



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche  
Scientifique  
جامعة زيان عاشور-الجلفة  
Université Ziane Achour –Djelfa  
كلية علوم الطبيعة و الحياة  
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie  
قسم علوم الفلاحيّة و البيطرية  
Département Sciences Agronomiques et Vétérinaires  
Mémoire de fin d'étude

En Vue De l'Obtention Du Diplôme De Master En

Spécialité : Eau et Environnement

Thème :

**Évaluation et possibilité de réutilisation des eaux usées  
épurées en agriculture (cas de la station d'épuration de  
la wilaya de Djelfa)**

Présenté par : MANCER Houda

SAIFIA Safia Imane

DEVANT LE JURY :

Président : M<sup>r</sup> AZOUZI Blel

Pr

Université de Djelfa

Promoteur : M<sup>r</sup> BOUTELDJAOUI Fatah

MCB

Université de Djelfa

Co-Promoteur : M<sup>r</sup> SBA Cherif

Directeur

ONA de Djelfa

Examineur : M<sup>me</sup> KHADRI Samira

MCB

Université de Djelfa

Année Universitaire 2022/2023

## *DÉDICACES*

*Je dédie ce modeste travail*

*À mes très chers parents*

*À mes frères*

*À mes sœurs*

*À toute ma famille*

*À tous qui me sont chers*

*MANCER Houda*

## *DÉDICACES*

*Je dédie ce modeste travail*

*À mes très chers parents*

*À mes frères*

*À mes sœurs*

*À toute ma famille*

*À tous qui me sont chers*

*SAIFIA Safia Imane*

## REMERCIEMENTS

*Au terme de ce travail, nous tenons à remercier vivement notre promoteur **Dr BOUTELDJAOUI Fatah** d'avoir accepté de diriger ce travail et pour ses précieux conseils pertinentes, ses critiques constructives et ses encouragements durant le déroulement de ce travail de fin d'études.*

*Nos sincères remerciements s'adressent également aux membres du jury qui ont accepté de lire et de juger ce travail :*

*Monsieur **AZOUZI Blel**, Professeur à l'Université de Djelfa pour nous avoir fait l'honneur de présider le jury.*

*Madame **KHADRI Samira**, M.C.B à l'Université de Djelfa de bien vouloir accepter d'examiner notre travail et apporter son avis et ses critiques constructives. Nos vifs remerciements à tous les enseignants des départements des Sciences Agronomiques-Vétérinaires et Biologiques qui ont participé à notre formation*

*Nos remerciements s'adressent également aux cadres et personnels des services ONA et la STEP de Djelfa en particulier Mr **SBA Cherif**, le directeur de l'ONA de Djelfa, Mr. **FATMI Mohamed**, le chef de la STEP, Mme **Younsi Amina**, responsable du Laboratoire, pour leur accueil, disponibilité et leur contribution, par les données et les documents nécessaires.*

*En fin, nous remercions toute personne ayant contribué à l'élaboration de ce travail*

## Résumé

La station d'épuration de Djelfa est une STEP par boues activées, située dans le côté nord de la ville de Djelfa dans le lieu dite Kaf Haouas, à une distance de 3 km du centre-ville Djelfa, et dont les rejets des eaux épurées sont évacués dans l'oued Mellah. L'objectif recherché dans notre travail est l'étude de la performance de la station d'épuration d'eaux usées urbaines de Djelfa, ainsi que l'étude de possibilité de réutilisation de ces eaux épurées pour l'irrigation des terres agricoles. Le contrôle de la STEP comportera le suivi des variations de l'ensemble des paramètres physicochimiques suivant : la température, la température, le pH, la conductivité électrique (CE), les Matières En Suspension (MES), la Demande Chimique en Oxygène (DCO), la Demande Biochimique en Oxygène à cinq jour (5), l'azote total (NT), les nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ), les nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ), le phosphore total (PT). L'examen du rapport DCO/DBO<sub>5</sub> (valeur moyenne =1,92) souligne bien le caractère biodégradable et l'origine domestique de ces eaux auxquelles un traitement biologique paraît tout à fait convenable.

Les résultats présentent des rendements épuratoires moyens (file existante et nouvelle file) satisfaisants de 91% des matières en suspension (MES). Le taux d'abattement de la demande chimique en oxygène (DCO) et la demande biologique en oxygène pendant 5 jours (DBO<sub>5</sub>) sont respectivement de 76,7% et de 91%. Par ailleurs, les rendements d'élimination du phosphore total varient de 17,9% à 87,1%, ce qui indique une bonne déphosphatation. En outre, l'étude des eaux épurées révèle une conformité de la majorité des paramètres physico-chimiques sont conformes aux normes de réutilisation de ces eaux en irrigation recommandées par l'Algérie et l'OMS.

**Mots clés** : Eau épurée, boues activées, indicateurs de performance, réutilisation ; STEP de Djelfa

## **Abstract**

The Djelfa wastewater treatment plant is located approximately 3 km north of the city, is designed to treat wastewater from the city of Djelfa. The plants have a nominal capacity of 270,000 population equivalents; each receives 27,800 m<sup>3</sup>/day. The objective of this work concerns the characterization of wastewater and purified water of Djelfa wastewater treatment plant (WWTP), which uses an activated sludge treatment process, in order to assess the treatment performance and the possibility of treated wastewater reuse in agricultural irrigation. The WWTP is monitored according to the following physico-chemical parameters: temperature (T), pH, electrical conductivity (EC), total suspended solids (TSS), chemical oxygen demand (COD), biochemical oxygen demand (BOD<sub>5</sub>), total nitrogen (TN), nitrite (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>), nitrate (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), total phosphorus (TP). The results showed that the average removal efficiencies of suspended solids (TSS), chemical oxygen demand (COD), and biochemical oxygen demand (BOD<sub>5</sub>) were 91%, 76.7%, and 91%, respectively. In addition, total phosphorus removal efficiencies ranged from 17.9% to 87.1%, indicating good phosphorus removal. An analysis of the COD/BOD<sub>5</sub> ratio (mean value = 1.92) indicating satisfactory biodegradability of the organic pollutants. Comparison of the analyzed physico-chemical parameters with the standards of the Official Journal of the Algerian Republic (JORA) shows that treated wastewater can be safely discharged into the natural environment. These parameters are also consistent with the JORA and WHO wastewater reuse standards for irrigation purposes.

**Key words:** Purified water, activated sludge, performance indicators, reuse; Djelfa WWTP

## الملخص

الهدف من هذا العمل هو دراسة و تقييم فعالية تطهير مياه الصرف الصحي بطريقة الحمأة النشطة في محطة معالجة مياه الصرف الصحي لمدينة الجلفة ؛ و كذلك دراسة إمكانية إعادة استخدام هذه المياه المعالجة في الري الفلاحي ، من خلال تقييم نتائج التحليلات الفيزيائية و الكيميائية و مقارنتها بمعايير جودة المياه، الصادرة عن الجريدة الرسمية للجمهورية الجزائرية و منظمة الصحة العالمية. اعتمدنا علي تحاليل المعايير التالية : درجة الحرارة، درجة الحموضة، التوصيل الكهربائي ، المواد الصلبة العالقة، مطلوبة الأوكسجين الكيميائية ، مطلوبة الأوكسجين البيوكيميائية ، النيتريت، النترات، النيتروجين الكلي، والفوسفور الكلي. أظهرت النتائج التي تم الحصول عليه أن مردودية إزالة التلوث مرضية تقدر ب 91% بالنسبة للمواد الصلبة العالقة، أما بالنسبة لمعدلات التخفيض لمطلوبة الأوكسجين الكيميائية و البيوكيميائية هي علي التوالي : 76,7% و 91%. في حين تراوح معدل إزالة الفوسفور الإجمالي من 17,9% إلى 87,1% ، مما يشير إلي مردودية مرضية لإزالة الفوسفور. بالإضافة إلي ذلك أظهرت تحاليل نوعية المياه المعالجة أن معظم المعايير الفيزيائية و الكيميائية مثل (درجة الحموضة، التوصيل الكهربائي، المواد الصلبة العالقة، مطلوبة الأوكسجين البيوكيميائية، النترات، النيتريت) مطابقة لمعايير الجودة لإعادة استخدام هذه المياه لغرض ري الأراضي الزراعية، الموصي بها من طرف الجزائر و منظمة الصحة العالمية.

