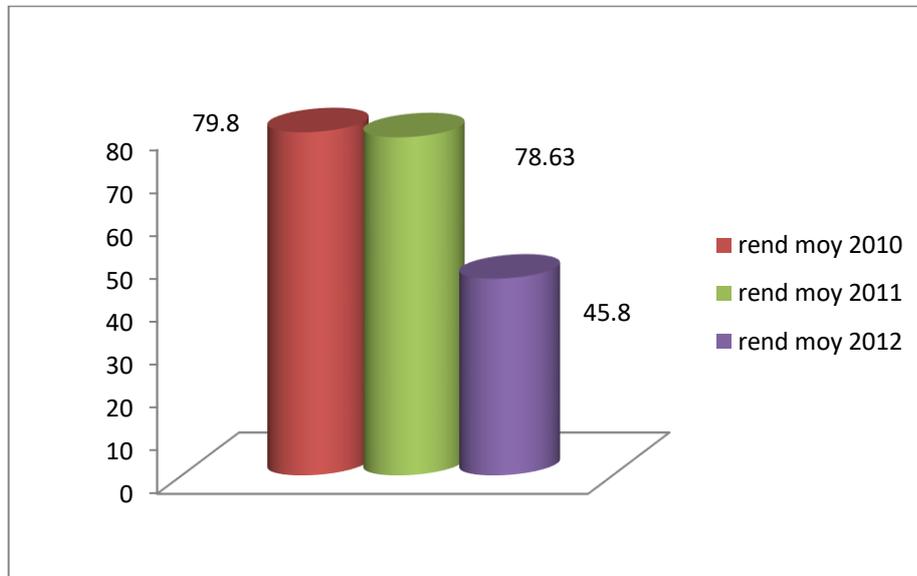


Figure 95 : Variations du rendement interannuel de DCO à Sidi Safi (2010-2012)

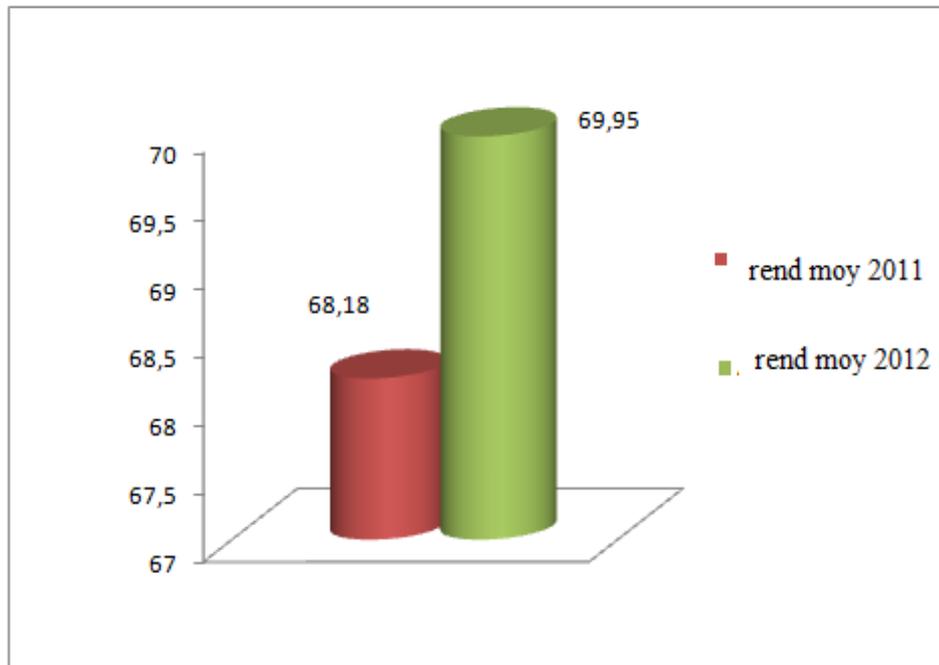


Figure 96 : Variation du rendement interannuel de DCO à El Maleh (2011-2012)

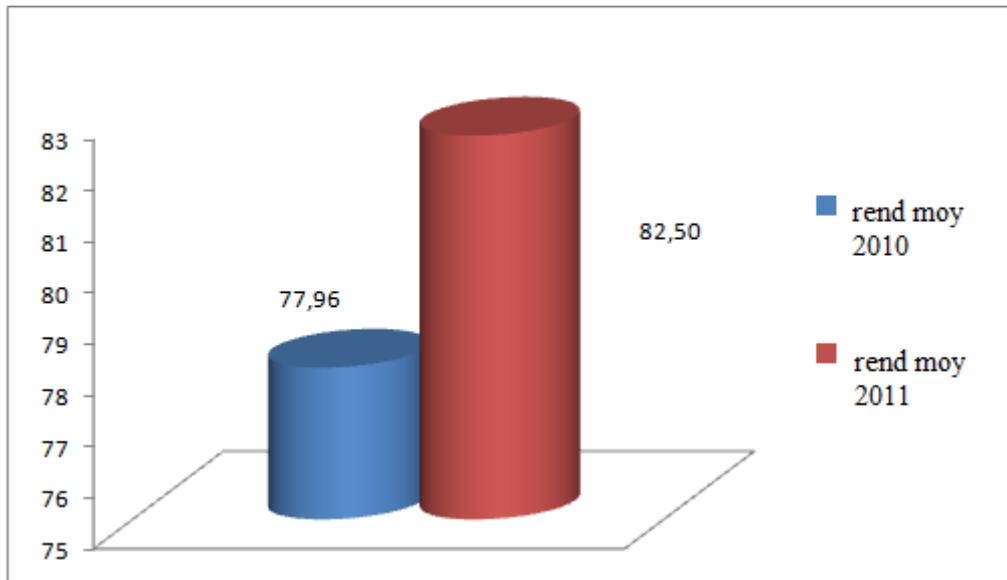


Figure 97 : Variation du rendement interannuel de DCO du lagunage de Sidi Senoussi (2010-2011)

D'après les figures : 93, 94, 95, 96 et 97, il est clair que les rendements décroissent avec le temps pour tous les lagunages sauf celle d'El Maleh et Sidi Senoussi, lesquels ont marqué une amélioration de rendements. La diminution de rendement des autres lagunages est à cause de l'accumulation des boues au fond des lagunages.

Les rendements moyens de DCO des stations de lagunage étudiées sont présentés dans la figure 98 :

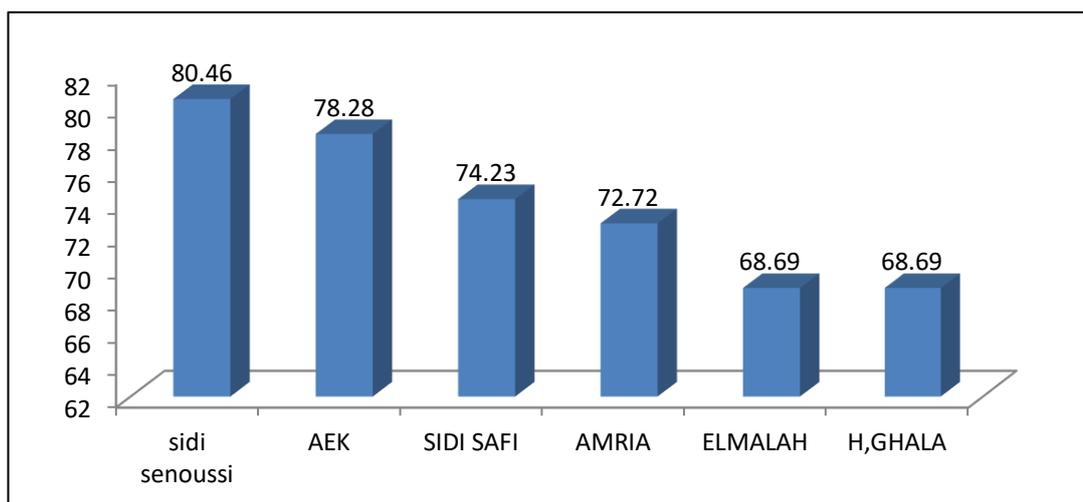


Figure 98 : Les rendements moyens de DCO des stations de lagunage étudiés

En comparant les rendements des lagunages entre eux (figure 98) nous obtenons l'ordre décroissant suivant : Sidi Senoussi, AEK, Sidi Safi, El Amria, El Maleh et H. Ghala.

La variation du rendement en fonction du temps de séjour et en fonction de la concentration entrante est indiquée dans les figures 99 et 100.

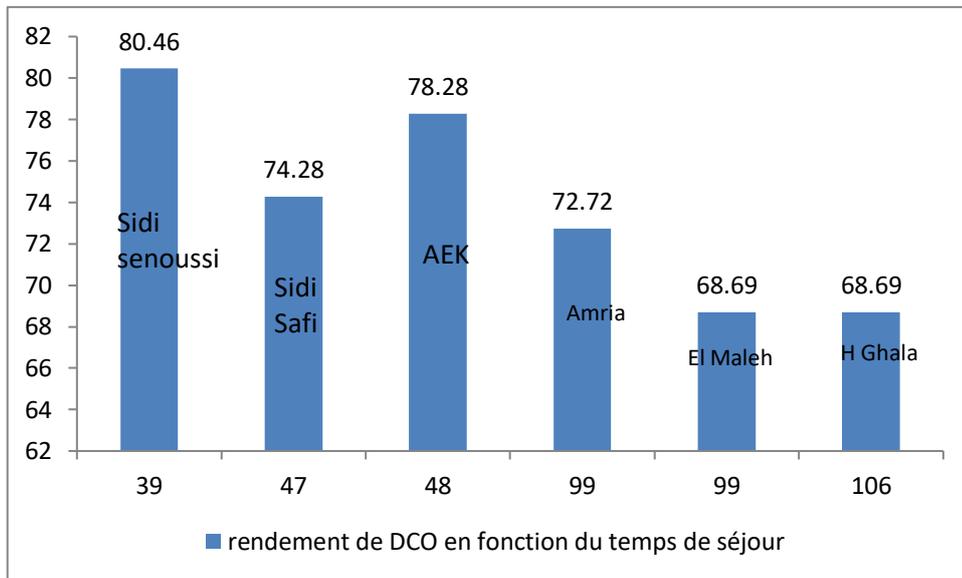


Figure 99 : Variation du rendement de DCO en fonction du temps de séjour

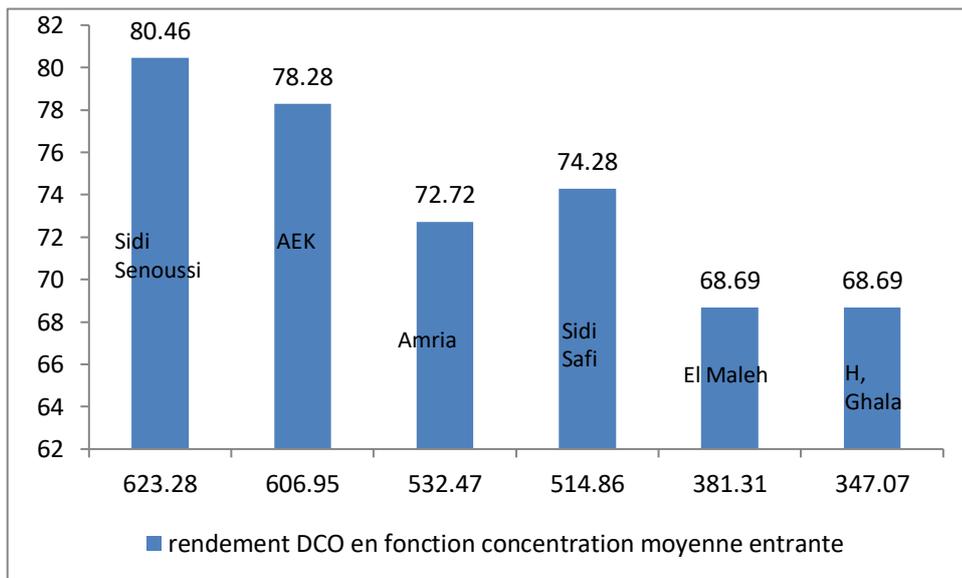


Figure 100 : Variation du rendement DCO en fonction de la concentration moyenne entrante

D'après les figures 98 et 99 nous remarquons que le rendement d'abattement de DCO n'a pas de relation ni avec le temps de rétention ni avec la concentration moyenne entrante.

IV.4.5. Interprétation des résultats de l' Ammonium

L'ammonium n'a pas été analysé dans les lagunages d' El Maleh et El Amria. Pour les autres lagunages, les concentrations moyennes en Ammonium des eaux entrantes et sortantes sont indiquées dans le tableau (24)

Tableau n°24 : Les concentrations moyennes entrantes et sortantes en Ammonium en mg/l

lagunage	Sidi	AEK	Sidi Safi	Hassi El Ghala
NH ₄ moyenne entrante en mg/l	108,86	101,93	106,5	115,16
NH ₄ moyenne sortante en mg/l	54,55	21,8	22,71	58,16
Norme de réutilisation	/			
Norme du rejet dans le milieu	6.5 mg/l			

D'après les figures : 62, 63, 64 et 65 nous remarquons que les deux graphes correspondants aux variations des concentrations des eaux usées brutes en ammonium et des eaux épurées ont des variations aléatoires. Le graphe des eaux brutes est au-dessus de celui des eaux épurées ce qui nous permet de dire qu'il y a une dégradation de la concentration de l'ammonium dans les quatre lagunages Sidi Senoussi, AEK, Sidi Safi et Hassi El Ghala.

Dans la figure 65 la valeur de la concentration en ammonium des eaux brutes et des eaux épurées du mois d'octobre sont confondues car la concentration entrante a chuté en mois d'octobre. On peut justifier ce dernier par la dilution causé par les eaux des précipitations le mois d'octobre. Les concentrations des eaux épurées en ammonium sont supérieures à la valeur limitée pour la préservation du milieu récepteur. Par contre la valeur limite pour une réutilisation agricole, ni les normes algériennes ni celles de FAO n'a précisé une valeur extrême pour l'ammonium, car ce dernier est utile pour l'agriculture et considéré comme un élément fertilisant.