الكلمات المفتاحية: المياه النقية ، الحمأة المنشطة ، مؤشرات الأداء ، إعادة الاستخدام. محطة معالجة مياه الصرف الصحي في الجلفة

## Table des matières

Dédicaces

Remerciements

ملخص

Résumé

Abstract

Table de matières

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des abréviations

Introduction générale 01

### **PARTIE 1 : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE**

#### **Chapitre I: origine et composition des eaux usées**

I.1 Introduction 04

I.2 Origines des eaux usées 04

I.2.1 Les eaux usées domestiques 04

I.2.2 Les eaux de ruissellement 04

I.2.3 Les eaux usées industrielles 05

I.2.4. Les eaux agricoles 05

I.3 Caractéristiques des eaux usées 05

I.3.1 Les matières en suspension (MES) 05

I.3.2 Les matières volatiles en suspension (MVS) 05

I.3.3 Les matières minérales (MM) 06

I.3.4 La demande biologique en oxygène (DBO<sub>5</sub>) 06

I.3.2 La demande chimique en oxygène (DCO) 06



<b>I.3.3 Les matières azotées</b>	<b>06</b>
<b>I.3.4 Les matières phosphorées</b>	<b>06</b>
<b>I.3.5 Les métaux lourds</b>	<b>07</b>
<b>I.3.6 Les micro-organismes pathogènes</b>	<b>07</b>
<b>I.4 Normes de rejet</b>	<b>08</b>
<b>I.4.1 Normes internationales de l'OMS</b>	<b>08</b>
<b>I.4.2 Normes Algériennes</b>	<b>08</b>
<b>I.5 Conclusion</b>	<b>09</b>
<b>Chapitre II: Procédés d'épuration des eaux usées</b>	
<b>II.1 Introduction</b>	<b>11</b>
<b>II.2 Procédés d'épurations des eaux usées</b>	<b>11</b>
<b>II.2.1 Prétraitement</b>	<b>11</b>
<b>II.2.1.1 Dégrillage</b>	<b>11</b>
<b>II.2.1.2 Dessablage/ Dégraissage et déshuilage :</b>	<b>13</b>
<b>II.2.3 Le traitement secondaire</b>	<b>15</b>
<b>II.2.3.1 Les procédés intensifs</b>	<b>15</b>
<b>II.2.3.1.1 Les boues activées</b>	<b>15</b>
<b>II.2.3.1.1.1 Paramètre de fonctionnement des stations à boues activées</b>	<b>17</b>
<b>II.2.3.1.2 Lits bactériens</b>	<b>19</b>
<b>II.2.3.1.3 Disques biologiques</b>	<b>20</b>
<b>II.2.3.2 Les procédés extensifs</b>	<b>20</b>
<b>II.2.3.2.1 Le lagunage</b>	<b>20</b>
<b>II.3. Traitement des boues</b>	<b>21</b>
<b>II.3.1. L'épaississement</b>	<b>21</b>
<b>II.3.1.1. Épaississement statique</b>	<b>22</b>

II.3.1.2. Épaississement par flottation	22
II.3.2. Déshydratation	22
II.3.2.1. Les filtres à bande	22
II.3.2.2. Centrifugation des boues	22
II.4. Traitement tertiaire	24
II.4.1. La désinfection	24
II.5 Conclusion	24
<b>Chapitre III: Réutilisation des eaux usées épurées</b>	
III.1 Introduction	26
III.2. Les différents usages des eaux usées traitées	26
III.2.1. Usages agricoles	26
III.2.2. Usages urbains	26
III.2.3. Usages industriels	26
III.3. Les expériences mondiales en réutilisation des eaux traitées (REUT)	27
III.3.1. La réutilisation des eaux usées traitées en Algérie	27
III.4. Critères de qualité des eaux usées pour l'irrigation	29
III.4.1. Salinité	29
III.4.2. Salinisation	29
III.4.2. Salinisation	29
III.4.4. Sodisation	29
III.4.5. Toxicité spécifique des ions	30
III.4.6. Les fertilisants dans les eaux usées traitées	30
III.4.7. Éléments traces et métaux lourds	30
III.5. Normes de réutilisation des eaux usées	32

<b>III.5.1. Normes internationales</b>	<b>32</b>
<b>III.5.2. Normes nationales</b>	<b>33</b>
<b>III.6. Méthodes d'irrigation avec les eaux usées épurées</b>	<b>33</b>
<b>III.6.1. Irrigation localisée</b>	<b>33</b>
<b>III.6.2. Irrigation par aspersion</b>	<b>33</b>
<b>III.6.3. Irrigation souterraine</b>	<b>34</b>
<b>III.6.4. Irrigation à la raie</b>	<b>34</b>
<b>III.7. Conclusion</b>	<b>41</b>

**Partie II :**

**Étude de la possibilité de valorisation agricole des eaux usées épurées :  
Étude de cas de la STEP de Djelfa**

**Chapitre IV Présentation et description de la station d'épuration de Djelfa**

<b>IV.1. Introduction</b>	<b>41</b>
<b>IV.2. Situation géographique de la STEP de Djelfa :</b>	<b>41</b>
<b>IV.3. Description des procédés d'épuration de la STEP de Djelfa</b>	<b>43</b>
<b>IV.3.1. L'épuration des eaux</b>	<b>44</b>
<b>IV.3.1.1. Prétraitement</b>	<b>44</b>
<b>IV.3.1.1.1. Dégrillage grossier</b>	<b>44</b>
<b>IV.3.1.1.2. Chenal de comptage d'eau brute</b>	<b>45</b>
<b>IV.3.1.1.3. Dégrillage fin automatique</b>	<b>46</b>
<b>IV.3.1.1.4. Chenal d'échantillonnage d'eau brute</b>	<b>46</b>
<b>IV.3.1.1.5 Dessablage –Déshuilage</b>	<b>46</b>
<b>IV.3.1.1.6. Ouvrage de Répartition/ Ecrêtage</b>	<b>47</b>
<b>IV.3.1.2. Première file (File existante)</b>	<b>48</b>
<b>IV.3.1.2.1. Traitement primaire</b>	<b>48</b>

<b>IV.3.1.2.2. Traitement biologique</b>	<b>49</b>
<b>IV.3.1.2.2.1. Bassin d'aération</b>	<b>49</b>
<b>IV.3.1.2.2.2. Décantation secondaire</b>	<b>50</b>
<b>IV.3.1.2.2.3. Poste de recirculation des boues</b>	<b>52</b>
<b>IV.3.1.2.2.3. Traitement tertiaire</b>	<b>53</b>
<b>IV.3.1.3. Deuxième file (Nouvelle file)</b>	<b>53</b>
<b>IV.3.1.3.1. Traitement primaire</b>	<b>53</b>
<b>IV.3.1.3.2. Traitement biologique</b>	<b>54</b>
<b>IV.3.1.3.2.1. Bassin d'aération</b>	<b>55</b>
<b>IV.3.1.3.2.2. Décantation secondaire (clarificateur)</b>	<b>55</b>
<b>IV.3.1.3.2.3. Poste de recirculation des boues</b>	<b>56</b>
<b>IV.3.1.3.3. Désinfection et comptage de l'eau épurée</b>	<b>57</b>
<b>IV.3.1.3.3.1. Canal de comptage et d'échantillonnage</b>	<b>57</b>
<b>IV.3.1.3.3.2. Bassin de chloration</b>	<b>57</b>
<b>IV.3.1.3.4. Ligne de traitement des boues</b>	<b>58</b>
<b>IV.3.1.3.4.2. Épaississement des boues</b>	<b>58</b>
<b>IV.3.1.3.4.2. Stabilisation des boues</b>	<b>58</b>
<b>IV.3.1.3.4.3. Déshydrations</b>	<b>59</b>
<b>IV.3.1.3.4.4. Préparation du Polymère</b>	<b>59</b>
<b>IV.3.1.3.4.5. Évacuation et stockage des boues déshydratées</b>	<b>59</b>
<b>IV.4. Conclusion</b>	<b>60</b>
<b>Chapitre V. Matériel et Méthodes</b>	
<b>V.1 Introduction</b>	<b>61</b>
<b>V.2. Méthodes d'analyse des paramètres physico-chimiques</b>	<b>61</b>
<b>V.2.1. pH et température</b>	<b>61</b>

<b>V.2.2. Conductivité électrique</b>	<b>61</b>
<b>V.2.3. Matières en suspension (MES)</b>	<b>61</b>
<b>V.2.4. Matières volatiles en suspension (MVS)</b>	<b>62</b>
<b>V.2.5. Demande biologique en oxygène (DBO<sub>5</sub>)</b>	<b>63</b>
<b>V.2.6. Demande chimique en oxygène (DCO)</b>	<b>64</b>
<b>V.2.7. Le phosphore total (PT)</b>	<b>64</b>
<b>V.2.8. Les nitrites NO<sub>2</sub><sup>-</sup></b>	<b>65</b>
<b>V.2.9. Les nitrates (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)</b>	<b>66</b>
<b>V.2.10. Mesure de l'azote Total</b>	<b>66</b>
<b>V.3. Conclusion</b>	<b>67</b>

## **Chapitre VI : Résultats et Discussion**

<b>VI.1 Introduction</b>	<b>68</b>
<b>VI.2. Étude des performances de la station d'épuration de Djelfa (2014)</b>	<b>68</b>
<b>VI.2.1. Évolution temporelle des paramètres de pollution (file existante)</b>	<b>68</b>
<b>VI.2.1.1. Température</b>	<b>68</b>
<b>VI.2.1.2. Potentiel d'hydrogène : pH</b>	<b>69</b>
<b>VI.2.1.3. Conductivité électrique (CE)</b>	<b>69</b>
<b>VI.2.1.4. Matières en suspension (MES)</b>	<b>70</b>
<b>VI.2.1.5. Oxygène dissous O<sub>2</sub></b>	<b>70</b>
<b>VI.2.1.6. Demande biologique en oxygène (DBO<sub>5</sub>)</b>	<b>71</b>
<b>VI.2.1.7. Demande chimique en oxygène (DCO)</b>	<b>72</b>
<b>VI.2.1.8. Matières azotées</b>	<b>73</b>
<b>VI.2.1.8.1. L'azote global (NGL)</b>	<b>73</b>
<b>VI.2.1.8.2. Azote kjeldahl total (NTK)</b>	<b>73</b>

<b>VI.2.1.8.3. Nitrites (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>)</b>	<b>74</b>
<b>VI.2.1.8.4. Nitrate (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)</b>	<b>74</b>
<b>VI.2.1.9. Phosphore total (PT)</b>	<b>75</b>
<b>VI.2.2. Évolution temporelle des paramètres de pollution (Nouvelle file)</b>	<b>75</b>
<b>VI.2.2.1. Température</b>	<b>75</b>
<b>VI.2.2.2. Potentiel d'hydrogène : pH</b>	<b>76</b>
<b>VI.2.2.3. Conductivité électrique (CE)</b>	<b>76</b>
<b>VI.2.2.4. Oxygène dissous O<sub>2</sub></b>	<b>77</b>
<b>VI.2.2.5. Matières en suspension (MES)</b>	<b>77</b>
<b>VI.2.2.6. Demande biologique en oxygène (DBO<sub>5</sub>)</b>	<b>78</b>
<b>VI.2.2.7. Demande chimique en oxygène (DCO)</b>	<b>79</b>
<b>VI.2.2.8. Matières azotées</b>	<b>79</b>
<b>VI.2.2.8.1. Nitrites (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>)</b>	<b>79</b>
<b>VI.2.2.8.2. Nitrate (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)</b>	<b>79</b>
<b>VI.2.2.8.3. Azote kjeldahl total (NTK)</b>	<b>80</b>
<b>VI.2.2.8.4. L'azote global (NGL)</b>	<b>81</b>
<b>VI.2.2.9. Phosphore total (PT)</b>	<b>81</b>
<b>VI.2.3. Interprétation des ratios des paramètres de pollution</b>	<b>82</b>
<b>VI.2.3.1. Ratio de biodégradabilité (DCO/DBO<sub>5</sub>)</b>	<b>82</b>
<b>VI.2.3.2. Ratio MES/DBO<sub>5</sub></b>	<b>82</b>
<b>VI.2.3.3. Ratio DCO/NTK</b>	<b>83</b>
<b>VI.2.3.4. Ratio DBO<sub>5</sub>/NTK</b>	<b>84</b>
<b>VI.2.3.5. Ratio NTK/DBO<sub>5</sub></b>	<b>84</b>
<b>VI.2.3.6. Ratio DCO/PT</b>	<b>84</b>

<b>VI.3. Étude de la faisabilité de réutilisation des eaux usées épurées de la STEP de Djelfa à des fins agricole</b>	<b>85</b>
<b>VI.3.1. File existante</b>	<b>85</b>
<b>VI.3.1.1. Potentiel d'hydrogène : pH</b>	<b>85</b>
<b>VI.3.1.2. Conductivité électrique (CE)</b>	<b>86</b>
<b>VI.3.1.3. La salinité</b>	<b>86</b>
<b>VI.3.1.4. Matières en suspension (MES)</b>	<b>88</b>
<b>VI.3.1.5. Demande biologique en oxygène (DBO<sub>5</sub>)</b>	<b>88</b>
<b>VI.3.1.6. Demande chimique en oxygène (DCO)</b>	<b>89</b>
<b>VI.3.1.7. Nitrate (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)</b>	<b>89</b>
<b>VI.3.1.8. Phosphore total (PT)</b>	<b>89</b>
<b>VI.3.2. Nouvelle file</b>	<b>90</b>
<b>VI.3.2.1. Potentiel d'hydrogène : pH</b>	<b>90</b>
<b>VI.3.2.2. Conductivité électrique (CE)</b>	<b>91</b>
<b>VI.3.2.3. La salinité</b>	<b>91</b>
<b>VI.3.2.4. Matières en suspension (MES)</b>	<b>92</b>
<b>VI.3.2.5. Demande biologique en oxygène (DBO<sub>5</sub>)</b>	<b>93</b>
<b>VI.3.2.6. Demande chimique en oxygène (DCO)</b>	<b>93</b>
<b>VI.3.2.7. Nitrate (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)</b>	<b>94</b>
<b>VI.3.2.8. Nitrites (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>)</b>	<b>94</b>
<b>VI.3.2.9. Phosphore total (PT)</b>	<b>95</b>
<b>VI.4. Conclusion</b>	<b>95</b>
<b>Conclusion générale</b>	<b>96</b>
<b>Recommandations</b>	<b>97</b>
<b>Références bibliographiques</b>	<b>102</b>