On compare les rendements de Sidi Senoussi celle de 2010 (56,21%) avec celle de 2011 (41,15%) nous résulte que le rendement interannuel de NH₄⁺ décroît avec le temps, comme il est indiqué dans la figure 101

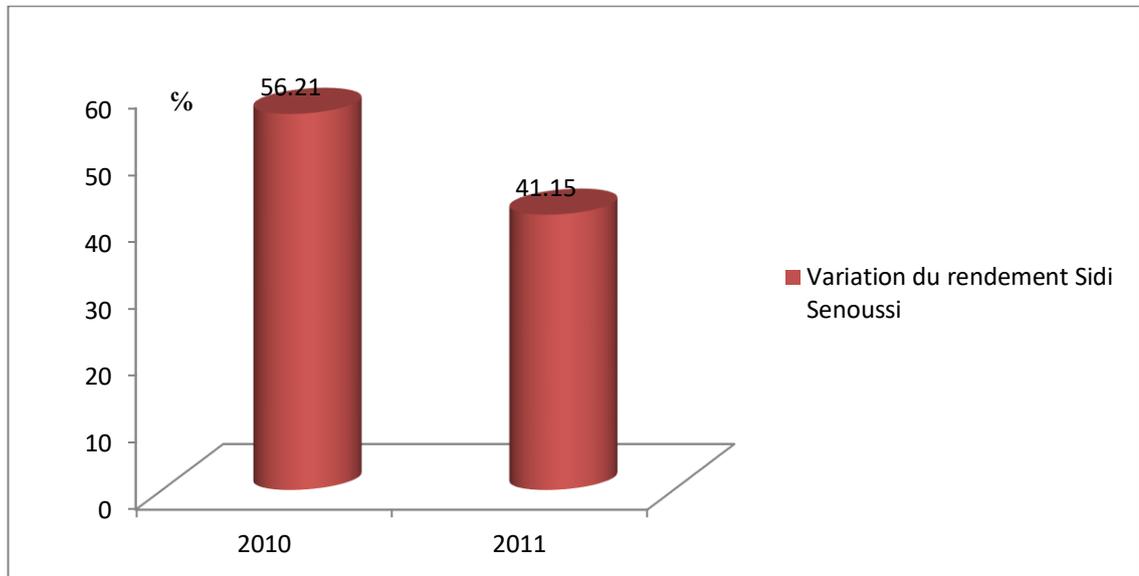


Figure 101 : Variation du rendement interannuel de l' NH₄ du Sid Senoussi (2010-2011)

L'ordre du rendement moyen d'abattement de N-NH₄ est indiqué dans la figure 102

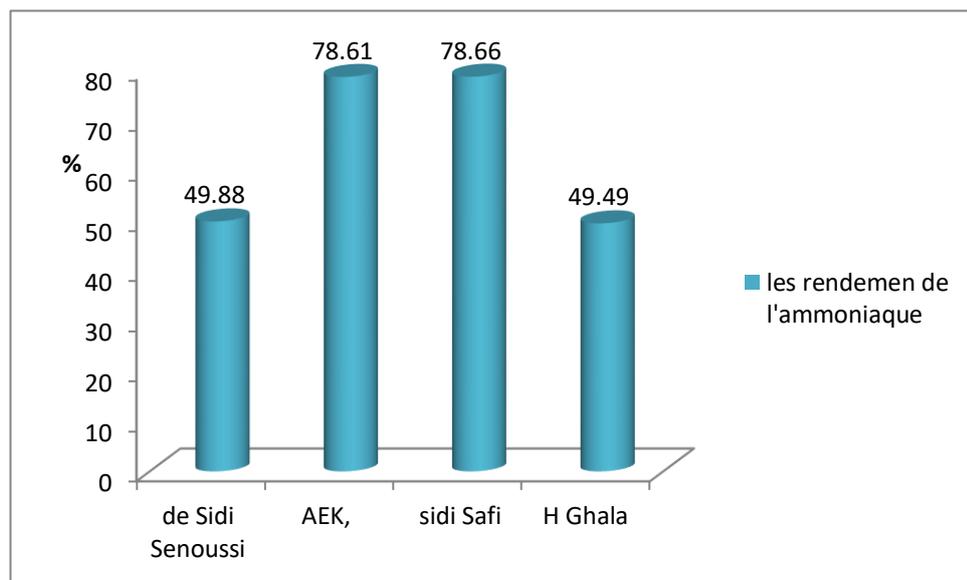


Figure 102 : Rendement moyen de l'ammonium des lagunages étudiés

L'ordre décroissant des rendements d'abattement de l'NH₄⁺ des stations de lagunage étudiées est le suivant : le lagunage de sidi Safi (78,66 %), Amir Ebdel Kader (78.61 %), Sidi Senoussi (49.88 %) et Hassi El Ghala (49,49 %).

À fin de démontrer l'influence du temps de rétention et la concentration entrante sur le rendement de l'NH₄ les figures 103 et 104 ont été tracées.

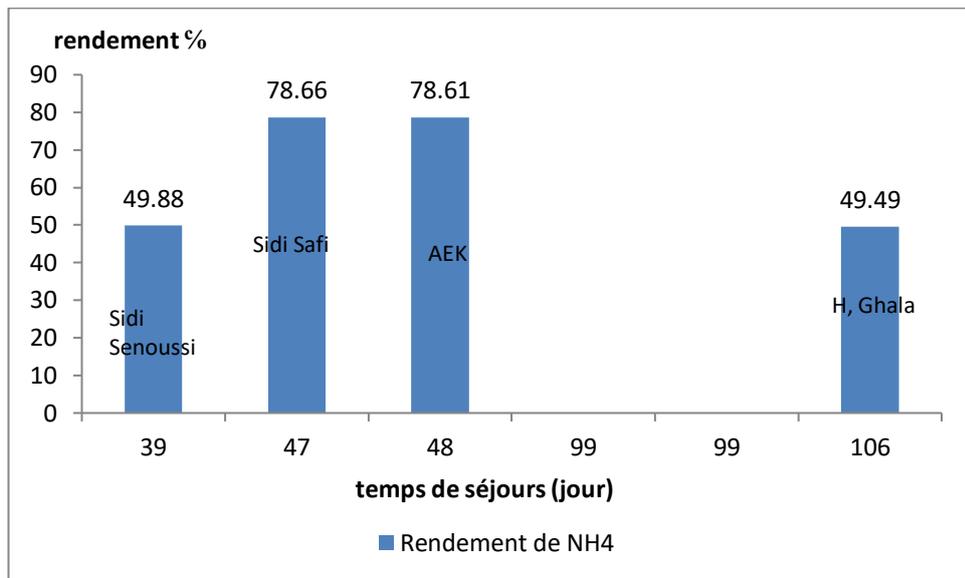


Figure 103 : Variation du rendement de l' NH₄ en fonction du temps de séjour

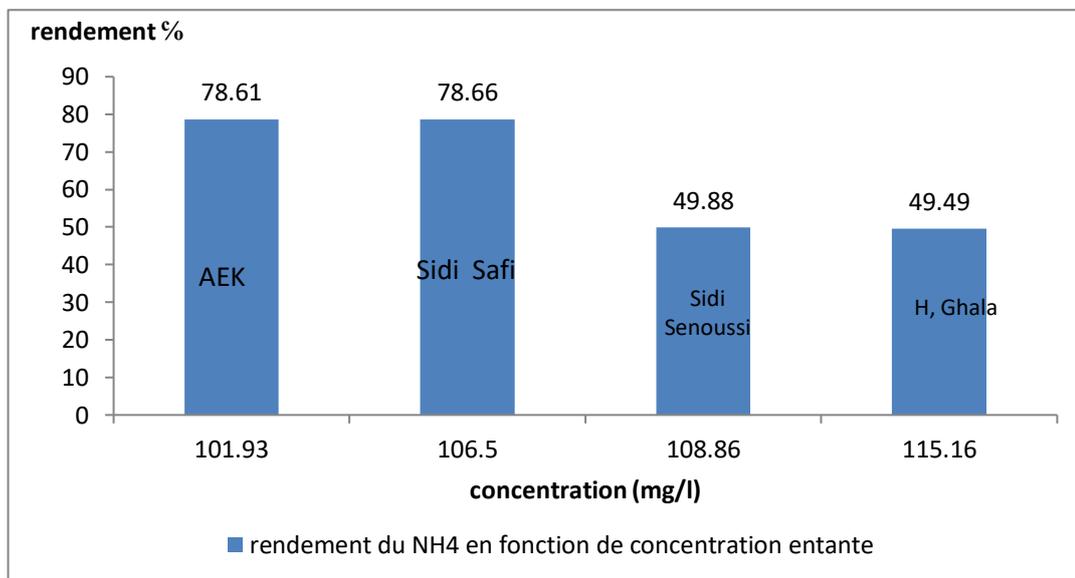


Figure 104 : Variation du rendement du NH₄ en fonction de la concentration entrante

D'après les deux figures (103 et 104) nous remarquons que le rendement de NH₄ augmente avec le temps de séjour et décroît avec la concentration entrante dans les lagunages « Sidi Senoussi, AEK, Sidi Safi, ». Par contre cela n'est pas applicable sur le lagunage de Hassi El Ghala , qui présente un temps de séjour maximale et un rendement minimale.

La présence de l'NH₄⁺ dans les eaux de surface peut causer beaucoup de problèmes : la nitrification du NH₄⁺ entraîne une consommation d'oxygène dans les cours d'eau. Cela induit la diminution de la concentration d'oxygène dissous. En plus, la vie aquatique peut être gravement touchée pour des concentrations en azote ammoniacal de l'ordre de 2 mg/l à un pH

de 7,4 à 8,5. Alors qu'une concentration de 0,5 mg N-NH₄/l suffit pour entraîner des difficultés à traiter adéquatement l'eau potable. L'ammoniac non ionisé est particulièrement toxique pour les poissons, plus que la forme ionisée. Le NH₃ commence à former l'essentiel du contenu en composé ammonium lorsque le pH de l'eau s'élève au-dessus de 8,5.

En général, tous les composés azotés contribuent au phénomène d'eutrophisation qui induit à des croissances indésirables d'algues.

En résumé, la concentration des eaux épurées en NH₄ par les lagunages étudiés n'est pas adéquate avec la préservation des milieux aquatiques récepteurs.

IV.4.6. Interprétation des résultats des nitrates

Les concentrations moyennes en nitrates des eaux entrantes et sortantes pour : Sidi Senoussi, AEK, Sidi Safi, Hassi El Ghala sont indiquées dans le tableau (25). Pour le lagunage El Amria et El Maleh les analyses n'ont pas été effectuées.

Tableau n°25 : Les concentrations moyennes entrantes et sortantes en nitrates en mg/l

lagunage	Sidi Senoussi	AEK	Sidi Safi	Hassi El Ghala
NO ₃ moyenne entrant (mg/l)	32,748	38,40	36,38	46,43
NO ₃ moyenne sortante (mg/l)	24,325	20,38	22,16	27,41
Norme de réutilisation	30 mg/l			
Norme du rejet au milieu naturel	45 mg/l			

D'après les figures 66, 67, 68, 69 et 70, on remarque, pour l'ensemble des lagunages étudiées : Sidi Senoussi, Sidi Safi, AEK, et Hassi El Ghala, que les deux graphes correspondant aux concentrations en nitrates des eaux usées brutes et épurées ont des variations aléatoires et fluctuent autour de la ligne de la valeur limitée par les normes de réutilisation agricole. En outre les concentrations en nitrates rejetées sont en dessous des concentrations entrantes, donc il y a une dénitrification. Durant les mois de septembre on a

enregistré des concentrations entrantes faibles dans les stations de lagunage Sidi Senoussi et Sidi Safi et Amir Ebdel Kader.

Pour la lagune d'AEK et Sidi Safi toutes les concentrations sortantes sont inférieures à celle-ci limitées par les normes de la réutilisation 30 mg/l et les normes de protection du milieu naturel (45 mg/l). Mais pour le lagunage de Sidi Senoussi et H. Ghala il 'y a quelques valeurs qui sont au-dessus de la valeur-limite pour l'irrigation. Pour l'ensemble des lagunages étudiés, toutes les valeurs sortantes sont en dessous de la valeur limite pour la préservation du milieu naturel.

En comparant les rendements de Sidi Senoussi pour l'année 2010 (21,82%) et celle de l'année 2011 (-2.7 %), nous remarquons que le rendement interannuel diminue avec le temps (figure 105). En plus le rendement de l'année de 2011 est négatif ce qui signifie que les concentrations dans les eaux sortantes sont supérieures à celle des eaux entrantes. Ce qui est très clair dans la figure 66 : le graphe des concentrations de nitrates dans les eaux entrantes est au-dessus de graphe des concentrations sortantes à partir de février 2011. Cette augmentation indique qu'il y a une forte nitrification de l'ammonium, et que la dénitrification est très faible.

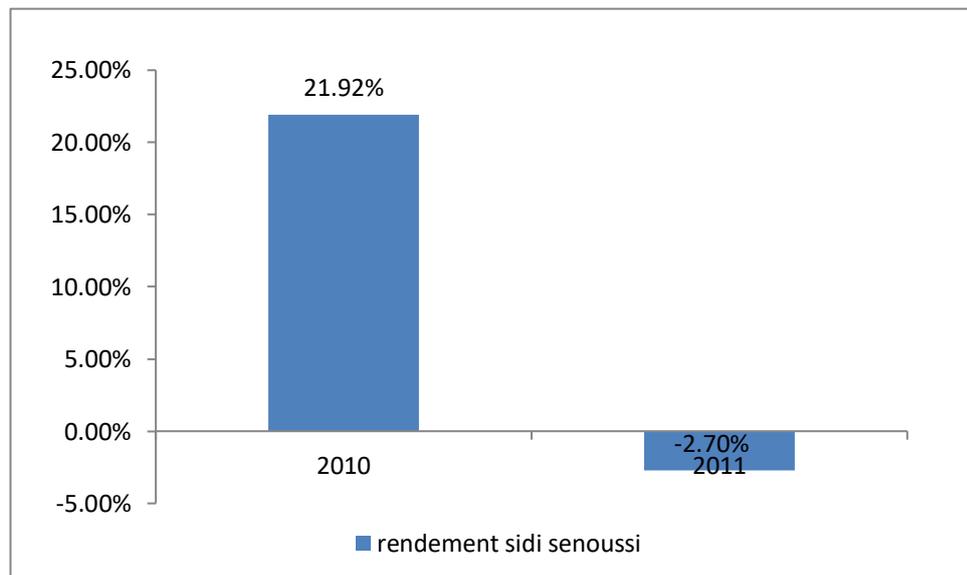


Figure 105 : Variation du rendement interannuel du nitrate (Sidi Senoussi 2010-2011)

Les rendements de nitrate moyens sont : 46,67 % a été enregistré dans le lagunage d'AEK, 39,73% pour Sidi Safi, 38,75 % pour H. Ghala et 25,72% pour le lagunage de Sidi Senoussi comme il est indiqué dans la figure (106)

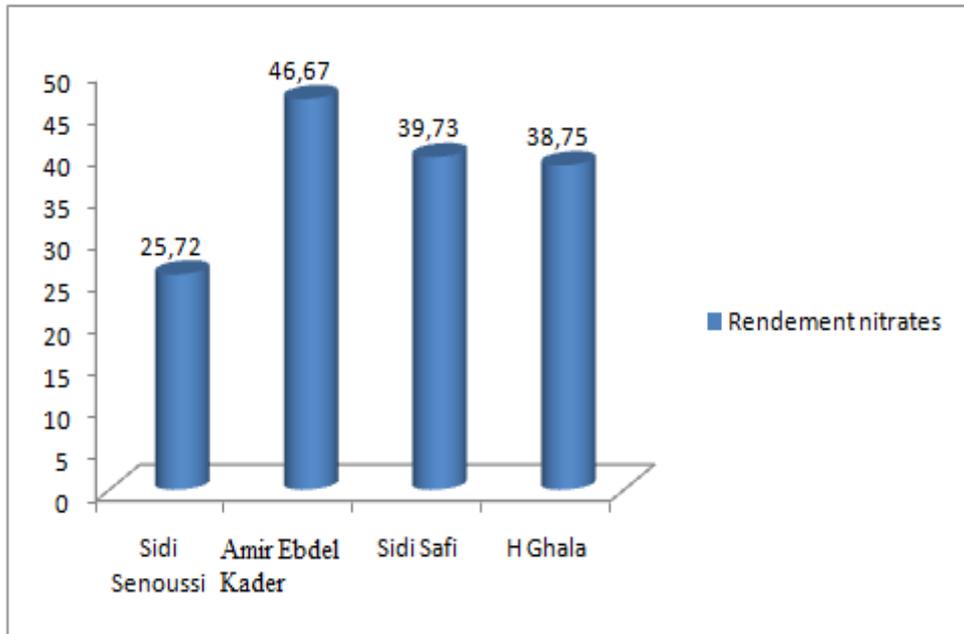


Figure 106 : Variation du rendement moyen de nitrate des lagunages étudiés

La variation du rendement du nitrate en fonction du temps de séjour et en fonction de la concentration entrante en nitrate, est indiquée dans les figures 107 et 108 :