## Liste des tableaux

<b>Tableau I.1:</b>	Normes de rejets internationales (OMS)	<b>9</b>
<b>Tableau I.2:</b>	Les valeurs limitent des paramètres de rejet dans un milieu récepteur	<b>9</b>
<b>Tableau III.1:</b>	Classes de qualité de salure de l'eau d'irrigation	<b>30</b>
<b>Tableau III.2:</b>	Directives pour l'interprétation de la qualité de l'eau pour l'irrigation	<b>30</b>
<b>Tableau III.3:</b>	Tolérances relatives des plantes au bore dans l'eau d'irrigation	<b>31</b>
<b>Tableau III.4:</b>	Exemples de normes de qualité pour des eaux usées traitées destinées à au moins un des usages déférentes dans différents pays du monde	<b>36</b>
<b>Tableau III.5:</b>	Les normes Algériennes des eaux usées épurées utilisées à des fins d'irrigation- paramètres physico-chimiques	<b>39</b>
<b>Tableau III.6:</b>	Liste des cultures pouvant être irriguées avec des eaux usées épurées	<b>40</b>
<b>Tableau IV.1:</b>	Base de dimensionnement et caractéristiques de l'eau à traiter	<b>42</b>
<b>Tableau IV.2:</b>	Débits et charges polluantes à l'entrée de la STEP Djelfa	<b>43</b>
<b>Tableau IV.3:</b>	Charges polluantes à la sortie de la STEP Djelfa	<b>43</b>
<b>Tableau IV.4:</b>	Caractéristiques du dessableur/ déshuileur	<b>47</b>
<b>Tableau IV.5:</b>	Débits entrée à file existante	<b>50</b>
<b>Tableau IV.6:</b>	Charge entrante sur le traitement Biologique file existante	<b>50</b>
<b>Tableau IV.7:</b>	Dimension de bassin d'aération file existant	<b>50</b>
<b>Tableau IV.8:</b>	Paramètres de bassin d'aération file existante	<b>51</b>
<b>Tableau IV.9:</b>	Dimensions de décanteur secondaire file existante	<b>52</b>
<b>Tableau IV.10:</b>	Paramètres entrée clarificateur file existante	<b>52</b>
<b>Tableau IV.11:</b>	Débit et vitesse entrée à décanteurs primaires	<b>55</b>
<b>Tableau IV.12:</b>	Les principaux paramètres du bassin d'aération nouvelle file	<b>55</b>
<b>Tableau IV.13:</b>	Débit et vitesse entrée clarificateurs nouvelle file	<b>56</b>
<b>Tableau VI.1:</b>	Statistique descriptive des rendements épuratoires de la STEP de Djelfa (file existante) (2014)	<b>72</b>
<b>Tableau VI.2:</b>	Statistique descriptive des rendements d'élimination des paramètres de pollution STEP DJELFA (Nouvelle file) (2014)	<b>82</b>
<b>Tableau VI.3:</b>	Classes d'aptitude de l'eau à l'irrigation, modifiées d'après (USSL, 1954).	<b>87</b>
<b>Tableau VI.4:</b>	Calcul de la minéralisation (salinité) à partir de la conductivité (Rodier, 2009)	<b>87</b>

## Liste des figures

<b>Figure I.1:</b>	Les différentes formes de l'azote et les indicateurs liés	7
<b>Figure II.1:</b>	Les procédés de traitement des eaux usées	12
<b>Figure II.2:</b>	Schéma d'un traitement préliminaire d'une STEP	12
<b>Figure II.3:</b>	Dégrilleur a grille inclinée	14
<b>Figure II.4:</b>	Grille courbe	14
<b>Figure II.5:</b>	Ouvrage de dessablage-déshuilage combinés	14
<b>Figure II.6:</b>	Décanteur statique à fond raclé	16
<b>Figure II.7:</b>	Décanteur longitudinal à pont racleur	16
<b>Figure II.8:</b>	Schéma d'une station d'épuration a boue activée	17
<b>Figure II.9:</b>	Schéma de principe d'une filière de traitement par lits bactériens	19
<b>Figure II.10:</b>	Configuration du procédé lit bactérien	19
<b>Figure II.11:</b>	Schéma de principe de la mise en ouvre de disques biologiques	20
<b>Figure II.12:</b>	Cycle biologique d'une lagune	21
<b>Figure II.13:</b>	Le lagunage aéré	21
<b>Figure II.14:</b>	Coupe longitudinal d'un épaisseur gravitaire	22
<b>Figure II.15:</b>	Coupe schématique d'un flottateur	23
<b>Figure II.16:</b>	Filtre à bandes presseuses	23
<b>Figure II.17:</b>	Centrifugeuse	23
<b>Figure III.1:</b>	Répartition par usage et localisation des expériences mondiales les plus importantes en REUT	26
<b>Figure III.2:</b>	Évolution du nombre des STEP et stations de lagunage en Algérie	27
<b>Figure III.3:</b>	Statistiques sur les eaux usées épurées en Algérie	27
<b>Figure III.4:</b>	Classification des métaux lourds en fonction des risques et de l'intérêt agronomique	29
<b>Figure III.5:</b>	Schéma d'une installation de réseau goutte à goutte	33
<b>Figure III.6:</b>	Schéma de principe du réseau d'irrigation au goutte à goutte	34
<b>Figure III.7:</b>	Irrigation par aspersion	34
<b>Figure III.8:</b>	Irrigation par aspersion	35
<b>Figure III.9:</b>	Irrigation a la raie	35
<b>Figure IV.1:</b>	Vue en plan du projet STEP Djelfa	42
<b>Figure IV.2:</b>	Schéma général représentatif de la STEP de Djelfa	44
<b>Figure IV.3:</b>	Dégrilleur grossier automatique	45
<b>Figure IV.4:</b>	Dégrillage fin automatique	46
<b>Figure IV.5:</b>	Préleveur d'échantillons automatique	47
<b>Figure IV.6:</b>	Dessableur/Déshuileur	48
<b>Figure IV.7:</b>	Répartiteur	48
<b>Figure IV.8:</b>	Décanteur primaire file existant	49
<b>Figure IV.9:</b>	Bassin d'aération file existant	51
<b>Figure IV.10:</b>	Décanteur secondaire (clarificateur) file existante	53
<b>Figure IV.11:</b>	Station de chloration file existante	54
<b>Figure IV.12:</b>	Décanteur primaire nouvelle file	54
<b>Figure IV.13:</b>	Bassin d'aération nouvelle file	56
<b>Figure IV.14:</b>	Décanteur secondaire nouvelle file	57
<b>Figure IV.15:</b>	Station de chloration nouvelle file	58
<b>Figure IV.16:</b>	Épaississeur des boues	59
<b>Figure IV.17:</b>	Tables et presses à bandes	60
<b>Figure V.1:</b>	Matériel utilisés pour déterminer les MES.	63
<b>Figure V.2:</b>	DBO mètre	64
<b>Figure V.3:</b>	Matériels utilisés pour déterminer la DCO.	65