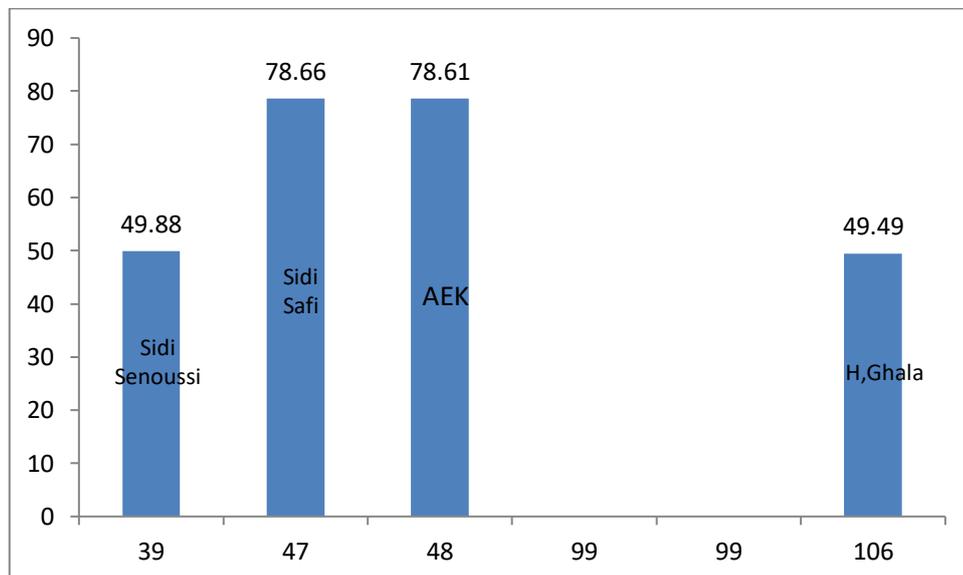


Figure 107 : Variation du rendement en fonction du temps de séjour

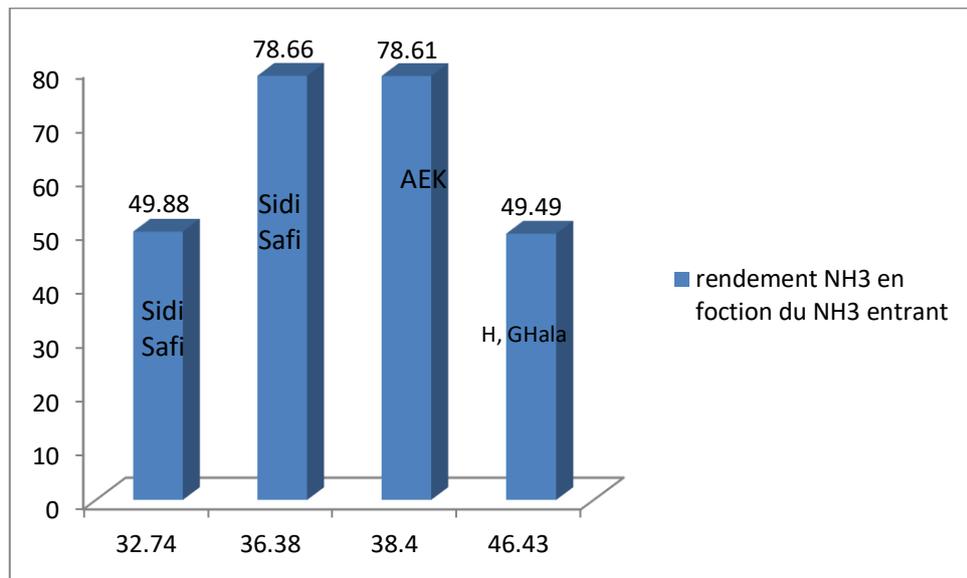


Figure 108 : Variation du rendement de NH₃ en fonction de la concentration entrante

D'après les deux figures 107 et 108, nous avons constaté que le rendement augmente avec le temps de séjour et décroît avec la concentration moyenne entrante pour l'ensemble des stations de lagunage étudiées, sauf le lagunage de Hassi El Ghala .

IV.4.7. Interprétation des résultats du phosphore

Les analyses du phosphore ont été réalisées uniquement pour la station de Sidi Senoussi, ce qui n'est pas le cas pour les autres lagunages à cause de l'indisponibilité des réactifs. Les concentrations moyennes entrantes et sortantes sont résumées dans le tableau 26

Tableau n°26 : Concentration moyenne entrantes et sortantes de PO₄ «Sidi Senoussi »

lagunage	PO ₄ moyenne entrant (mg/l)	PO ₄ moyenne sortante (mg/l)	Norme de réutilisation	Norme du rejet au milieu naturel
Sidi Senoussi	39.33mg	10.75	/	2mg/l

Dans la figure 70 le graphe des concentrations des eaux usées brutes est au-dessus du celui des concentrations sortantes, cela nous renvoie à dire qu' 'il y a une bonne élimination du phosphore. La concentration moyenne de PO₄ dans les eaux entrantes est de 39.33 mg/l et celles des eaux sortantes est de 10.75 mg/l.

Cette dégradation est due à la présence des microorganismes qui utilisent le phosphate pour leur développement (les algues, les germes épuratrices ...etc.). Malgré le bon rendement d'abattement enregistré dans le lagunage de Sidi Senoussi, les concentrations de PO_4 dans les eaux épurées restent encore loin de la norme de préservation de milieu récepteur 2 mg/l. Pour la réutilisation agricole, il n'existe pas une valeur- limite, car c'est un élément fertilisant.

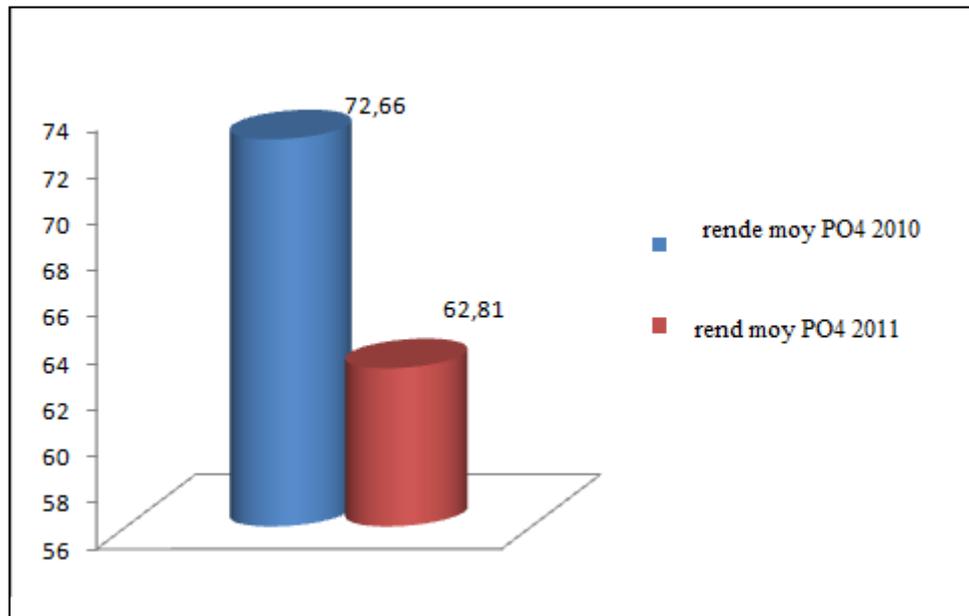


Figure 109 : Variation du rendement interannuel de PO_4 pour Sidi Senoussi (2010-2011)

En comparant les rendements moyens d'abattement de PO_4 durant l'année 2010 avec celle de l'année 2011 (figure 109), nous constatons que le rendement a diminué. Ce dernier nous renvoie à dire que l'efficacité du lagunage naturel pour la dégradation du phosphore diminue avec le temps.

IV.4.8. Interprétation des résultats de la Conductivité :

Les valeurs moyennes de la conductivité des eaux usées entrantes et sortantes sont indiquées dans le tableau (27)

Tableau n°27 : Les valeurs moyennes entrantes et sortantes de la conductivité en $\mu\text{s}/\text{cm}$

lagunage	Sidi Senoussi	AEK	Sidi Safi	El Maleh	El Amria,	Hassi El Ghala
conductivité moyenne entrante $\mu\text{s}/\text{cm}$	1217.94	1653.36	1689.09	1333.58	1380.05	1353.5
conductivité moyenne sortante $\mu\text{s}/\text{cm}$	891.83	1375.63	1450.90	1067.16	887.37	1094.33
Norme de réutilisation et du rejet au milieu naturel	3000 $\mu\text{s}/\text{cm}$					

D'après les figures 71, 72, 73, 74, 75 et 76 nous remarquons que :

- pour l'ensemble des lagunages étudiés, les deux graphes correspondant aux variations de la conductivité des eaux usées brutes et épurées sont proches de l'un des autres et sont placés en dessous de la valeur limite de la réutilisation agricole.
- Nous constatons que les valeurs de la conductivité des eaux sortantes sont inférieures aux celles des eaux usées brutes comme il est indiqué dans le tableau 27. Cela nous renvoie à considérer que la quantité des sels dissous dans les eaux usées a été dégradée par la présence des micro-organismes (phytoplancton) qui les utilisent pour la photosynthèse.
 - Les rendements moyens de la conductivité sont indiqués dans la figure 110

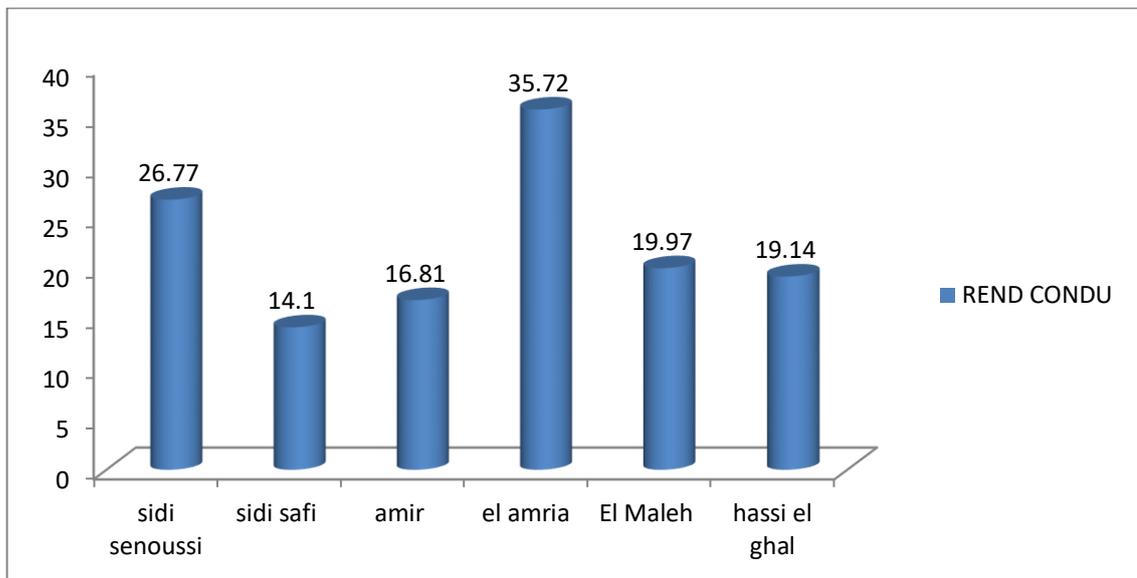


Figure 110 : Les rendements moyens de la conductivité des lagunages étudiés (2011)

D'après la figure 110, nous constatons que l'ordre décroissant du rendement de la conductivité est comme suite : El Amria (35.72%), Sidi Senoussi (26.77%), El Maleh (19.97.59%), Hassi El Ghala (19.14%), AEK (16.81%) et Sidi Safi (14.1%).

Pour évaluer l'influence du temps de séjour sur le rendement de la conductivité nous avons tracé la figure 111

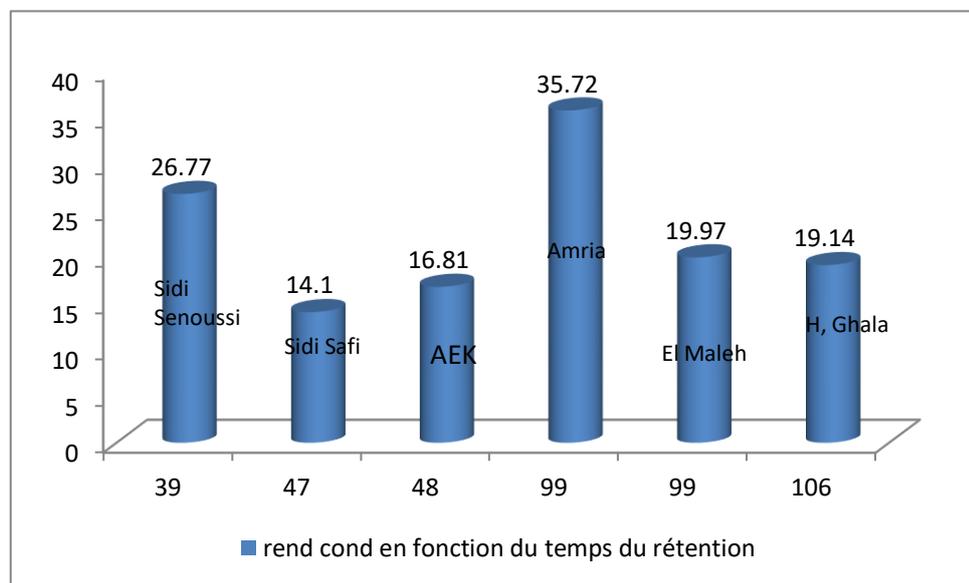


Figure 111 : Variation du rendement en fonction du temps de séjours

D'après la figure 111, nous remarquons que le rendement croît avec le temps de séjour pour l'ensemble des lagunages sauf Hassi El Ghala et El Maleh. Ces deux dernières stations de lagunage présentent un rendement minimal avec un temps de séjour maximal. Ce qui a été déjà constaté pour les paramètres : DBO_5 , NH_4 et NO_3 . Alors on peut dire que ces lagunages (Hassi El Ghala et El Maleh) ont besoin d'une opération de curage des boues.

L'influence de la conductivité entrante sur le rendement de la conductivité est démontrée dans la figure 111

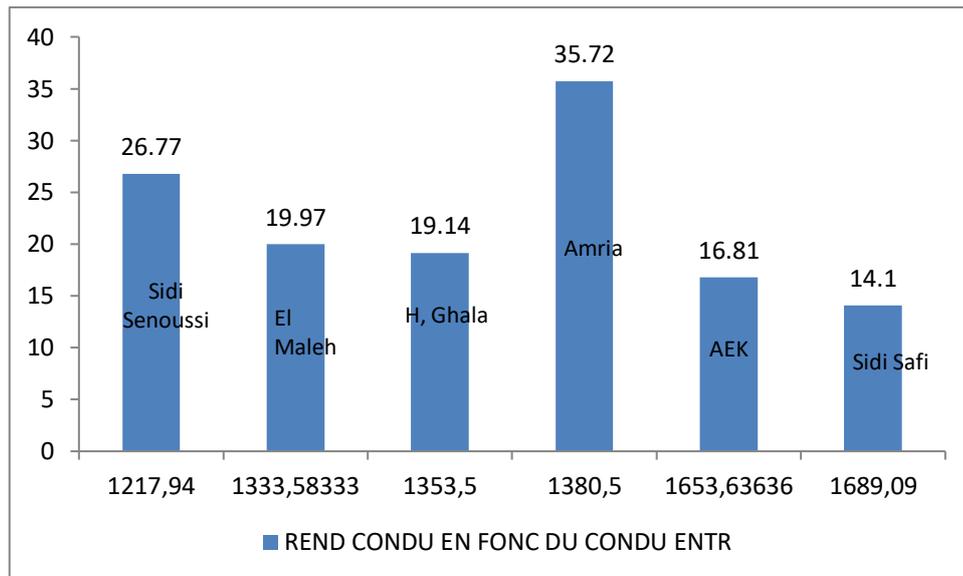


Figure 112: Variation du rendement de la conductivité en fonction de la conductivité entrante

D'après la figure 112, nous constatons que le rendement décroît avec la concentration entrante pour l'ensemble des lagunages étudiés. Par contre, le lagunage d'El Amria présente un rendement maximal avec une conductivité entrante qui n'est pas minimale.