<b>Figure VI.1:</b>	Évolution de la température mensuelle moyenne	<b>68</b>
<b>Figure VI.2:</b>	Variation des valeurs moyennes mensuelles du pH	<b>69</b>
<b>Figure VI.3:</b>	Évolution de la moyenne mensuelle de la conductivité électrique (CE)	<b>69</b>
<b>Figure VI.4:</b>	Évolution de la moyenne mensuelle de matières en suspension (MES)	<b>70</b>
<b>Figure VI.5:</b>	Évolution moyenne mensuelle de la teneur en oxygène dissous (O <sub>2</sub> )	<b>71</b>
<b>Figure VI.6:</b>	Évolution moyenne mensuelle de DBO <sub>5</sub> en mg d'O <sub>2</sub> /l	<b>71</b>
<b>Figure VI.7:</b>	Évolution de la moyenne mensuelle de la DCO en mg d'O <sub>2</sub> /l	<b>72</b>
<b>Figure VI.8:</b>	Évolution des valeurs moyennes mensuelles de NGL	<b>73</b>
<b>Figure VI.9:</b>	Évolution des valeurs moyennes mensuelles de NTK	<b>73</b>
<b>Figure VI.10:</b>	Évolution des valeurs moyennes mensuelles de (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	<b>74</b>
<b>Figure VI.11:</b>	Évolution des valeurs moyennes mensuelles de (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	<b>75</b>
<b>Figure VI.12:</b>	Évolution des valeurs moyennes mensuelles de PT	<b>75</b>
<b>Figure VI.13:</b>	Évolution de la température mensuelle moyenne (Nouvelle file)	<b>76</b>
<b>Figure VI.14:</b>	Variation des valeurs moyennes mensuelles du pH (Nouvelle file)	<b>76</b>
<b>Figure VI.15:</b>	Évolution de la moyenne mensuelle de la conductivité électrique (CE)	<b>77</b>
<b>Figure VI.16:</b>	Évolution moyenne mensuelle de la teneur en oxygène dissous (O <sub>2</sub> ) (Nouvelle file)	<b>77</b>
<b>Figure VI.17:</b>	Évolution de la moyenne mensuelle de matières en suspension (MES) (Nouvelle file)	<b>78</b>
<b>Figure VI.18:</b>	Évolution moyenne mensuelle de DBO <sub>5</sub> en mg d'O <sub>2</sub> /l (Nouvelle file)	<b>78</b>
<b>Figure VI.19:</b>	Évolution de la moyenne mensuelle de la DCO en mg d'O <sub>2</sub> /l (Nouvelle file)	<b>79</b>
<b>Figure VI.20:</b>	Évolution des valeurs moyennes mensuelles de (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ) (Nouvelle file)	<b>79</b>
<b>Figure VI.21:</b>	Évolution des valeurs moyennes mensuelles de (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) (Nouvelle file)	<b>80</b>
<b>Figure VI.22:</b>	Évolution des valeurs moyennes mensuelles de NTK (Nouvelle file)	<b>80</b>
<b>Figure VI.23:</b>	Évolution des valeurs moyennes mensuelles de NGL (Nouvelle file)	<b>81</b>
<b>Figure VI.24:</b>	Évolution des valeurs moyennes mensuelles de PT (Nouvelle file)	<b>81</b>
<b>Figure VI.25:</b>	Variation de ratio DCO/DBO <sub>5</sub> à l'entrée de la STEP de Djelfa (2014)	<b>82</b>
<b>Figure VI.26:</b>	Variation de ratio MES/DBO <sub>5</sub> à l'entrée de la STEP de Djelfa (2014)	<b>83</b>
<b>Figure VI.27:</b>	Variation de ratio DCO/NTK à l'entrée de la STEP de Djelfa (2014)	<b>83</b>
<b>Figure VI.28:</b>	Variation de ratio DBO <sub>5</sub> /NTK à l'entrée de la STEP de Djelfa (2014)	<b>84</b>
<b>Figure VI.29:</b>	Variation de ratio NTK/DBO <sub>5</sub> à l'entrée de la STEP de Djelfa (2014)	<b>84</b>
<b>Figure VI.30:</b>	Variation de ratio DCO/PT à l'entrée de la STEP de Djelfa (2014)	<b>85</b>
<b>Figure VI.31:</b>	Variation de pH de l'eau à la sortie de la STEP (REUE)	<b>85</b>
<b>Figure VI.32:</b>	Variation de la conductivité électrique à la sortie de la STEP (REUE)	<b>86</b>
<b>Figure VI.33:</b>	Variation de la salinité à la sortie de la STEP (REUE)	<b>87</b>
<b>Figure VI.34:</b>	Variation de MES à la sortie de la STEP (REUE)	<b>88</b>
<b>Figure VI.35:</b>	Variation de la DBO <sub>5</sub> à la sortie de la STEP (REUE)	<b>88</b>
<b>Figure VI.36:</b>	Variation de la DCO à la sortie de la STEP (REUE)	<b>89</b>
<b>Figure VI.37:</b>	Variation de nitrates à la sortie de la STEP (REUE)	<b>90</b>
<b>Figure VI.38:</b>	Variation de phosphore total (PT) à la sortie de la STEP (REUE)	<b>90</b>
<b>Figure VI.39:</b>	Variation de pH de l'eau à la sortie de la STEP (REUE)	<b>91</b>
<b>Figure VI.40:</b>	Variation de la conductivité électrique à la sortie de la STEP (REUE)	<b>91</b>
<b>Figure VI.41:</b>	Variation de la salinité à la sortie de la STEP (REUE)	<b>92</b>
<b>Figure VI.42:</b>	Variation de MES à la sortie de la STEP (REUE)	<b>92</b>
<b>Figure VI.43:</b>	Variation de la DBO <sub>5</sub> à la sortie de la STEP (REUE)	<b>93</b>
<b>Figure VI.44:</b>	Variation de la DCO à la sortie de la STEP (REUE)	<b>93</b>
<b>Figure VI.45:</b>	Variation de nitrates à la sortie de la STEP (REUE)	<b>94</b>
<b>Figure VI.46:</b>	Variation de nitrites à la sortie de la STEP (REUE)	<b>94</b>
<b>Figure VI.47:</b>	Variation de phosphore total (PT) à la sortie de la STEP (REUE)	<b>95</b>

## Liste des abréviations

<b>Cm :</b>	Charge massique
<b>Cv:</b>	Charge volumique
<b>DBO<sub>5</sub> :</b>	Demande Biologique en Oxygène pendant 5 jours
<b>DCO :</b>	Demande Chimique en Oxygène
<b>EH :</b>	Equivalent habitant
<b>FAO:</b>	Food and Agricultural Organisation
<b>IM :</b>	Indice de Molhman
<b>JORA</b>	Journal Officiel de la République Algérienne
<b>MES :</b>	Matières en suspension
<b>MVS :</b>	Matière volatile en suspension
<b>NGL :</b>	Azote global
<b>NTK :</b>	Azote total Kjeldahl
<b>NH<sub>4</sub><sup>+</sup> :</b>	Azote ammoniacal
<b>NO<sub>2</sub><sup>-</sup> :</b>	Nitrites
<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup> :</b>	Nitrates
<b>OMS</b>	Organisation Mondiale de la Santé
<b>ONA</b>	Office National de l'Assainissement
<b>PT :</b>	Phosphore Total
<b>REUE</b>	Réutilisation des eaux usées épurées
<b>SAR :</b>	Sodium Adsorption Ratio
<b>STEP</b>	Station d'épuration
<b>USEPA:</b>	United States Environmental Protection Agency
<b>µS:</b>	Micro siemens

# *INTRODUCTION GÉNÉRALE*

## Introduction générale

### Introduction générale

#### I. Contexte et problématique

L'accès durable aux ressources en eau est une préoccupation majeure dans tous les pays du monde (BOUCHAALA et al., 2017). Située sur la rive sud de la Méditerranée, l'Algérie est parmi les pays les plus pauvres en matière de potentialités hydriques. Le seuil théorique de rareté fixé par la Banque Mondiale est de 1000 m<sup>3</sup>/hab/an; si en 1962, la disponibilité théorique en eau était de 1500 m<sup>3</sup>/hab/an, elle ne sera plus que de 430 m<sup>3</sup>/hab/an en 2020 (PNUD, 2009). Les changements climatiques que subit l'Algérie ces dernières années, l'accroissement démographique et le développement de l'urbanisation ont conduit à une importante baisse des réserves en eau mobilisable pour les usages domestiques et agricoles.

Afin d'atteindre l'équilibre de la répartition des ressources en eau et réconcilier entre les besoins domestiques et les besoins en irrigation, le recours à la réutilisation des eaux usées épurées (REUE) constitue une alternative incontestable (MRE, 2004; Hartani, 2004). Selon DJAFFAR et KETTAB (2018) la nouvelle politique de l'eau accorde une place importante aux ressources non conventionnelles dont font partie les eaux usées épurées.

En Algérie la pratique de la réutilisation des eaux usées traitées et notamment dans le secteur agricole date des années 1990 (BENAZIZA et al., 2023). Le volume des eaux usées rejetées à l'échelle nationale est estimé actuellement à près de 900 millions de m<sup>3</sup>/an et dépassera 1,5 milliards de m<sup>3</sup>/an, au courant de la décennie qui suit (MRE, 2010). Le potentiel de réutilisation des eaux usées épurées à des fins agricoles a connu une évolution significative où environ 17 millions de m<sup>3</sup> ont été enregistrés en 2011, environ 45 millions de m<sup>3</sup> en 2012 et 300 millions de m<sup>3</sup> en 2014 (MRE, 2012; ONA, 2014).

Dans ce contexte, différents programmes de réalisation et de réhabilitation des stations d'épurations ont été mis en place, aboutissant à l'accroissement du parc des STEP; qui n'en comptait que 12 unités en service en 2000, avec une capacité d'épuration qui ne dépassait pas 90 millions de m<sup>3</sup>/an. Un nombre de 177 systèmes épuratoires en fonctionnement avec une capacité de 6 millions équivalent-habitant (EH) en 2016 pour atteindre, à l'horizon 2020, 270 unités épuratoires avec une capacité de près de 1300 millions de m<sup>3</sup> par an (ONA, 2019).

**La région d'étude :** La Wilaya de Djelfa se caractérise par un climat semi-aride à aride avec de très faibles précipitations et un fort pouvoir évaporant de l'air. Il s'agit d'une région à vocation pastorale mais où l'agriculture est néanmoins omniprésente (OUANOUKI B, 2012).