IV.5.Conclusion

Les conclusions tirées pour chaque paramètre sont comme suit :

➤ **Les MES :**

La concentration des eaux usées entrantes en MES est très forte pendant l'hiver là où il y a une forte abondance du transport solide charrié avec des eaux pluviales.

Le rendement d'élimination des MES décroît avec la concentration entrante. Mais on n'a pas pu tirer des conclusions pour l'influence du temps de rétention sur l'élimination des MES. Cela peut être expliqué par : la concentration sortante en MES a comme origine les algues qui se développent avec le temps de séjour.

Les concentrations sortantes des eaux usées ont une variation aléatoire au cours des mois, alors il n'y a pas une saison ou bien un mois où la dégradation est maximale ou bien minimale.

Le rendement interannuel décroît au fil des années à cause du vieillissement des lagunages.

➤ **La DBO₅ :**

Il n'y a pas une différence significative entre les concentrations sortantes au cours de tous les mois.

D'après la variation du rendement interannuel des lagunages étudiés, la dégradation de la DBO₅ s'améliore au fil des années.

Le rendement de DBO₅ des lagunages étudié croît avec le temps de séjour par contre la concentration entrante n'a pas une relation logique avec les rendements de DBO₅

➤ **La DCO :**

Les concentrations sortantes changent d'une façon aléatoire au cours des mois, alors on ne peut pas conclure quels sont les mois là où la dégradation du DCO est idéale. Le rendement décroît avec le temps à cause de vieillissement des lagunages.

D'après l'étude du rendement moyen d'élimination de DCO nous avons conclu que ce dernier n'a pas de relation ni avec le temps de rétention ni avec la concentration moyenne entrante.

L 'NH4

Les variations des concentrations entrantes et sortantes sont aléatoires alors on ne peut pas tirer quels sont les mois favorables pour la dégradation de l'ammonium.

D'après l'étude de la variation du rendement interannuel de Sidi Senoussi, on a eu : 56,21% en 2010 et 41,15% en 2011. Donc la dégradation de NH_4^+ a diminué au cours des années de service.

Le rendement de NH_4^+ augmente avec le temps de séjour et décroît avec la concentration entrante, cela est confirmé dans les lagunages « Sidi Senoussi, AEK et Sidi Safi »

➤ **les nitrates :**

L'étude du rendement interannuel de lagunage de Sidi Senoussi démontre que ce dernier diminue au cours des années de service.

Le rendement croît avec le temps de séjour et décroît avec la concentration moyenne entrante.

➤ **Le phosphore :**

L'efficacité d'élimination décroît au cours des années de service ce qui est approuvé dans le lagunage de Sidi Senoussi.

➤ **Conductivité :**

Le rendement de la conductivité croît avec le temps de séjour, et décroît avec la valeur de la conductivité entrante.

En générale, on peut dire que les eaux usées entrantes sont très chargées, surtout pour les MES, la DBO_5 , (les valeurs habituelles des MES sont inférieure à 600 mg/l et celles de la DBO_5 inférieures à 500 mg/l). (Décreté exécutif n°09-209 11 /06/2009). Cela est relatif à la mauvaise dilution de la pollution, à cause de la dotation réduite en eau potable et la faible consommation des eaux par les habitants. L'épuration des eaux usées par le lagunage naturel n'est pas suffisante pour une réutilisation agricole pour les paramètres : MES, DBO_5 , DCO. Pour la préservation du milieu récepteur les résultats n'ont pas été conformes aux normes pour les paramètres MES, DBO_5 , DCO, NH_4 , PO_4 .

Le temps de séjour utilisé dans cette étude est théorique, et n'est pas réel. Le temps de séjour réel varie selon le débit des eaux usées reçu au niveau de lagunage. En outre l'envasement des bassins de lagunage par des boues diminue le temps de rétention réel.

Pour avoir une idée exacte sur les facteurs qui influent sur les rendements épuratoires, il faut prendre un seul lagunage et chaque fois on change l'un des facteurs et voir les résultats.

Notre objectif principal dans cette étude est de vérifier si la qualité des eaux épurées par le lagunage naturel en Algérie est conforme aux normes de réutilisation et aux normes du rejet en milieu récepteur.

CHAPITRE V

PROPOSITION D'UN MODELE DE PHYTOEPURATION

V. Proposition d'un model phytoepuration

V.1 Introduction

Nous pouvons considérer que le système d'épuration des eaux usées par les végétaux (appelé également la phyto-épuration) comme un procédé complémentaire pour nos stations de lagunage étudiées, qui représente un rendement moyen d'abattement de la charge polluante carbonée (DBO₅) et (DCO) et la charge polluante solide (MES) au dessous des valeurs limitées par les normes, comme le confirme les résultats d'analyses.

Par conséquent, cela nécessite un besoin urgent d'amélioration de ses performances épuratoires pour la rendre plus efficace en associant un procédé complémentaire d'épuration telle que les bassins à macrophytes. Le nouveau système devient alors un lagunage naturel composite ou mixte (microphytes et macrophytes).

Le choix du type de filtre (horizontal ou vertical) ainsi que les aménagements annexes nécessaires sont fortement déterminés par le type d'eaux à traiter (flux, eaux brutes, eaux pluviales, eaux issues d'une décantation primaire ou d'un traitement secondaire...). En traitement tertiaire, on peut avoir des dispositifs de capacité légèrement supérieure. Dans certains cas exceptionnels, des installations ont été construites pour admettre les effluents de 10 000 à 15 000 E.H.

Cependant, les systèmes mis en place pour recevoir de telles quantités d'effluents sont relativement complexes et nécessitent des surfaces beaucoup plus importantes. Parmi les six stations de lagunage étudiées, nous avons une seule station de lagunage qui possède une capacité de traitement des eaux usées inférieure à 12000 EH (lagunage d'AEK), donc on peut envisager un traitement complémentaire à base de végétaux à macrophytes "Roseaux" .

V.2. Les différents types d'eaux à traiter

On peut différencier plusieurs types d'eaux : les eaux usées brutes, les eaux usées décantées, les eaux issues d'un traitement biologique et enfin, les eaux de pluie.

a- Les eaux brutes:

Les eaux brutes peuvent être admises directement sur les filtres verticaux. Les eaux subissent uniquement un dégrillage grossier et éventuellement un dessablage et un déshuilage. Les filtres horizontaux, qu'ils soient constitués de sable ou de sol en place, ne peuvent pas recevoir des eaux aussi concentrées car, cela entraînerait un colmatage de la zone d'entrée et par la suite un écoulement superficiel. Une réduction de la teneur en MES par une décantation primaire où filtre vertical est nécessaire. Dans le cas des filtres horizontaux remplis de graviers, le colmatage sera moins rapide et des périodes de repos pourraient permettre aux bactéries de dégrader la matière organique retenue dans le matériau.(Charlotte , 1999).

b- Les eaux décantées:

Les eaux décantées peuvent être admises sur les filtres verticaux, cependant, le matériau de remplissage ne sera pas le même que pour traiter les eaux brutes; IL faut trouver un juste et délicat équilibre entre le risque de colmatage et une filtration efficace. Les filtres horizontaux sont alimentés la plupart du temps par des eaux décantées sans précautions particulières. (Charlotte , 1999).

c- Les eaux issues d'un traitement biologique:

Les eaux issues d'un traitement biologique présentent de plus faibles concentrations en MES et en MO. Le rôle des filtres plantés de macrophytes est alors de compléter la dégradation de la matière organique et l'élimination des matières en suspension résidentielles, d'assurer une nitrification et/ou dénitrification, une déphosphoration partielle,et éventuellement une décontamination.

Si le but principal est l'affinage du traitement des matières en suspension et de la matière organique, on pourra privilégier un filtre horizontal. Ses performances sont à peu près identiques à celles des filtres verticaux, mais en traitement tertiaire les conditions opératoires sont moins coûteuses et moins contraignantes (faucardage des roseaux inutile, pas

d'alimentation alternée par bâchées, dénivelé moins exigeant pour un fonctionnement en gravitaire...).

Globalement, par rapport à d'autres systèmes, les filtres à macrophytes sont moins affectés par les dysfonctionnements du traitement biologique en amont et sont capables d'assurer une partie du traitement manquant. Les filtres plantés de macrophytes, notamment les horizontaux, constituent donc de bons milieux tampon avant le rejet dans un milieu récepteur sensible.

V.3 Les contraintes à lever

Lorsque le milieu récepteur exige un niveau de qualité en matière de MES, DBO5 et DCO minimum : 35 mg MES/l, 25 g DBO/l et 125 mg DCO/l, les filtres plantés de macrophytes permettent d'y répondre. (Boutin, 2008).

V.4- Rendements attendus:

Les stations à filtres plantés, qu'elles soient à deux étages à écoulement vertical ou qu'elles aient comme deuxième étage un filtre horizontal, permettent d'atteindre un niveau d'épuration conforme, soit une concentration moyenne en sortie sur 24 heures inférieure ou égale à: 25 mg/l de DBO5; 125 mg/l de DCO; 35 mg/l de MES.

V.5 Conception d'une installation à lits planté en macrophytes

Les caractéristiques de l'effluent (origine, charge polluante, saisonnalité), du site (altitude, de la nature du sol, topographie, hydrologie) et de l'environnement (climat, type de végétation) sont prises en compte pour l'étude des stations d'épuration par Lits Plantés de Macrophytes.

V.5.1 Études préalables:

Il n'existe pas de modèle standard quant à la réalisation d'un système d'épuration par lagunage. Il faut, en somme, concevoir une station "à la carte" après détermination des facteurs du milieu que sont les effluents à traiter, le climat et le milieu récepteur dans lequel va s'écouler l'eau assainie en fin de lagunage.

a) Les effluents:

Différents facteurs sont à prendre en compte:

- **la population:** elle doit être définie précisément sur un terme de 10-15 ans, qu'elle soit sédentaire ou saisonnière.

- **Le débit:** à mesurer soigneusement. Il est de l'ordre de 150 à 200 l / habitant / jour.

-**La charge organique:** exprimée en DBO₅, elle doit être connue afin de dimensionner correctement les installations. . (Groupe macrophyte et traitement des eaux, 2005)

b) Le climat:

La conception tiendra compte des contraintes climatiques notamment des périodes de grands froids. Les filtres horizontaux sont compatibles avec les climats rigoureux. Les filtres verticaux, du fait de l'arrivée de l'eau à la surface, sont plus sensibles au froid. (Groupe macrophyte et traitement des eaux ,2005)

c) Le milieu récepteur:

L'objectif de qualité du milieu récepteur conditionne le niveau de rejet de la station. Outre la possibilité de rejet dans le réseau hydrographique superficiel, on pourra étudier l'éventualité d'une infiltration souterraine pour les plus petits ouvrages.

Quand une zone de transition naturelle (fossé végétalisé, zone marécageuse,...) existe entre le point de rejet de la station et le milieu hydraulique superficiel, il peut être intéressant d'étudier le rôle tampon de ce milieu naturel et les possibilités d'infiltration dans les sols, voire d'amélioration complémentaire de la qualité du rejet qu'il est susceptible d'offrir. (Groupe macrophyte et traitement des eaux ,2005)

V.5.2. Etude de faisabilité

Ces études minimales permettent de choisir le site d'implantation le plus approprié, en se rappelant qu'une lagune bien conçue s'intègre parfaitement au paysage et n'entraîne pas de nuisances. Le maître d'œuvre choisit, a priori, le site parmi les possibilités offertes, on fonction des contraintes du schéma d'assainissement, de la topographie, de la géologie, des possibilités de rejet, sur la base des cartes et des visites du terrain. (Groupe macrophyte et traitement des eaux , 2005)

➤ **Choix du terrain**

Il est clair que nous préconisons la solution des bassins creusés in situ, ce pour des raisons de coûts souvent plus avantageux, de maintenance plus aisée mais aussi parce que cela

permet de faire travailler divers corps de métiers locaux. Par conséquent, il est évident qu'il vaut mieux choisir un terrain légèrement en pente de manière à profiter de cette pente naturelle pour favoriser un écoulement gravitaire.

Aussi ne faut-il pas hésiter à envisager au départ, plusieurs sites, de manière à sélectionner le plus adapté. (Conseil Général de l'Agriculture, 2007)

➤ **L'accessibilité du terrain:**

Le choix du terrain pour la réalisation de la station doit faciliter les voies d'accès des engins de terrassement. L'accès du site s'effectue généralement à la pelle mécanique ou le terrain doit être préalablement dégagé pour en permettre le passage.

➤ **Topographie et relief:**

Choisir un terrain ayant une pente naturelle régulière de 3-4 %, si possible sans dévers, est même conseillé. Pour une station à deux étages constitués de filtre à écoulement vertical, alimentée gravitairement, il faut pouvoir disposer de 4 m minimum entre le point d'entrée des eaux usées sur le site et le point de rejet vers le milieu naturel. Pour implanter un filtre à écoulement horizontal, il faut prévoir une dénivelée d'environ 1 m minimum. (Groupe macrophyte et traitement des eaux , 2005)

➤ **Géologie:**

La structure géologique du site peut être étudiée, dans une première approche, à partir d'une carte géologique locale, ce qui permet de définir les zones les plus favorables à la construction de la lagune. Les conclusions portent en principe sur:

- (1) la présence ou non de blocs pouvant gêner les travaux et la profondeur du substratum rocheux ;
- (2) les risques de fuite dans les terrains et les rocher de substratum ;
- (3) la position des zones humides ou des sources ;
- (4) la nature des matériaux du site. (Claude et Gérard, 1999)

➤ **Hydrogéologie et hydrographie:**

Il faut connaître le niveau de la nappe phréatique et ses fluctuations saisonnières. On ne peut en aucun cas choisir un terrain où le niveau de la nappe (en charge, c'est-à-dire en saison des pluies) risque d'atteindre le fond des bassins et donc d'hypothéquer leur étanchéité. En outre, la présence d'une nappe peut gêner les travaux. (Claude et Gérard, 1999)

➤ **Étude géotechnique:**

C'est généralement l'étude la plus importante, faite à la demande et sous la responsabilité du maître d'œuvre. Le plus souvent, un sondage à la tarière, couplé à quelques essais réalisés in situ et au laboratoire (caractérisation physico-mécanique du sol), nous procurerons les informations nécessaires et suffisantes pour permettent de choisir, définitivement, le terrain d'implantation de la station et de conclure sur sa faisabilité. (Claude et Gérard, 1999)

V.5.3. La surface nécessaire:

Dans le cas d'une utilisation moyenne de 125 à 200 litres d'eau par personne/jour (ce chiffre variant parfois considérablement, selon les normes culturelles et la géographie du site), nous considérons une surface nécessaire de traitement allant de 2.5 à 3.5 m² par personne. Ces paramètres dépendent toutefois de nombreux facteurs: le climat, le nombre de personnes et la quantité d'eau usée qu'elles génèrent, ainsi que le niveau de purification exigé ou souhaité.

Une surface brute (lits, voiries, réseaux divers,..) suffisante doit être prévue pour l'implantation de la station. On peut retenir les données suivantes:

- 4 à 8 m² par habitant pour la station composée de filtres à écoulement vertical avec une surface utile de 2 à 2.5 m² par habitant à moduler en fonction des flux hydrauliques attendues.

- 8 à 9 m² par habitant avec une surface utile de filtre d'environ 5 m² nécessaires en traitement complet par lits horizontaux (précédé par une décantation primaire). (Charlotte ,1999)

V.5.4. Les lits:

a. Les dimensions:

La pratique actuelle est de déterminer la surface totale des filtres plantés en fonction du nombre d'habitants raccordés plutôt qu'en fonction de flux de DBO et DCO.

Le nombre de lits en parallèle est déterminé par le rapport « temps d'alimentation/ temps de repos » que l'on gère par la rotation de l'alimentation des lits.

Pour les filtres à écoulement vertical, le premier étage est généralement constitué de 3 lits, le deuxième deux (02) lits seulement. La règle de base du dimensionnement est la suivante:

- Surface totale (ST) 2 à 2.5 m²/ hab
- Le premier étage (3 lits en parallèle, représentent 60% de ST) 1.2 à 1.5 m² /hab
- Deuxièmes étage (2 lits en parallèle représentent 40% de ST) 0.8 à 1 m² /hab.

(Arthur et al, 2005)

Le dimensionnement pour les filtres horizontaux, en raison des différences à la fois des caractéristiques physiques et écologiques des marais ainsi que les caractéristiques de l'effluent (influence de la profondeur d'eau, de la pente, du dispositif d'entrée et de la sortie du lit, du type de végétation...), une approche empirique a conduit à dimensionner la surface selon un ratio « surface par habitant raccordé ». (Charlotte , 1999)

Les valeurs du dimensionnements sont pour:

- Filtres à écoulement horizontal 2 à 3 m² /habitant
- Décanteur 5 m² /habitant.

V.5. 5. Travaux d'étanchéité :

Il reste deux solutions pour assurer l'étanchéité des bassins: les fabriquer en béton ou bien de poser une géomembrane. Le béton est une bonne option du fait de son coût modéré et sa bonne tenue. Ainsi, on protégera la géomembrane des objets sous-jacents par la pose préalable, entre la terre et la membrane. D'un géotextile auto_poinçonnant (argile compactée).

D'une manière générale, lorsque l'étanchéité des ouvrages n'est pas réalisée artificiellement une étude du sol doit être systématiquement réalisée. (Claude et Gérard, 1999)

V.5.6. La plantation des macrophytes:

Les macrophytes peuvent être plantés en toutes saisons sauf en période de gel ou de grande chaleur. On plantera préférentiellement entre Mars et Septembre. Théoriquement, plusieurs espèces de plantes peuvent être utilisées (Scirpus sp., Typha ...), mais les roseaux de type Phragmites australis ou communis: , par leur résistance aux conditions rencontrées (longue période submergée du filtre, périodes sèches, fort taux de matières organiques), et la rapide croissance du chevelu de racines et de rhizomes, sont les plus souvent utilisés dans les climats tempérés.(Groupe macrophyte et traitement des eaux ,2005)

La plantation peut se faire, de jeunes pousses ou de rhizomes avec une densité de l'ordre de 4 par m². Pour les filtres horizontaux, il peut être intéressant de laisser une lame d'eau de quelques centimètres au-dessus de la surface, pendant le début de la croissance des plants (3 à 4 mois), pour éviter le développement de mauvaises herbes. Dans le cas du lagunage à macrophytes, il est préférable de choisir une végétation locale, ce qui évitera les essais d'acclimatement.(Charlotte, 1999)

V.6- Dimensionnement du bassin complémentaire à écoulement horizontal

Le bassin complémentaire à écoulement horizontal planté de roseaux sera construit en aval de la station pilote (AEK), c'est-à-dire après le dernier bassin de maturation.

V.6. 1 Surface nécessaire

Dans le cas d'une utilisation moyenne de 125 à 200 litres par personne/jour, nous considérons une surface nécessaire de traitement allant de 2.5 à 3.5 m² par personne. Ces paramètres dépendent toutefois de nombreux facteurs : le climat, le nombre de personnes.

Le dimensionnement pour les filtres horizontaux, en raison des différences à la fois des caractéristiques physiques et écologiques des marais ainsi que les caractéristiques de l'effluent (influence de la profondeur d'eau, de la pente, du type de la végétation...) est fixé selon une approche empirique qui est de 2 à 3 m²/habitant. (Laloë et .Rouganne , 2008) Dans le cas du bassin à écoulement horizontal, il faut savoir qu'un habitant a besoin de **2.8 m²** pour réaliser une épuration correcte donc, la surface nécessaire de notre bassin horizontal afin de compléter le traitement de la station du lagunage naturel est de:

Pour le lagunage d'Amir Ebdel Kader

La surface nécessaire :

La surface est calculée pour l'horizon 2030 avec 4267 équivalent habitant

$$S = 2.8 \times 4267 = 11947,6 \text{ m}^2$$

Le volume nécessaire :

$$11947,6 \text{ m}^2 \times (\text{profondeur du bassin} = 0.40\text{m}) = 4779,04 \text{ m}^3.$$

Afin de faciliter les travaux d'entretien par les agents de maintenance de la station pilote, il faut envisager d'installer trois bassins en parallèle à écoulement horizontal de **1594 m³** chacun.

V.6.2 Les matériaux pour les filtres à écoulement horizontal:

Une granulométrie de 4 à 8 mm est proposée lorsque le lit reçoit des eaux usées simplement décantées. Pour un lit installé en complément de traitement à l'aval du filtre à écoulement vertical, on pourra utiliser une granulométrie plus fine (1 à 4 mm par exemple). (Dubol et al, 2007)

Pour notre bassin horizontal complémentaire on a choisi les différentes couches de granulométrie suivantes:

- ✚ Premier étage est composée d'une couche drainante (gabion d'alimentation et d'évacuation) d'épaisseur de 40cm.

- ✚ Deuxième étage composé de deux couches:

- Couche filtrante : elle est composée de sable alluvionnaire siliceux (Épaisseur de 30cm).

- Couche de transition : elle est composée de gravier grossier (épaisseur de 10cm).

(Charlotte, 1999).

V.6.3 La dénivelée :

Pour assurer un écoulement gravitaire entre le dernier bassin de maturation et le nouveau bassin à macrophyte (écoulement horizontal) au niveau de la station pilote, il faut une pente suffisante d'une dénivelée de 02 m (Dubol et al ,2007)

.V.6.4 Dispositif à mètre en place:

Le dispositif à mètre en place au niveau de la station pilote est de type du lagunage naturel mixte constituant d'un dégrilleur, d'un dessableur et de plusieurs bassins successifs ayants des rôles complémentaires.

Étant constitué d'un (01) bassins facultatifs, d'un bassin de maturation et L'installation de trois nouveaux bassins à écoulement horizontal plantés de macrophytes "roseaux" placés en parallèle (volume = 1594m³ chacun).

Ce nouveau système de lagunage mixte (microphytes et macrophytes) proposé au niveau de la station pilote a pour rôle de compléter la dégradation de la matière organique carbonée (DBO₅), la matière organique totale (DCO) et la matière organique solide (MES).

Le but de ce type de lagunage mixte est d'atteindre un rendement épuratoire satisfaisant aux normes requises pour l'irrigation. Le schéma descriptif de la STEP proposée est mentionné dans Figure n° 113.

V.6.5 Le temps du séjour des EU:

Le temps de séjour des eaux usées dans le nouveau dispositif de la station de Pilote est de 50 jours dans les deux bassins (facultatif, bassin de maturation) et de 3 à 5 jours dans les trois bassins à écoulement horizontal plantés de roseaux.

V.7 Aspect économique:

Les coûts du système peuvent se subdiviser en frais de construction et en frais récurrents qui représentent les frais liés à la gestion de l'ouvrage.

La plupart des coûts de construction dépendent directement du design du système choisi. Les éléments majeurs qui rentrent dans les coûts des stations sont :

(1) l'achat du terrain ;

- (2) les sondages géotectoniques ;
- (3) les travaux de déblaiement et de fouille ;
- (4) les travaux de génie civil ;
- (5) les ouvrages de distributions de l'eau (tuyaux) ;
- (6) la sélection de l'ensemencement des plantes.

Le coût du dispositif peut varier d'un site à l'autre en fonction :

- (a) de la capacité de l'ouvrage ;
- (b) de la superficie spécifique retenue (m^2/EH) ;
- (c) du nombre et du type de bassins ;
- (d) de la qualité et de la spécificité de la réalisation (étanchéité artificielle ou non, aménagement divers).

Arrivé des eaux usées brutes

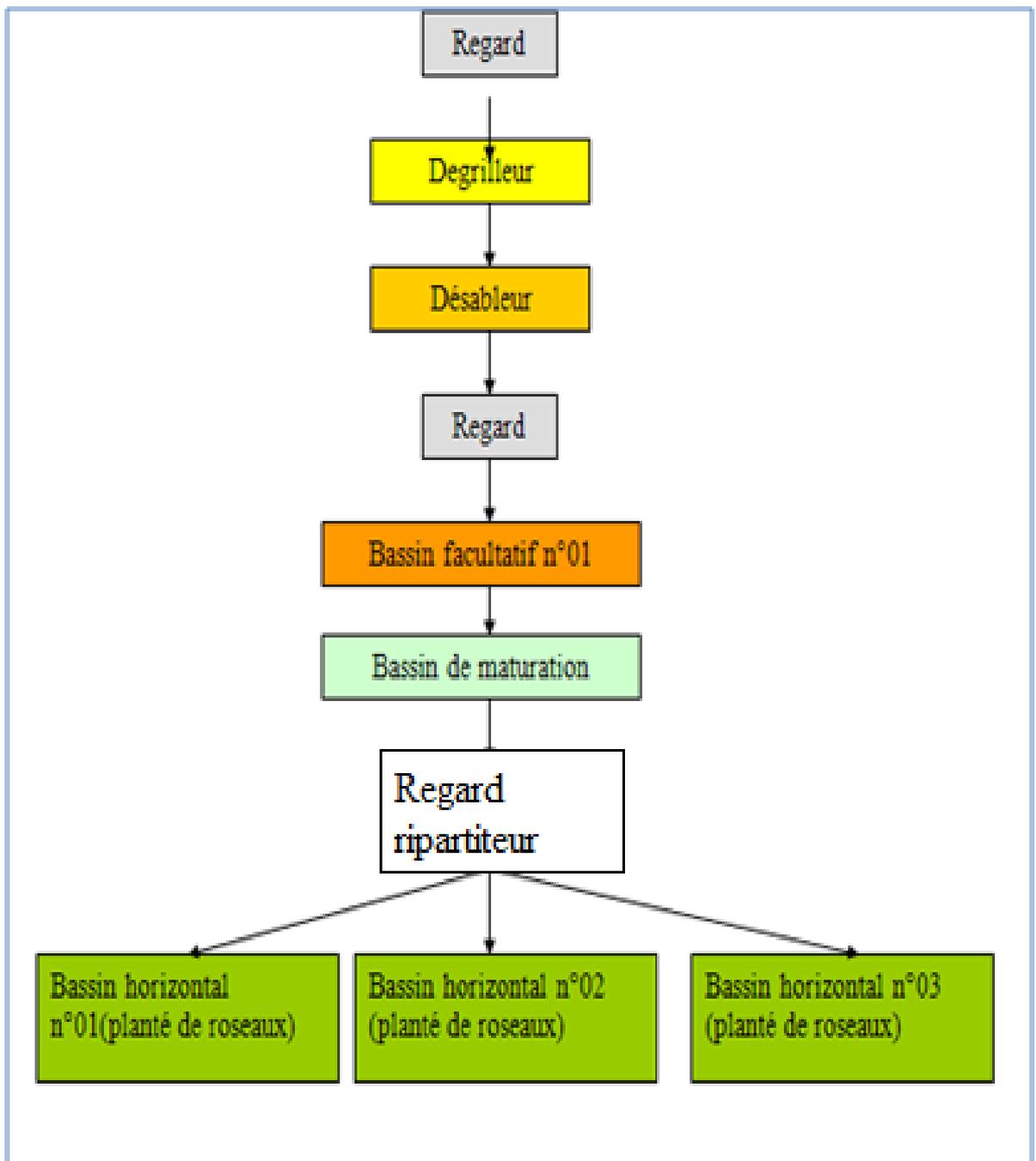


Figure n° 113 : Schéma descriptif de la station pilote proposée

V.8. Conclusion

Ainsi, le procédé de traitement des eaux usées par les végétaux présente plusieurs intérêts :

- La performance épuratoire ;
- La fiabilité par rapport aux autres procédés classiques tels que le lagunage ;
- La simplicité : un agent communal pour assurer les travaux d'entretien (une fois par semaine) ;
- La rusticité : une grande facilité d'installation et mise on œuvre ;
- Enfin, l'aspect paysagère et environnemental (cadre agréable, sans odeurs,..)

Cependant, la mise en place de ce type d'ouvrage nécessite une volonté du pouvoir public, (élus et décideurs) pour la concrétisation sur terrain de ce procédé.

Concernant les autres stations de lagunage naturel pour lesquelles on ne peut pas placer des bassins des filtres plantés comme traitement supplémentaire à cause de leurs capacités importantes > 12000 EH. On propose de réutiliser les eaux épurées par ces lagunages à des fins non-agricole par exemple lavage des rues, l'incendie, l'arrosage du gazon et des arbres non productifs.

Conclusion générale :

L'Algérie est un pays semi aride, souffre d'une pénurie d'eau très grave, causée par la rareté des précipitations et le manque des ressources en eau, plus la pollution qui dégrade la qualité de l'eau souterraine et superficielle. Donc, l'épuration des eaux usées est une nécessité impérieuse non seulement pour préserver la qualité des ressources en eau existantes mais aussi pour soulager la crise d'eau par une opération de réutilisation des eaux usées à des fins agricoles.

Le lagunage naturel est le procédé le plus adapté à notre pays, vaste et chaud, plus de 30 % des stations d'épuration sont de types lagunage naturel. En plus, la majorité des stations à boue activée sont en arrêt ou dans un état de réhabilitation. C'est pour cette raison que nous avons choisi le lagunage naturel, afin d'étudier ses performances épuratoires, et chercher les solutions qui s'imposent à son amélioration.

Les résultats des analyses effectués sur les six stations de lagunage naturel : Sidi Senoussi, Amir Ebdel Kader, Sidi Safi, El Amria, Hassi El Ghala, El Maleh montrent que :

Pour les matières en suspensions, dans les six lagunes, les concentrations sont supérieures à la norme requise. Ces concentrations élevées en MES revient à la présence des algues dans les eaux rejetées.

En étudiant la variation du rendement au cours du temps, nous avons constaté que le rendement décroît au fil des années. En comparant les rendements moyens d'élimination des MES de chaque lagune avec l'autre, nous obtenons l'ordre décroissant suivant : la lagune de Sidi Senoussi 85.35%, Hassi El Ghala 63.2%, Sidi Safi 57.08%, Amir Abdel Kader 53.68%, El Maleh 52.44%, et El Amria 54.65%.

Pour la DBO₅ : Dans l'ensemble des lagunages étudiés, il y a une forte dégradation de DBO₅, et les valeurs sortantes sont presque confondues avec la norme requise. En comparant les rendements moyens des lagunages entre eux, nous remarquons que les rendements par ordre décroissant sont : El Amria 90.66%, Sidi Safi 90.28%, AEK 90.27%, Hassi El Ghala 87.1 %, El Maleh 87.1, Sidi Senoussi 79.5%.

Pour la DCO, il y a un bon abattement de DCO pour toutes les stations de lagunage, mais les concentrations sortantes sont supérieures à la norme. Le rendement d'abattement de DCO décroît au cours des années. En comparant les rendements des lagunages entre eux, nous

obtenons l'ordre décroissant suivant : Sidi Senoussi 80.46%, AEK 78,28%, Sidi Safi 74.23%, Amria 72.72%, El Maleh 68.69%, Hassi El Ghala 68.69 %.

Pour l'ammonium, il y a une dégradation de concentration de l'ammonium dans les quatre lagunages Sidi Senoussi et AEK sidi Safi, Hassi El Ghala .Mais les concentrations dans les eaux sortantes sont au-dessus de la norme dans les quatre lagunages. Le rendement moyen d'abattement de N-NH₄ de lagunage de Sidi Senoussi est de 49.88 %, ce d'Émir Abdel Kader est de 78.61 %, 78,66 % pour le lagunage de sidi Safi, 49,49 % pour le lagunage d'Hassi El Ghala. On compare les rendements de Sidi Senoussi celle de 2010(56,21%) avec celle de 2011 (41,15%), donc la dégradation de l' NH₄ a diminué au cours des années de service.