## Introduction générale

Tous les projets de développement qu'a connu la wilaya de Djelfa, se sont toujours heurtés à la disponibilité de l'eau (OUANOUKI B, 2012). L'eau n'étant pas une ressource illimitée, il faudra impérativement inverser la tendance d'une stratégie d'ajustement de l'offre sur la demande de façon à ce que cette dernière dépende de l'offre tout en veillant à assurer le succès d'autres formes d'utilisation de ressources non conventionnelles telles l'utilisation des eaux usées traitées (OUANOUKI B, 2014).

Dans la wilaya de Djelfa, les eaux usées sont principalement d'origine domestique, collectées et acheminées vers la station d'épuration de Djelfa pour être traitées, dans le but de réduire les charges polluantes. Une fois traitées, ces eaux sont rejetées dans l'oued Mellah (HAOUATI, 2005).

### II. Objectifs de de l'étude

- Évaluer la qualité des eaux épurées par le procédé des boues activées, les performances épuratoires et les rendements de la station d'épuration de la ville de Djelfa à travers des analyses chimiques et physico-chimiques et leurs comparaisons aux normes permettent leurs rejets dans l'environnement naturel. Les paramètres ciblés sont : le pH, la température, la conductivité électrique, la salinité, DBO<sub>5</sub>, DCO, MES, l'oxygène dissous (O<sub>2</sub>), les matières azotées (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), Ortho phosphate.
- Étude de la possibilité de la réutilisation des eaux usées traitées en agriculture.

### III. Structure du mémoire

Ce travail est structuré comme suit :

#### Introduction générale

**Partie I:** Synthèse bibliographique, comporte trois chapitres :

**Le premier chapitre:** traite les généralités sur les eaux usées, a pour objectif de donner une idée sur les origines et la pollution des eaux usées, leurs caractéristiques, et les normes de rejet.

**Le deuxième chapitre:** traite les différents procédés d'épuration des eaux usées que doivent subir avant d'être rejetées dans le milieu naturel.

**Le troisième chapitre:** Il s'agit d'une synthèse de connaissances sur les expériences de la réutilisation agricole des eaux usées brutes et épurées dans le monde et en Algérie, ainsi que leurs avantages (environnementaux et socio-économiques) et les inconvénients dans le domaine agricole.

## **Introduction générale**

**Partie II** : Comporte trois chapitres

Le **premier chapitre** est consacré à la description et au fonctionnement de la STEP de Djelfa.

Le **deuxième chapitre** donne le matériel et les méthodes analytiques utilisées dans cette étude.

Le **troisième chapitre** présente les résultats expérimentaux trouvés et leurs interprétations

Enfin, une **conclusion générale**, complétée par des recommandations, afin de voir la possibilité de réutiliser les effluents traités en agriculture en toute sécurité.



*PARTIE I*

*SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUES*

*CHAPITRE I*

*ORIGINE ET COMPOSITION DES*

*EAUX USÉES*

**I.1 Introduction :**

Les eaux usées, aussi appelées eaux résiduaires, sont des eaux qui ont subi une détérioration de leurs caractéristiques naturelles (physique, chimique ou biologique) après usage lié de façon directe ou indirecte aux activités humaines (**FIDELE, 2020**). Les eaux usées sont des milieux extrêmement complexes, altérées par les activités anthropiques à la suite d'un usage domestique, industriel, artisanal, agricole ou autre. Elles sont considérées comme polluées et doivent être donc traitées avant toute réutilisation ou injection dans les milieux naturels récepteurs (**ADJEROUD ; 2016**).

Le rejet des eaux usées chargées en substances polluantes dans l'environnement, sans aucun traitement préalable est un motif de préoccupation croissant compte tenu des effets indésirables qu'elles peuvent engendrer sur la santé humaine, la flore et la faune La pollution représente un sérieux problème pour l'environnement à cause des rejets déversés dans le milieu naturel (**TANSAOUT, 2021**).

**I.2 Origines des eaux usées :**

Les eaux usées proviennent de quatre sources principales : les eaux domestiques, les eaux industrielles, les eaux agricoles et les eaux de ruissellement (**DJEDDI, 2007; BAKIRI ; 2007; BENYEROU, 2021**):

**I.2.1 Les eaux usées domestiques :**

Elles proviennent des différents usages domestiques de l'eau, elles sont généralement véhiculées par le réseau d'assainissement jusqu'à la station d'épuration. Elles se répartissent en eaux ménagères : qui ont pour origine les salles de bains et les cuisines, et sont chargées de détergents, de graisses, de solvants, de débris organiques (**BETAOUAF, 2012; BENALI et THAMER ; 2019, BOUMALEK ; 2014**). Et en eaux vannes d'évacuation de toilette, chargées de diverses matières organiques azotées et de germes fécaux (**TANSAOUT, 2021**).

**I.2.2 Les eaux de ruissellement**

Les eaux pluviales, aussi appelées eaux de ruissellement, sont constituées des eaux de surfaces imperméables. Elles proviennent des eaux de pluies des toitures, des eaux de lavage de voiries et parkings, des eaux de drainages qui ne s'infiltrent pas dans la partie superficielle du sol (**FIDELE, 2020**).

**I.2.3 Les eaux usées industrielles :**

Les caractéristiques de ces eaux sont variables et sont directement liées au type d'industrie (**TANSAOUT, 2021**). La charge polluante peut contenir, outre que le phosphore et l'azote, d'autres substances polluantes, des métaux lourds (traitements de surface, métallurgie) , des hydrocarbures (raffineries), des produits chimiques, des produits phytosanitaires, des substances radioactives, les eaux de refroidissement des chaudières et centrales nucléaires, les graisses (industries agroalimentaires, équarrissage);etc (**YAKOUBI K et SAMI ; 2016; SAADI et LAHMAR ; 2018; TANSAOUT, 2021; NANI et al., 2021; OURTELLI et BRAHIMI 2013** ).

**I.2.4. Les eaux agricoles :**

Elles proviennent du lessivage des terres cultivées chargés d'engrais et de pesticides. L'utilisation extensive de ces produits est à l'origine de la présence des nitrates, des phosphates et des éléments traces métalliques (Zn, Cu, Pb, ect.) dans ces eaux (**BENKADDOUR; 2018 BAKIRI, 2007**).

**I.3 Caractéristiques des eaux usées :**

Pour apprécier le degré de la pollution de l'eau, différents paramètres physico-chimiques sont utilisés.

**I.3.1 Les matières en suspension (MES) :**

Les matières en suspension (MES) correspondent aux matières insolubles contenues dans l'eau (**LAMECHE ; 2011; BOUANANI et TEBBAL ; 2013**). Elle constitue une pollution solide et responsable de l'aspect trouble de l'eau (turbidité) qui empêche la pénétration de la lumière nécessaire à la vie aquatique (**VEOLIA EAU, 2008**). Les concentrations en M.E.S dans les eaux usées sont très variables et sont de l'ordre de 100 à 300 mg/l (**VEOLIA EAU, 2008**).

**I.3.2 Les matières volatiles en suspension (MVS) :**

Elle représente une fraction organique des matières en suspension et constituent environ 70 à 80 % des M.E.S (**DJEBALI ; 2008**). Elle est mesurée par calcination à une température de 525°C pendant 2 heures (**BOUDHANE et AHMED; 2016; MIRA, 2008**).

### I.3.3 Les matières minérales (MM) :

Elles représentent le résultat d'une évaporation totale de l'eau, c'est-à-dire son extrait sec constitue à la fois par les matières en suspension et les matières solubles telles que les chlorures, les phosphates, etc (YAKOUBI K et SAM, 2016; LAMECHE, 2011).

### I.3.4 La demande biologique en oxygène (DBO<sub>5</sub>) :

La DBO représente la concentration d'oxygène consommé à 20 °C, dans l'obscurité, durant 5 jours (DBO<sub>5</sub>), pour assurer par voie biologique l'oxydation des matières organiques biodégradables présentes dans l'eau : elle correspond aux phases d'assimilation et de synthèse biologique (BETAOUAF, 2012; BEDOUH, 2014).