Les rendements d'abattement de nitrate moyen sont : 25,72% pour le lagunage de Sidi Senoussi, 46,67 % a été enregistré dans le lagunage d'AEK, 39,073% pour Sidi Safi, et 38,75 % pour H. Ghala. Les concentrations sortantes sont toutes inférieurs à celle-ci limitées par les normes de réutilisation 30 mg/l.

Malgré les bons rendements d'abattement enregistrés dans le lagunage de Sidi Senoussi, les concentrations de PO₄ dans les eaux épurées restent encore loin de la norme exigée 2 mg/l.

Les lagunages étudiés ont présentés des conductivités sortantes et entrantes inférieurs à la valeur limitée par les normes de réutilisation et du rejet en milieu naturel.

Les rendements moyens de la conductivité sont : El Amria (35.72%), Sidi Senoussi (26.77%), El Maleh (19.97.59%), Hassi El Ghala (19.14%), AEK (16.81%) et Sidi Safi (14.1%)

Pour l'ensemble des paramètres et lagunages étudiés nous constatons que le rendement d'abattement a une forte corrélation avec le temps de séjour et la concentration moyenne entrante. En plus, dans tous les lagunages il y a une diminution du rendement interannuel pour tous les paramètres étudiés sauf la DBO₅, car l'abattement de ce dernier à une forte relation avec la population bactérienne qui dégrade la matière organique.

Le lagunage naturel en général, ne suffit pas pour avoir une eau épurée conforme à la qualité exigée pour une réutilisation agricole, et même pas avec les normes de préservation de milieu récepteur.

Puisque la qualité des eaux épurées par le lagunage naturel n'est pas conforme avec les normes requises pour une réutilisation, nous avons proposé de compléter ce procédé (lagunage naturel) par l'ajout des bassins des filtres plantés .

Pour soulager la crise de la pénurie d'eau que souffrent la plupart des secteurs économie de notre pays, il faut soutenir la stratégie de la réutilisation des eaux usées épurées non seulement à des fins agricoles, mais aussi pour la recharge des nappes souterraines. Pour réussir cette stratégie il faut que les stations d'épuration fonctionnent très bien et rejettent des eaux épurées d'une qualité adéquate à leur réutilisation .

Références Bibliographiques

1. AERM, (2007) : Etat des lieux des systèmes d'épuration des petites collectivités, Filtres plantés de roseaux à écoulement horizontal, Fiche 11, Juillet 2007 - p 8/8.
2. Alexandre Olivier, Catherine Boutin, Philippe Duchène (1997), Filières d'épuration adaptées aux petites collectivités, FNDAE n°22 Document technique Aout 1997 page 96.
3. Allouche Nawel Fella (2006), La Phytoremediation pour la Dépollution des Eaux Usées, Bulletin des Energies Renouvelables-N°10 Décembre 2006 pp 16-17
4. Alp Epur, (2009), Assainissement individuel par roselière à flux horizontal, un assainissement rustique, écologique et performant pour les particulières et petites collectivités, 2009, 7 pages.
5. Arthur Iwema , Dominique Raby et Jacques Lesavre et Catrine Boutin (2005), Epuration des eaux usées domestique par filtre planté de macrophytes : Recommandations techniques pour la conception et la réalisation .Version n 1- 1Juin 2005 .Paris .
6. Baumont Samuel (2006), Réutilisation des eaux usées épurées : risques sanitaires et faisabilité en Île-de-France, Observatoire régional de santé d'Ile-de-France Institut d'aménagement et d'urbanisme de la région Ile-de-France, 2006
7. Bensmina L, Mimeche. M, Debabeche.N. Seghairi. Benameur. N (2013), Capacité de filtres plantes de macrophytes pour l'épuration des eaux usées dans le climat semi-aride, Courrier du savoir, n°17, Décembre 2013, Pp.33-37.
8. BET UNESCO (2008), traitement des eaux usée par lagunage, Fiche technique , aout 2008, 8 pages.
9. Bouabdallah Djaméla et Verley Françoise (2006), traitement par macrophyte en France, Cabinet Verley, SINT Société d'ingénieur, nature et technique, Information presse novembre 2006. France.
10. Boualla Nabila (2011), l'expérience algérienne en matière d'épuration des eaux usées, ScienceLib Editions Mersenne : Volume 3, N ° 111115 ISSN 2111- 4706,
11. Boutin Catherine, Alain lienard, Natalie Bilote et Jean pierre Naberac (2003), Association de lagunage naturelles et d'infiltration percolation : résultats des pilotes et perspectives, Rencontres régionales de l'environnement, des Ingénieries N° 34 – p. 35 à 46 Juin 2003

12. Boutin Catherine, Lienard Alain et Molle Pascal(2007), Les filtres plantés de roseaux, le lagunage naturel et leurs associations : comment ? pourquoi ?, Sinfotech , Les fiches Savoir-faire, Cemagref –2007 ,pp 5-6
13. Boutin Catherine, Ministère de l’agriculture France (2008), Usages des filtres plantés de roseaux dans le traitement des eaux usées du petit collectif, avril 2008, 2 p
14. Bouzroua El Yazid,(2016) , L’assainissement en Algérie, passé, présent et futur , El Djazaircom 2007/2016, l'Eurl Comesta media, N° 94 - Fev 2016
15. Cemagref (2004), Les lagunes d’épuration et les marais artificiels Conférences internationales sur les marais artificiels et le lagunage pour le traitement des eaux usées Avignon, 26 septembre , 1er octobre 2004, 3 pages.
16. Charlotte Grison Agence de l'Eau Rhône Méditerranée et Corse(1999), Epuration des eaux usées par des filtres plantés de macrophytes une étude bibliographique, 1999,79 pages
17. Cherrared. M et Chocat.B, Benzerra. A (2007), Problématique et faisabilité du développement durable en matière d'assainissement urbain en Algérie, Novatech 295, 302.
18. Chouikh Amar (2015), STEP de N’Goussa : une station 100% verte, Office Nationale D’assainissement 2015, 33 pages.
19. Choukr. Allah R et Aghai. O (2005), Impact de l’irrigation par les eaux usées épurées sur la productivité d’une culture de tomate de plein champ, la salinité du sol et le bilan d’azote , 2003, Ciheam Option méditerranéenne, Série A. 66 ,165, 171.
20. Claude Bernard, Gérard Degoute (1999), Le génie des bassins de lagunage naturel, Document technique FNDA n° 7, 1999, Cemagref.
21. CNES: Conseil National Economique et Social, L’eau en Algérie (2000) : le grand défi de demain, Rapport du conseil national économique et social 15ième session, 2000, 1-89
22. Coillard Jean , Cros philips, Debrosse francois (2004), Guide technique de conception de réalisation et d’exploitation d’un dispositif de traitement secondaire basé sur le lagunage naturel et de traitement tertiaire final sur une parcelle végétalisée d’infiltration , juillet 2004, 40 p
23. Conseil général de l’agriculture, de l’alimentation et des espaces ruraux, Ministère de l’agriculture de la pêche, (2007), Filtre plantés de roseau cahier des clauses techniques particulières, CCTP-Cadre Guide pour un pôle d’appui avril 2007, pp 76.

24. Dadi El Mehdi (2010), L'évaluation de la possibilité de réutilisation en agriculture l'effluent traité de la commune de Drarga, p 42/99 Sherbrooke, Québec, Canada, avril 2010.
25. Delouée D (2002), Le lagunage naturel : étude statistique de la qualité des rejets en ILL-et Viliane, Traitement complémentaire au lagunage, mémoire de maitrise, université de Rennes 1 URF SVE., 44 p + annexes
26. DK News (2016), les chiffres clés du secteur de l'eau et de l'assainissement en Algérie, 23 Mars 2016.
27. Dubol M et Finet. A, Colin. D , Laloe.V , Brule .L , Jayle. S., Molle .P Pronost , J et Sadowski A.G, (2007). Cadre guide conseil général de l'agriculture, de l'alimentation et des espaces ruraux, Filtres plantes de roseaux. France ,46 p
28. Duclos J- Y, Molle Pascal et Jayet Bernard (2002), Traitement des eaux usées par association de lagunes et systèmes d'infiltration - percolation, Station d'épuration expérimental d'aurignac, Cémagref 2002), 4 pages.
29. Effebi, Kôkôh Rose (2009), Lagunage anaérobie : modélisation combinant la décantation primaire et la dégradation anaérobie, thèse de doctorat en science, 10-03-2009
30. Fonkou. T, Fonteh.M.F, Djousse Kanouo M. et Akoa Amougou, (2010), Performances des filtres plantes de *Echinochloa pyramidalis* dans l'épuration des eaux usées de distillerie en Afrique subsaharienne ,Tropicultura, 28, 2, 2010, 8p
31. Gadiri (2009), réutilisation des eaux usées pour l'irrigation en Algérie,Ces information ont été tirées de la communication de Bougueroua Omar directeur de l'hydraulique agricole 20 décembre2009, Tlemcen. 2009-12-22
32. Groupe de macrophyte et traitement des eaux, (2005), Epuration des eaux usées domestique par filtre planté de macrophytes recommandations techniques pour la conception et la réalisation, version 1, juin 2005-p 45
33. Hadji T (2000), L'eau en Algérie : le grand défi de demain 5 mars 2000, 99 pages, conseil national économique et social, Commission de l'Aménagement du Territoire et de l' environnement.
34. Hannachi A, Gharzouli r , Djellouli Tabet Y (2014), Gestion et valorisation des eaux usées en Algérie, Larhyss Journal, n°19, Septembre 2014, pp. 51-62
35. Hartani.T (2004). , la réutilisation des eaux usées en irrigation : cas de la Mitidja en Algérie, séminaire sur la modernisation de l'agriculture irriguée, Rabat : Maroc.

36. Koné .D (2000), Le traitement des eaux usées par lagunage : une décennie de recherche à L'eier., Aquadev , Assainissement urbain en Afrique: Actes du séminaire international de Gorée (Dakar), Sénégal, Décembre 2000, p. 53-56.
37. Koundi Abdel Halim ,(2002), La valorisation et la promotion des eaux usées traitées en Tunisie » séminaire : Traitement des eaux usées par lagunage, Challenges et perspectives pour les pays en voie de développement le 4 novembre 2002, Ouagadougou.
38. Laloë J.,Rouganne O, Agence De L'eau Rhin Meuse (2008) ,Recommandations pour le bon fonctionnement des stations d'épuration filtres plantés de roseaux , AERM , Novembre 2008 -P 29
39. Messahel. M., Benhafid.S (2007), Aménagement hydro-agricole : situation actuelle et perspectives de développement en Algérie, Options méditerranéennes, Séries B, n° 48-13 pages.
40. Morgan Mozas et Alexis Ghosn (2013), Etat des lieu du secteur de l'eau en Algérie, IPEMED , Octobre 2013, 25 p.
41. MRE : Ministère des Ressources en Eau , Algérie, 2012
42. Nya. J, Brissaud F, Kengne I.M, Drakides C, Amougou Akoa1, Atangana Eteme R., Fonkou T, Agendia. P.L, (2002) , Traitement des eaux usées domestiques au Cameroun : Performances épuratoires comparées du lagunage a macrophytes et du lagunage a microphytes, Proceeding of international symposium on environmental pollution control and waste management, 7-10 January 2002, Tunis, P.726-736
43. Office Nationale d'Assainissement, Direction de l'Exploitation et de la Maintenance 2016, Tableau de bord mensuel juillet, 30 page
44. OMS, (1989), Organisation mondiale de la Santé, l'utilisation des eaux usés en agriculture et aquaculture recommandation à visées sanitaire, rapport scientifique de l'OMS, Genève 1989 Série de Rapports techniques 88/7823, 1989
45. Papa Ibrahima, Dione Mbor (2002), Expériences de l'ONAS dans le choix et la gestion des stations de lagunage au Sénégal, Séminaire "Traitement des eaux usées par lagunage : Challenges et perspectives pour les pays en voie de développement" 4 novembre 2002, Ouagadougou 25 p
46. Piétrasanta Yves, Bondon et Bondon. Daniel (1994), Le lagunage cologique, . Ed. Economica 1994.paris.112.

47. Poulet J.B, Terfous A., Dap S. et Ghenaim A. (2004), Stations d'épuration à lits filtrants plantés de macrophyte waster water treatment plants with macrophyte, Courrier du Savoir, N°05, Juin 2004, pp. 103-106 .
48. Pronost Joseph, pronost Rakha, deplat Laurent, malrieu Jacques et Berland Jean-marc (2002), Stations d'épuration : Dispositions constructives pour Améliorer leur fonctionnement et faciliter leur exploitation Fonds national pour le développement des adductions d'eau, fiche 9, page 64/86, Décembre 2002.
49. Prudencio Perera–Baudot Bernard (2001), procédé extensive 'épuration des eaux usées appliqué aux petites et moyennes agglomérations (500-5000), Luxembourg : Office des publications officielles des Communautés européennes ,44 pages.
50. Puil .C, (1998), La réutilisation des eaux usées urbaines après épuration, Mém. D.U.E.S.S. "Eau et Environnement", D.E.P., univ. Picardie, Amiens, 62 p.
51. Rochelle S, Liénard A(1998), Synthèse du suivi scientifique et technique de la filière de traitement des eaux résiduaires du GAEC des Glycines, Rapport allégé définitif L218 Bis, Cemagref Lyon 1998, 43p.
52. Rotbardt Alain, (2011) La Réutilisation d'eaux usées traitées (REUT) Perspectives Opérationnelles et Recommandations pour l'Action, inginrie BRL, Février 2011 P 24/91
53. Sambuc. Jean-Pierre (2002), L'épuration des eaux usées : le lagunage naturel Cas de la station de Mèze Loupian Ecosite du Pays de Thau, ecosite, 25 p
54. Satese –Cemagref (1997), Le lagunage naturel les leçons tirées de 15 ans de pratique en France 2éme trimestre 1997 1ére édition.
55. Sylvain Bois Jean - Satese Du Tarn, Jacques Braconnier, Satese Du Loir (2009), Retour d'expérience d'associations de lagunage et de filtres plantés de roseaux, Journées Techniques du groupe EPNAC: l'Evaluation des Procédés Nouveaux d'Assainissement des petites et moyennes Collectivités : 7 et 8 octobre 2009 à Valence p 6/14.
56. Tanawa Emile, et al (2003) ; Gestion et valorisation des eaux usées dans les zones d'habitat planifié et leurs périphéries, Programme « Gestion durable des déchets et de l'assainissement urbain » Action A08, ENSP Yaoundé – janvier 2003,167 p
57. Toutant Claude, (2010), contribution pour l'utilisation des eaux usées épurées en irrigation, Medea Terre.

58. Zeggane Houari, Sadaoui.F, K.Bencheikh, Tahar Fartas (2011), Etude des performances épuratoires d'une station d'épuration pilote par macrophytes dans la commune de Temacine ,Ouargla , 1er Séminaire International sur la Ressource en eau au sahara : Evaluation, Economie et Protection, le 19 et 20 janvier 2011(ouargla)7 pages
59. Décret exécutif n° 07-149 du 3 Joumada El Oula 1428 correspondant au 20 mai 2007 fixant les modalités de concession d'utilisation des eaux usées épurées à des fins d'irrigation ainsi que le cahier des charges-type y afférent., Journal Officiel de La République Algérienne n° 35, 6 Joumada El Oula 1428 23 Mai 2007.
60. Arrêté interministériel du 2 janvier 2012 fixant les spécifications des eaux usées épurées utilisées à des fins d'irrigation, Journal Officiel de La République Algérienne N° 41 19, 25 Chaâbane 1433, 15 juillet 2012
61. Décreté exécutif n°09-209 11 /06/2009 du 17 Joumada Ethania 1430 correspondant au 11 juin 2009 fixant les modalités d'octroi de l'autorisation de déversement des eaux usées autre que domestique dans un réseau public d'assainissement ou dans une station d'épuration, Journal officiel n° 36 , 21 juin 2009
62. ONA, (2015), <http://ona-dz.org/Exploitation-et-maintenance.html>,

ANNEXE

LAGUNAGE DE L'AGGLOMERATION "EMIR ABDEL KADER"**Tableau A.1 : Résultat d'abattement du pH**

Date	pH entrant	PH sortant
Janvier 2010	7,54	7,62
Février 2010	7,1	7,55
MARS 2010	7,57	7,61
Avril 2010	7,61	7,72
MAI 2010	7,68	7,77
JUIN 2010	7,65	7,72
JUIL 2010	7,68	7,77
Aout 2010	7,64	7,81
SEPT 2010	7,55	7,64
OCT 2010	7,49	7,62
NOV 2010	7,61	7,78
DEC 2010	7,54	7,68
Janvier -2011	7,55	7,62
Février- 2011	7,3	7,55
MARS 2011	7,4	7,61
AVRI2011	7,6	7,8
MAI 2011	7,7	7,83
JUIN 2011	7,68	7,72
JUIL 2011	7,68	7,78
AUT 2011	7,64	7,81
SEPT 2011	7,56	7,64
OCT 2011	7,49	7,77
NOV 2011	7,69	7,78
DEC 2011	7,53	7,8
Janvier 2012	7,55	7,62
Février 2012	7,44	7,66
MARS 2012	7,5	7,7
AVRI2012	7,6	7,8
MAI 2012	7,8	7,83
JUIN 2012	7	7,72
JUIL 2012	7,6	7
Aout 2012	7,64	7,7

SEPT 2012	7,54	7,65
OCT 2012	7,49	7,77
NOV 2012	7,5	7,78
DEC 2012	7,6	7,88

Tableau A2: Résultats d'abattement des matières en suspensions :

Date	Concentration entrant (mg/l)	Concentration sortant (mg/l)
Janvier 2010	266,7	100
Février 2010	400	250
MARS 2010	150	100
Avril 2010	400	100
MAI 2010	366,7	133,3
JUIN 2010	300	100
JUIL 2010	250	100
Aout 2010	433,3	133,3
SEPT 2010	350	150
OCT 2010	250	100
NOV 2010	600	100
DEC 2010	600	200
Janvier -2011	733,3	233,33
Février- 2011	600	250
MARS 2011	600	300
AVRI2011	800	350
MAI 2011	300	150
JUIN 2011	700	200
JUIL 2011	600	266,66
AUT 2011	500	200
SEPT 2011	445	234
OCT 2011	516	325
NOV 2011	473	298,5
DEC 2011	587	168
Janvier 2012	259,5	287,5
Février 2012	317	254,5
MARS 2012	228,5	214

AVRI2012	598	457
MAI 2012	326	152
JUIN 2012	228	113
JUIL 2012	274	133,5
Aout 2012	190	93
SEPT 2012	237	141,5
OCT 2012	465,5	255

Tableau A3 : Résultats d'abattement de la demande biologique en oxygène (DBO₅)

Date	Concentration entrant (mg/l)	Concentration sortant (mg/l)
Janvier 2010	378,7	37,66
Février 2010	265	45,5
MARS 2010	484,5	160
Avril 2010	310	46
MAI 2010	165,7	43,66
JUIN 2010	280	50
JUIL 2010	300	43
Aout 2010	628,3	35,34
SEPT 2010	537	31,5
OCT 2010	819,5	40
NOV 2010	291	34,5
DEC 2010	463	38
Janvier -2011	430	37
Février- 2011	585,5	38,5
MARS 2011	555,5	40,5
AVRI2011	562	49,5
MAI 2011	405,5	41
JUIN 2011	529	48
JUIL 2011	272,3	46
AUT 2011	276	40,5
SEPT 2011	419	43
OCT 2011	403	46
NOV 2011	521,5	46,5
DEC 2011	481	50
Janvier 2012	573	34

Février 2012	650	40,5
MARS 2012	880	45,5
AVRI2012	639,5	47
MAI 2012	464,5	44,5
JUIN 2012	540,5	43
JUIL 2012	595	41,5
Aout 2012	467	39
SEPT 2012	390	40
OCT 2012	325	39

Tableau A4 : Résultat d'abattement de la demande chimique en oxygène (DCO)

Date	Concentration entrante (mg/l)	Concentration sortante (mg/l)
Janvier 2010	776,7	162,66
Février 2010	440,5	145
MARS 2010	545,5	86
Avril 2010	784,5	108
MAI 2010	800	83,66
JUIN 2010	810	98
JUIL 2010	244	126
Aout 2010	373,3	94,67
SEPT 2010	277,5	95
OCT 2010	620,5	99
NOV 2010	600	102
DEC 2010	682	110
Janvier -2011	614,3	106,7
Février- 2011	880	117
MARS 2011	990	134,5
AVRI2011	960	208
MAI 2011	656,5	182
JUIN 2011	702,5	167,5
JUIL 2011	412,3	146
AUT 2011	442,5	170,5
SEPT 2011	482	162

OCT 2011	514	164
NOV 2011	632	129
DEC 2011	600	156
Janvier 2012	517	135,5
Février 2012	890	128
MARS 2012	712	138,5
AVRI2012	887,5	152,5
MAI 2012	740,5	168,5
JUIN 2012	570,5	135
JUIL 2012	478,5	144,5
Aout 2012	398	129
SEPT 2012	175	111
OCT 2012	427	100,5

Tableau A5: Résultat d'abattement de l'ammoniaque (NH₄)

Date	Concentration entrante (mg/l)	Concentration sortante (mg/l)
Janvier 2010	134,15	22,4
Février 2010	122,5	18,6
MARS 2010	118,6	14,6
Avril 2010	92	26
MAI 2010	113	32
JUIN 2010	107	25
JUIL 2010	85	14
Aout 2010	94	20
SEPT 2010	76	21
OCT 2010	65	18
NOV 2010	113	25
DEC 2010	103	25

Tableau A6 : Résultats d'abattement des nitrates (NO₃)

Date	Concentration entrante (mg/l)	Concentration sortante (mg/l)
Janvier 2010	60,89	32,01
Février 2010	56,9	24,7
MARS 2010	52,8	21,9
Avril 2010	42	27
MAI 2010	38	19
JUIN 2010	28	18
JUIL 2010	26	12
Aout 2010	32	10
SEPT 2010	22	24
OCT 2010	32	12
NOV 2010	32	28
DEC 2010	38,22	16

Tableau A7 : Résultats d'abattement de la conductivité

Date	Conductivité entrante en $\mu\text{s/cm}$	Conductivité sortante en $\mu\text{s/cm}$
Janvier -2011	1890	1502
Février- 2011	1800	1500
MARS 2011	1760	1480
AVRI2011	1680	1380
MAI 2011	1750	1450
JUIN 2011	1600	1500
JUIL 2011	1550	1300
AUT 2011	1580	1450
SEPT 2011	1630	1380
OCT 2011	1500	990
NOV 2011	1450	1200
DEC 2011	1890	1502

LAGUNAGE DE L'AGGLOMERATION DE SIDI SAFI
Tableau A8 :Résultats d'abattement du pH

DATE	pH entrant (mg/l)	pH sortant (mg/l)
Janvier 2010	7,6	7,62
Février 2010	7,1	7,4
MARS 2010	7,4	7,61
Avril 2010	7,6	7,8
MAI 2010	7,6	7,88
JUIN 2010	7,65	7,7
JUIL 2010	7,7	7,8
Aout 2010	7,6	7,7
SEPT 2010	7,55	7,64
OCT 2010	7,3	7,6
NOV 2010	7,8	7,77
DEC 2010	7,49	7,7
Janvier -2011	7,59	7,6
Février- 2011	7,1	7,22
MARS 2011	7,48	7,59
AVRI2011	7,62	7,7
MAI 2011	7,7	7,8
JUIN 2011	7,68	7,77
JUIL 2011	7,77	7,88
AUT 2011	7,6	7,79
SEPT 2011	7,8	7,88
OCT 2011	7,4	7,58
NOV 2011	7,7	7,82
DEC 2011	7,49	7,6
Janvier 2012	7,4	7,52
Février 2012	7,39	7,4
MARS 2012	7,48	7,5
AVRI2012	7	7,3

MAI 2012	7,5	7,6
JUIN 2012	7,68	7,72
JUIL 2012	7,77	7,79
Aout 2012	7,5	7,56
SEPT 2012	7	7,5
OCT 2012	7,7	7,76

Tableau A9 : Résultats d'abattement des MES

Date	Concentration entrante (mg/l)	Concentration sortante (mg/l)
Janvier 2010	533,3	233
Février 2010	600	250
MARS 2010	450	100
Avril 2010	500	200
MAI 2010	666,7	166,7
JUIN 2010	800	100
JUIL 2010	500	150
Aout 2010	566,7	166,7
SEPT 2010	450	150
OCT 2010	300	150
NOV 2010	450	100
DEC 2010	500	100
Janvier -2011	800	233,33
Février- 2011	650	250
MARS 2011	700	200
AVRI2011	650	300
MAI 2011	350	200
JUIN 2011	700	250
JUIL 2011	400	233
AUT 2011	300	200
SEPT 2011	217	368
OCT 2011	385	283
NOV 2011	558,5	183,6

DEC 2011	375	137
Janvier 2012	204,5	120,5
Février 2012	516	174
MARS 2012	374	275
AVRI2012	340	250
MAI 2012	197,5	191,5
JUIN 2012	282,5	164
JUIL 2012	227	132,5
Aout 2012	130	119
SEPT 2012	165	138,5
OCT 2012	229	196,5

Tableau A10 : Résultats d'abattement de la demande biologique en oxygène (DBO₅)

Date	Concentration entrante (mg/l)	Concentration sortante (mg/l)
Janvier 2010	466,7	39
Février 2010	250	34,5
MARS 2010	590	37,5
Avril 2010	280	41,5
MAI 2010	391	46
JUIN 2010	945	43
JUIL 2010	410	31
Aout 2010	639,7	34,34
SEPT 2010	514,5	29,5
OCT 2010	723	43,5
NOV 2010	345,5	32,5
DEC 2010	383	41
Janvier -2011	617,7	43,33
Février- 2011	458	44,5
MARS 2011	639,5	44
AVRI2011	510,5	42,5
MAI 2011	576	44
JUIN 2011	497,5	47,5

JUIL 2011	363,7	46
AUT 2011	204	42
SEPT 2011	277	36
OCT 2011	304	42
NOV 2011	539,5	47
DEC 2011	422	43
Janvier 2012	548,5	42
Février 2012	476	32,5
MARS 2012	321	42
AVRI2012	171	41
MAI 2012	133,5	41,5
JUIN 2012	345	44
JUIL 2012	220	44,5
SEPT 2012	240	43,5
OCT 2012	174	34

Tableau A 11 : Résultats d'abattement de la demande chimique en oxygène (DCO)

Date	Concentration entrante (mg/l)	Concentration sortante (mg/l)
Janvier 2010	1111	256
Février 2010	550	240,5
MARS 2010	1075	98
Avril 2010	765	113
MAI 2010	600	74
JUIN 2010	650	97
JUIL 2010	288	130
Aout 2010	356,7	93,34
SEPT 2010	308	94
OCT 2010	483,5	110
NOV 2010	661	104,5
DEC 2010	691	112
Janvier -2011	829,3	119,3
Février- 2011	711	107

MARS 2011	939	137,5
AVRI2011	834,5	151,5
MAI 2011	724	146
JUIN 2011	938,5	150
JUIL 2011	550	157
AOUT 2011	251,5	154
SEPT 2011	329	115
OCT 2011	345,5	125
NOV 2011	527	112
DEC 2011	374	97
Janvier 2012	458	162,5
Février 2012	327	125,5
MARS 2012	272,5	138
AVRI2012	299,5	137,5
MAI 2012	201	152,5
JUIN 2012	260	146
JUIL 2012	210,5	146,5
Aout 2012	179	126
SEPT 2012	124,5	120
OCT 2012	281	161,5

Tableau A 12 : Résultats d'abattement des concentrations en NH₄

Date	Concentration entrante (mg/l)	Concentration sortante (mg/l)
Janvier 2010	140	25
Février 2010	130	20
MARS 2010	120	14,6
Avril 2010	92	30
MAI 2010	119	32
JUIN 2010	120	17
JUIL 2010	85	16
Aout 2010	100	25
SEPT 2010	80	22
OCT 2010	65	20
NOV 2010	113	24
DEC 2010	114	27

Tableau A13 : Résultats d'abattement des nitrates (NO₃)

Date	Concentration entrante (mg/l)	Concentration sortante (mg/l)
Janvier 2010	44,89	33
Février 2010	42,9	25
MARS 2010	40,8	24
Avril 2010	40	27
MAI 2010	39	20
JUIN 2010	30	21
JUIL 2010	29	15
Aout 2010	35	12
SEPT 2010	25	25
OCT 2010	35	14
NOV 2010	36	30
DEC 2010	39	20

Tableau A14 : Résultats d'abattement de la conductivité

Mois	Conductivité entrante en $\mu\text{s}/\text{cm}$	Conductivité sortante en $\mu\text{s}/\text{cm}$
Janvier -2011	1900	1400
Février- 2011	1800	1300
MARS 2011	1950	1450
AVRI2011	1800	1500
MAI 2011	1600	1480
JUIN 2011	1600	1490
JUIL 2011	1700	1500
AUT 2011	1680	1560
SEPT 2011	1500	1480
OCT 2011	1550	1400
NOV 2011	1500	1400
DEC 2011	1900	1400

LAGUNAGE DE L'AGGLOMERATION D'EL MALEH

Tableau A15 : Résultats d'abattement du pH

Date	pH entrant	pH sortant
Janvier -2011	7,55	7,62
Février- 2011	7,3	7,55
MARS 2011	7,4	7,61
AVRI2011	7,6	7,8
MAI 2011	7,7	7,83
JUIN 2011	7,78	7,72
JUIL 2011	7,68	7,78
AUT 2011	7,64	7,81
SEPT 2011	7,56	7,64
OCT 2011	7,49	7,77
NOV 2011	7,69	7,78
DEC 2011	7,53	7,8
Janvier 2012	7,55	7,62
Février 2012	7,44	7,66
MARS 2012	7,5	7,7
AVRI2012	7,6	7,8
MAI 2012	7,8	7,83
JUIN 2012	7	7,72
JUIL 2012	7,6	7
Aout 2012	7,64	7,47
SEPT 2012	7,54	7,65
OCT 2012	7,49	7,77

Tableau A 16 : Résultats d'abattement des matières en suspensions (MES)

Date	Concentration entrante mg/l	Concentration sortante mg/l
Janvier -2011	400	133,33
Février- 2011	750	200
MARS 2011	500	150
AVRI2011	500	233,33
MAI 2011	300	200
JUIN 2011	300	200
JUIL 2011	350	250
AUT 2011	450	300
SEPT 2011	200,5	91
OCT 2011	290	206
NOV 2011	311	176,5
DEC 2011	361	227
Janvier 2012	1018	333
Février 2012	853	304
MARS 2012	512	256
AVRI2012	511	171,5
MAI 2012	404	129
JUIN 2012	321	189
JUIL 2012	626,5	446
Aout 2012	682	337
SEPT 2012	744,5	388
OCT 2012	499,5	255,5

Tableau A17 : Résultats d'abattement de la demande biologique en oxygène (DBO₅)