### I.3.2 La demande chimique en oxygène (DCO) :

La demande chimique en oxygène (DCO) est une analyse strictement chimique qui représente la quantité de matière organique biodégradable et non biodégradable de l'échantillon (FIDELE, 2020, BENALI et THAMER, 2019). La DCO permet d'estimer la quantité des matières chimiquement oxydables (en particuliers certains sels minéraux oxydables et la majeure partie des composés organiques) (KECHIT et NEKICHE ; 2020).

Le rapport DCO/DBO représente celui de biodégradabilité de l'effluent. L'effluent est biodégradable quand son rapport est compris dans l'intervalle de  $1 < \text{DCO} / \text{DBO} < 3$ , et quand il est supérieur à 3, l'effluent est non biodégradable (VEOLIA EAU, 2008).

### I.3.3 Les matières azotées :

L'azote présent dans les eaux résiduaires peut avoir un caractère organique ou minéral. L'azote minéral se présente sous la forme d'ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ), de nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) et de nitrites ( $\text{NO}_2^-$ ) (ATINKPAHOUN, 2018; BOUDHANE et AHMED ; 2016). L'azote organique est principalement constitué des composés tels que les protéines, les polypeptides, les acides aminés, l'urée. L'ensemble de l'azote ammoniacal et de l'azote organique (formes réduites de l'azote) constitue l'azote Kjeldahl (NTK) (Figure I.1) (ATINKPAHOUN, 2018). L'azote global (NGL) est constitué de l'azote total Kjeldahl (NTK), de nitrate, et du nitrite (FIDELE, 2020).

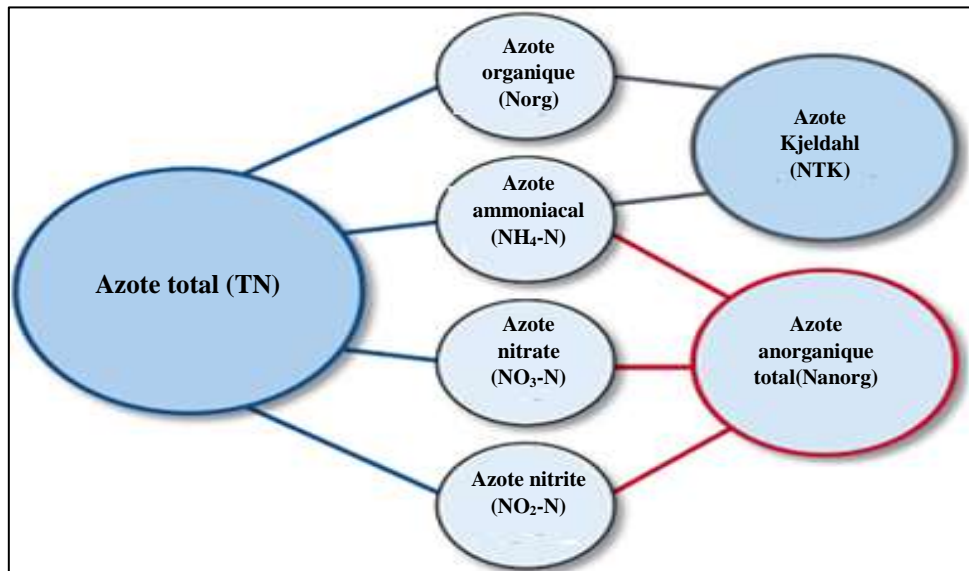
### I.3.4 Les matières phosphorées :

Le phosphore dans les eaux usées se présente sous les formes d'orthophosphates ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), de polyphosphates (phosphates inorganiques condensés), de phosphate organique (atomes de

phosphore lié à la matière organique) (BOUANANI et TEBBAL, 2013; MANSOUR ; 2016). Les phosphores minéraux (orthophosphates) présentent 60 à 80 % des phosphates totaux ( $P_2O_5$ ) (VEOLIA EAU, 2008). La présence du phosphore dans les effluents industriels provient surtout des détergents, des engrais et de la décomposition de la matière organique (VEOLIA EAU, 2008).

### I.3.5 Les métaux lourds :

Les eaux usées comme les eaux pluviales contiennent aussi des métaux lourds, Parmi les métaux lourds, on peut citer : Plomb (Pb), Aluminium (AL), Cadmium(Cd), Cuivre (Cu), Chrome (Cr), Nickel (Ni) et Zinc(Zn) (DAOUD et THOUBI, 2012; LAMRI ; 2017, FERMAS et LAMHACHHECHE ; 2020). Ces métaux pouvant freiner, gêner ou encore annuler le processus d'épuration biologique (TANSAOUT, 2021).



**Figure I.1** : Les différentes formes de l'azote et les indicateurs liés (BOUANANI et TEBBAL, 2013)

### I.3.6 Les micro-organismes pathogènes :

L'ensemble de ces organismes peut être classé en quatre grands groupes : les bactéries, les virus, les protozoaires et les helminthes (KROUCHI ; 2016; ZAIRI et BESSALAH, 2021). Les organismes pathogènes transmis par l'eau provoquent généralement des diarrhées et des gastro-entérites, mais parfois des maladies dangereuses comme le choléra ou la salmonellose (BENYEROU ; 2021). Les analyses microbiologiques réalisées en laboratoire ont pour but de détecter et évaluer la présence dans les eaux de microbes pathogènes. Ces analyses reposent

sur la recherche dans les eaux de bactéries indicatrices de leur éventuelle contamination fécale, les *Escherichia coli* (*E. coli*) et les Entérocoques (ATINKPAHOUN, 2018).

#### I.4 Normes de rejet

La norme est représentée par un chiffre qui fixe une limite supérieure à ne pas dépasser, ou une limite inférieure à respecter. Un critère donné est rempli lorsque la norme est respectée pour un paramètre donné. Une norme est fixée par une loi, une directive, un décret-loi (ALEM, 2016).

##### I.4.1 Normes internationales de l'OMS

L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) est considérée comme la plus haute autorité dans le domaine de la santé et donne des recommandations au niveau mondial en 1989. Les normes internationales selon l'organisation mondiale de la santé pour les eaux usées sont représentées dans le tableau I.1 :

**Tableau I.1 : Normes de rejets internationales (OMS, 1989).**

Paramètres	Unités	Normes (OMS)
pH	-	6.5-8.5
DBO <sub>5</sub>	mg/l	<30
DCO	mg/l	<90
MES	mg/l	<20
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	mg/l	<0,5
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	mg/l	1
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/l	<1
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	mg/l	<2
Température T	°C	<30
Couleur	-	Incolore
Odeur	-	Inodore

##### I.4.2 Normes Algériennes

Les exigences concernant les rejets dans le milieu naturel des eaux résiduaires urbaines et industrielles ou par les stations d'épuration des eaux usées sont fixées par les décrets exécutifs n° 06-141 du 19 Avril 2006 et n°10-23 du 12 janvier 2010. Notons que le décret exécutif n° 06-141 du 19 Avril 2006 fixe les valeurs limite de rejet d'effluents liquides industriels. Cependant, ce décret ne spécifie pas d'une manière claire les normes des différentes eaux

usées (industrielles, urbaines, etc.), qui devraient être données en fonction des charges traitées et calculées pendant 24 heures (BAKIRI, 2007). Selon les normes Algériennes les valeurs limites maximales de rejet d'effluents sont regroupées dans le **tableau I.2**.

**Tableau I.2** : Les valeurs limitent des paramètres de rejet dans un milieu récepteur (**Journal Officiel de la République Algérienne N°26, 23 Avril 2006**).