Date	Concentration entrante (mg/l)	Concentration sortante (mg/l)
Janvier -2011	322,7	38,66
Février- 2011	366	33,5
MARS 2011	297	32
AVRI2011	514,3	44
MAI 2011	172	42,5
JUIN 2011	271	43,5
JUIL 2011	126,5	43,5
AOUT 2011	239	40
SEPT 2011	164,5	31,5
OCT 2011	158,5	35
NOV 2011	282,5	40,5
DEC 2011	255	49
Janvier 2012	541	50
Février 2012	428,5	133
MARS 2012	319,5	36
AVRI2012	207,5	41,5
MAI 2012	291,5	40
JUIN 2012	695	37
JUIL 2012	580	35,5
Aout 2012	520	44
SEPT 2012	495	39,5
OCT 2012	252	37

Tableau A 18 : Résultats d'abattement de la demande chimique en oxygène (DCO)

Date	Concentration entrante en mg/l	Concentration sortante en mg/l
Janvier -2011	376,3	91,33
Février- 2011	523,5	105
MARS 2011	454	92,5
AVRI2011	690,7	136,7
MAI 2011	286	102
JUIN 2011	475	138,5
JUIL 2011	208	127,5
AUT 2011	303	153
SEPT 2011	259	117
OCT 2011	243	137
NOV 2011	318	121,5
DEC 2011	358	108
Janvier 2012	616	136
Février 2012	378,5	36,5
MARS 2012	378	128,5
AVRI2012	366	133,5
MAI 2012	473,5	146
JUIN 2012	296	140,5
JUIL 2012	295,5	114
Aout 2012	358	144
SEPT 2012	379,5	74

Tableau A19 : Résultats d'abattent de la Conductivité

Date	conductivité entrante en $\mu\text{s}/\text{cm}$	Conductivité sortante en $\mu\text{s}/\text{cm}$
Janvier -2011	1684	1280
Février- 2011	1229	1058
MARS 2011	1118	1054
AVRI2011	1242	1115
MAI 2011	1245	1168
JUIN 2011	1445	1074
JUIL 2011	1294	1020
AUT 2011	1553	1266
SEPT 2011	1216	746
OCT 2011	1417	918
NOV 2011	1255	1032
DEC 2011	1305	1075

LAGUNAGE DE L'AGGLOMERATION DE L'AMRIA

Tableau A 20 : Résultats d'abattement du pH

Date	pH entrant	pH sortante
MAI 2011	7,9	7,8
JUIN 2011	7,68	7,77
JUIL 2011	7,77	7,88
AUT 2011	7,6	7,79
SEPT 2011	7,8	7,88
OCT 2011	7,4	7,58
NOV 2011	7,7	7,82
DEC 2011	7,49	7,6
Janvier 2012	7,4	7,52
Février 2012	7,49	7,4
MARS 2012	7,48	7,5
AVRI2012	7	7,3
MAI 2012	7,5	7,6
JUIN 2012	7,58	7,62
JUIL 2012	7,77	7,79
Aout 2012	7,5	7,56
SEPT 2012	7,6	7,9
OCT 2012	7,7	7,76

Tableau A 21 : Les résultats d'abattement des MES

Date	Concentration entrante en mg /l	Concentration sortante mg/l
MAI 2011	800	350
JUIN 2011	350	150
JUIL 2011	600	250
AUT 2011	450	250
SEPT 2011	732,5	415
OCT 2011	266	211,5
NOV 2011	394	297,5
DEC 2011	636	263
Janvier 2012	724	260
Février 2012	499,5	345
MARS 2012	915,5	609
AVRI2012	791	137
MAI 2012	1001	611,5
JUIN 2012	822	223
JUIL 2012	1008	686
Aout 2012	516	259
SEPT 2012	764	265
OCT 2012	384,5	750,5

Tableau A 22 : Résultats d'abattement de la DBO₅

Date	Concentration entrante (mg/l)	Concentration sortante (mg/l)
MAI 2011	444,5	39
JUIN 2011	416	38,5
JUIL 2011	476,5	42
AUT 2011	390,5	34
SEPT 2011	368,5	35
OCT 2011	138,5	34,5
NOV 2011	151	30
DEC 2011	537	50

Janvier 2012	432	41
Février 2012	745,5	28
MARS 2012	515,5	28,5
AVRI2012	248,5	40
MAI 2012	406	46,5
JUIN 2012	332	40
JUIL 2012	515	43,5
Aout 2012	682	44
SEPT 2012	703,5	47,5
OCT 2012	191,5	56

Tableau A 23 : Résultats d'abattement de la DCO

Date	Concentration entrante	Concentration sortante
MAI 2011	600,5	178,5
JUIN 2011	647	138,5
JUIL 2011	623	147
AUT 2011	609,5	145
SEPT 2011	623,5	146
OCT 2011	206	119,5
NOV 2011	255	117,5
DEC 2011	744	127
Janvier 2012	454	128
Février 2012	611,5	136,5
MARS 2012	762,5	153
AVRI2012	554,5	157
MAI 2012	631	177
JUIN 2012	581	149
JUIL 2012	533	154
Aout 2012	215	155
SEPT 2012	564,5	129,5
OCT 2012	369	156

Tableau A 24 : Résultats d'abattement de la Conductivité

Date	Conductivité entrante en $\mu\text{s}/\text{cm}$	Conductivité sortante en $\mu\text{s}/\text{cm}$
MAI 2011	1502	992
JUIN 2011	1239	1117
JUIL 2011	1696	664
AUT 2011	1464	1091
SEPT 2011	1202	1039
OCT 2011	1495	727
NOV 2011	1312	841
DEC 2011	1134	628

LAGUNAGE DE L'AGGLOMERATION DE HASSI EL GHALA

Tableau A 25 : Les résultats d'abattement du pH

Date	pH entrant	pH sortant
JANV 2011	7,55	7,62
FEV 2011	7,9	8
MARS 2011	7,4	7,61
AVRIL 2011	7,6	7,8
MAI 2011	7,7	7,83
JUIN 2011	7,78	7,72
JUIL 2011	8,1	7,78
AOUT 2011	7,64	7,81
SEPT 2011	7,56	7,64
OCT2011	7,49	7,77
NOV 2011	7,99	7,88
DEC 2011	7,53	7,8

Tableau A 26 : Les résultats d'abattement des MES

Date	Concentration entrante (mg/l)	Concentration sortante (mg/l)
JANV 2011	433,3	166,66
FEV 2011	450	100
MARS 2011	450	100
AVRIL 2011	500	166,66
MAI 2011	400	200
JUIN 2011	300	100
JUIL 2011	250	100
AOUT 2011	350	150
SEPT 2011	397,5	99,5
OCT2011	320,5	172
NOV 2011	198,5	170

Tableau A 27 : Les résultats d'abattement des de la DBO₅

Date	Concentration entrante (mg/l)	Concentration sortante (mg/l)
JANV 2011	216,3	34
FEV 2011	268,3	36,5
MARS 2011	162,5	27
AVRIL 2011	357	29,33
MAI 2011	181	13,5
JUIN 2011	194	22
JUIL 2011	203,5	25
AOUT 2011	206	43,5
SEPT 2011	588,5	40
OCT 2011	168,5	42
NOV 2011	232,5	45

Tableau A 28 : Les résultats d'abattement des de la NH₄

Date	Concentration entrante (mg/l)	Concentration sortante (mg/l)
JANV 2011	150	63
FEV 2011	140	60
MARS 2011	130	62
AVRIL 2011	129	62
MAI 2011	129	53
JUIN 2011	120	55
JUIL 2011	95	56
AOUT 2011	100	56
SEPT 2011	85	58
OCT2011	65	60
NOV 2011	119	57
DEC 2011	120	56

Tableau A 29 : Les résultats d 'abattement des Nitrate

Date	Concentration entrante (mg/l)	Concentration sortante (mg/l)
JANV 2011	50,6	15
FEV 2011	48,6	20
MARS 2011	49	35
AVRIL 2011	78	30
MAI 2011	35	25
JUIN 2011	48	29
JUIL 2011	39	28
AOUT 2011	40	35
SEPT 2011	46	25
OCT2011	45	28
NOV 2011	37	30
DEC 2011	41	29

Tableau A 30 : Résultats d'abattement de la DCO

Date	Concentration entrante (mg/l)	Concentration sortante (mg/l)
JANV 2011	266	100
FEV 2011	421	98,5
MARS 2011	232,5	66,5
AVRIL 2011	482,3	105,7
MAI 2011	231,5	82,5
JUIN 2011	291,5	102,5
JUIL 2011	272	97
AOUT 2011	359,5	150
SEPT 2011	824,5	147
OCT2011	221,5	110,5
NOV 2011	215,5	124,5
DEC 2011	265	110

Tableau A 31 : Résultats d'abattement de la Conductivité

Date	Conductivité entrante en $\mu\text{s}/\text{cm}$	Conductivité sortante en $\mu\text{s}/\text{cm}$
JANV 2011	1690	1290
FEV 2011	1250	1158
MARS 2011	1130	1060
AVRIL 2011	1242	1115
MAI 2011	1270	1188
JUIN 2011	1480	1034
JUIL 2011	1254	1030
AOUT 2011	1553	1266
SEPT 2011	1216	746
OCT2011	1517	1100
NOV 2011	1255	1050
DEC 2011	1385	1095

LAGUNAGE DE L'AGGLOMERATION DE SIDI SENOUSI**Tableau A 32 : Résultats d'abattement de pH**

Date	pH entré	pH sortie
JAN 2010	7,36	7,475
FEV 2010	7,41	7,845
MAR 2010	7,57	7,95
AVR 2010	7,28	8,01
MAI 2010	7,2	7,49
JUIN 2010	6,86	8,17
JUIL 2010	7,18	7,885
AOU 2010	6,98	8,165
SEPT 2010	6,95	8,1
OCT 2010	7,08	7,9
NOV 2010	7,2	7,635
DEC 2010	7,015	7,83
JANV 2011	7,29	7,585
FEV 2011	6,915	7,39
MARS 2011	7,00	7,837
AVR 2011	7,025	7,805
MAI 2011	7,00	7,97
JUIN 2011	6,85	7,487
JUIL 2011	6,95	7,555
AOUT 2011	6,98	7,785
SEPT 2011	6,87	7,425
OCT 2011	7,01	7,165
NOV 2011	7,39	7,545
DEC 2011	7,19	7,21

Tableau A 33 : Les résultats d'abattement des MES

Date	Concentration entrante mg/l	Concentration sortante mg/l
JAN 2010	541,5	59
FEV 2010	494,5	60,5
MAR 2010	594	61
AVR 2010	578,5	72
MAI 2010	546,5	62,5
JUIN 2010	460	98
JUIL 2010	460,5	105
AOU 2010	503	97,5
SEPT 2010	464	103,5
OCT 2010	311	100
NOV 2010	527	47
DEC 2010	423,5	77
JANV 2011	508	44
FEV 2011	324,5	32
MARS 2011	374,66	50,5
AVR 2011	331	106,5
MAI 2011	545,5	90,5
JUIN 2011	369	50,5
JUIL 2011	347	39,5
AOUT 2011	594,5	68,5
SEPT 2011	406,5	49
OCT 2011	332,5	30,5
NOV 2011	360	32,5
DEC 2011	423,5	48

Tableau A 34 : Les résultats d'abattement de la DBO₅

Date	Concentration entrante mg/l	Concentration sortante mg/l
JAN 2010	234,5	48,5
FEV 2010	291	84,5
MAR 2010	254	104
AVR 2010	212	85
MAI 2010	336	72
JUIN 2010	287	66,5
JUIL 2010	377,5	73,5
AOU 2010	233,5	58,5
SEPT 2010	273,5	65
OCT 2010	237	36
NOV 2010	477	49,5
DEC 2010	255	41
JANV 2011	283	34,5
FEV 2011	281,5	60,5
MARS 2011	170	55,5
AVR 2011	410,5	56
MAI 2011	218	71,5
JUIN 2011	373,33	57,66
JUIL 2011	401,5	57,5
AOUT 2011	383	64
SEPT 2011	373	63,5
OCT 2011	222,5	45
NOV 2011	149,5	38
DEC 2011	244	37

Tableau A35 : Résultats d'abattement de la DCO

Date	Concentration entrante mg/l	Concentration sortante mg/l
JAN 2010	579	108
FEV 2010	337	94,5
MAR 2010	352	112
AVR 2010	445	149,5
MAI 2010	489	121,5
JUIN 2010	786,5	152,5
JUIL 2010	635	153
AOU 2010	867	131,5
SEPT 2010	622	130,5
OCT 2010	716	141
NOV 2010	486	87
DEC 2010	401	98,5
JANV 2011	504	88
FEV 2011	559	74,5
MARS 2011	738,66	136,66
AVR 2011	755,5	167
MAI 2011	962	150,5
JUIN 2011	772,666	93,33
JUIL 2011	638	138,5
AOUT 2011	762,5	161
SEPT 2011	946,5	135
OCT 2011	737	123
NOV 2011	395,5	85,5
DEC 2011	472	89

Tableau A 36 : Les résultats d'abattement de l'NH₄

Date	Concentration entrante mg/l	Concentration sortante mg/l
JAN 2010	90	60
FEV 2010	160	70
MAR 2010	167	72
AVR 2010	125	78
MAI 2010	166	70
JUIN 2010	104	54
JUIL 2010	120	56
AOU 2010	147	37
SEPT 2010	130	30
OCT 2010	140	40
NOV 2010	80	65
DEC 2010	87	32
JANV 2011	70	50
FEV 2011	60	52
MARS 2011	100	70
AVR 2011	112	80
MAI 2011	150	68
JUIN 2011	100	59
JUIL 2011	110	60
AOUT 2011	120	62
SEPT 2011	90	60
OCT 2011	60	30,63
NOV 2011	65,2	29,3
DEC 2011	59,6	24,5

Tableau A37 : Résultats d'abattement des Nitrates

Date	Concentration entrante mg/l	Concentration sortante mg/l
JAN 2010	48,6	10
FEV 2010	41,6	17,5
MAR 2010	40	27,5
AVR 2010	70,4	39,6
MAI 2010	32,5	20,4
JUIN 2010	42	29,4
JUIL 2010	22,5	17,1
AOU 2010	37	24
SEPT 2010	46	13
OCT 2010	28	13,4
NOV 2010	37	22
DEC 2010	41	28
JANV 2011	38	20
FEV 2011	21	30
MARS 2011	29	25
AVR 2011	20	30
MAI 2011	23	38
JUIN 2011	30	35
JUIL 2011	30	35
AOUT 2011	35	37
SEPT 2011	20	30
OCT 2011	19,2	8
NOV 2011	20,6	15,9
DEC 2011	21,3	18

Tableau A38 : Résultats d'abattement de PO₄

Date	Concentration entrante mg/l	Concentration sortante mg/l
JAN 2010	39	10
FEV 2010	40	11
MAR 2010	34	7
AVR 2010	39	6
MAI 2010	38	11
JUIN 2010	40	11
JUIL 2010	41	13
AOU 2010	38	14
SEPT 2010	40	12
OCT 2010	44	13
NOV 2010	39	11
JANV 2011	40	10
FEV 2011	45	14
MARS 2011	42	13
AVR 2011	38	10
MAI 2011	37	12
JUIN 2011	40	15
JUIL 2011	37	16
AOUT 2011	44	17
SEPT 2011	37	17,5
OCT 2011	30	19,55
NOV 2011	40	14,7
DEC 2011	47,7	18,4

Tableau A39 : Résultats de la conductivité

Date	Conductivité entrante en $\mu\text{s}/\text{cm}$	Conductivité sortante en $\mu\text{s}/\text{cm}$
JANV 2011	1330,5	963
FEV 2011	1211	805
MARS 2011	1200	1031,5
AVR 2011	1479	924,33
MAI 2011	1333	1065
JUIN 2011	1403,5	784
JUIL 2011	1849,66	951,66
AOUT 2011	686,7	1097,5
SEPT 2011	1524	642,5
OCT 2011	1041	831
NOV 2011	980	879,5
DEC 2011	1033	912,5