<b>Paramètres</b>	<b>Unités</b>	<b>Valeurs Limites</b>
<b>Température</b>	C°	30
<b>pH</b>	-	6,5 à 8,5
<b>MES</b>	mg /l	35
<b>DBO5</b>	mg/l	35
<b>DCO</b>	mg/l	120
<b>Azote Kjeldal</b>	mg/l	30
<b>Phosphates</b>	mg/l	2
<b>Phosphore total</b>	mg/l	10
<b>Cyanures</b>	mg/l	0,1
<b>Aluminium</b>	mg/l	3
<b>Cadmium</b>	mg/l	0,2
<b>Fer</b>	mg/l	3
<b>Manganèse</b>	mg/l	1
<b>Mercure total</b>	mg/l	0,01
<b>Nickel total</b>	mg/l	0,5
<b>Plomb total</b>	mg/l	0,5
<b>Cuivre total</b>	mg/l	0,5
<b>Zinc total</b>	mg/l	3
<b>Huiles et graisses</b>	mg/l	20
<b>Hydrocarbures totaux</b>	mg /l	10
<b>Indice phénols</b>	mg/l	0,3
<b>Fluor et composés</b>	mg/l	15
<b>Etain total</b>	mg/l	2
<b>Composés organiques chlorés</b>	mg/l	5
<b>Chrome total</b>	mg/l	0.5



<b>(*)Chrome III+</b>	mg/l	03
<b>(*)Chrome VI+</b>	mg/l	0,1
<b>(*)Solvants organiques</b>	mg/l	20
<b>(*)Chlore actif</b>	mg/l	1,0
<b>(*)PCB</b>	mg/l	0,001
<b>(*)Détergents</b>	mg/l	2
<b>(*)Tensioactifs anioniques</b>	mg/l	10

### **I.5 Conclusion :**

Dans ce chapitre, nous avons présenté une généralité des eaux usées, l'origine et la composition des eaux usées, le type et le paramètre de pollution, ainsi que les normes de rejet dans le milieu récepteur. Les eaux usées contiennent de nombreux éléments polluants, provenant des activités domestiques, industrielles, et agricoles. Ces eaux usées se caractérisent par des paramètres physico-chimiques et bactériologiques, qui permettent de déterminer leurs charges polluantes. Ces eaux polluées doivent être traitées avant toute réutilisation ou rejet dans les milieux naturels récepteurs. Pour cela, les eaux usées sont acheminées vers une station d'épuration où elles subissent plusieurs phases de traitement qui nous permettra au final d'obtenir une eau épurée conformes aux normes de rejet. Ces traitements sont susceptibles de résoudre les différents problèmes de pollution des milieux aquatiques récepteurs.

*CHAPITRE II*

*PROCÉDÉS D'ÉPURATION DES*

*EAUX USÉES*

## II.1 Introduction :

Les eaux usées qu'elles soient d'origine domestique ou industrielle, sont collectées par un réseau d'assainissement complexe pour être dirigées et traitées dans une station d'épuration, avant d'être rejetées dans le milieu naturel. Selon le degré d'élimination de la pollution et les procédés mise en œuvre, plusieurs niveaux de traitement sont définis les prétraitements le traitement primaire, le traitement secondaire et le traitement tertiaire.

Dans le chapitre présent nous décrivons les étapes fondamentales d'épuration et ainsi que les procédés mis en jeu pour chaque stade.

## II.2 Procédés d'épurations des eaux usées :

Le traitement des eaux usées comprend plusieurs étapes : le prétraitement, le traitement primaire, le traitement secondaire, le traitement tertiaire, le traitement des boues, et le traitement des odeurs (**Figure II.1**) (**BOUMEDIENE, 2013; ATINKPAHOUN, 2018**). Les eaux usées domestiques ou industrielles sont dépolluées avant leur déversement dans le milieu récepteur, en respectant les normes de rejet.

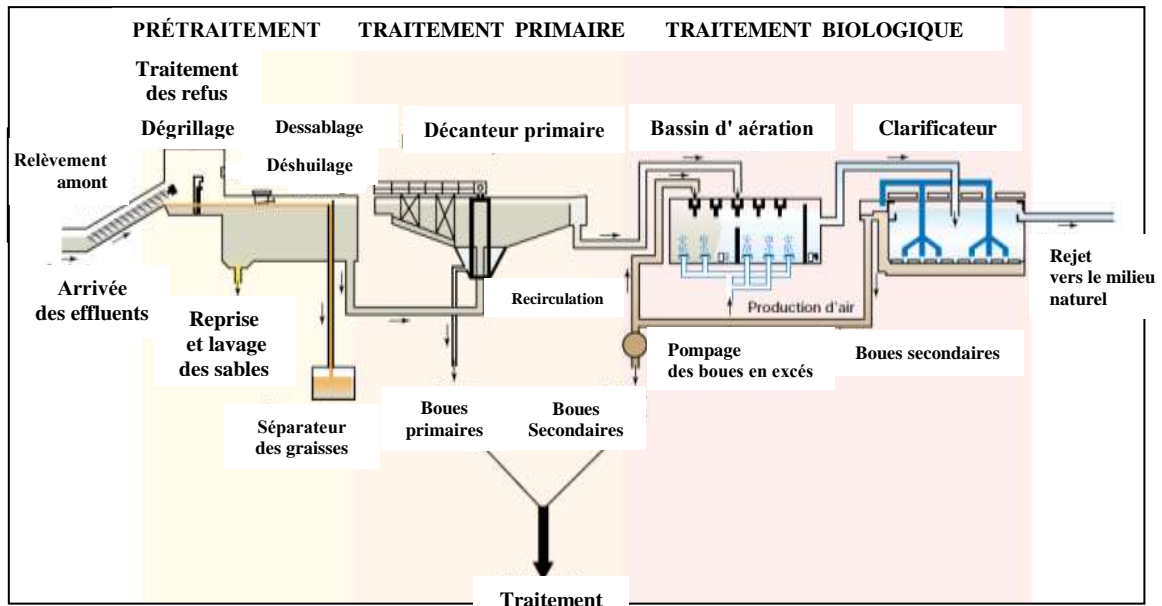
### II.2.1 Prétraitement :

Un prétraitement physique de l'effluent, qui a pour objectif d'extraire de l'eau les gros déchets en suspension ou en flottation. Parmi les méthodes de séparation primaires, les plus courantes sont : le dégrillage, le dessablage et le déshuilage (**Figure II.2**) (**BOUMEDIENE ; 2013**).

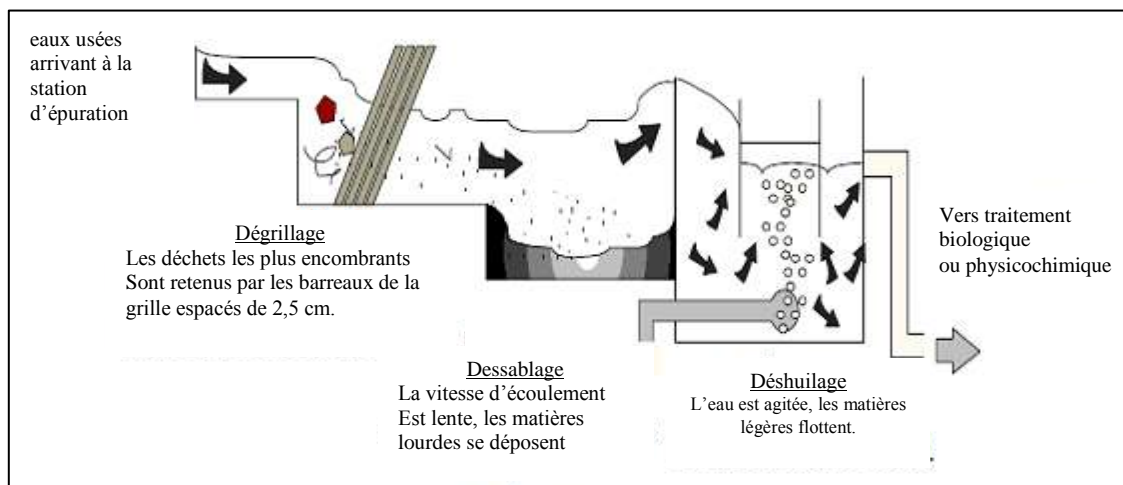
#### II.2.1.1 Dégrillage :

Le dégrillage, premier poste de traitement de l'effluent brut, sert à retenir les déchets volumineux (corps flottants et gros déchets tel que des branchages et des cailloux), à travers des grilles de mailles différentes (**FIDELE, 2020**). En fonction de l'écartement entre les barreaux de la grille, on peut distinguer les opérations telles que le pré dégrillage, le dégrillage moyen, le dégrillage fin, et le tamisage (**BOUMEDIENE ; 2013; HALAHM ; 2022**).

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



**Figure II.1 :** Les procédés de traitement des eaux usées (BEKHTAOUI et BEDDAR ; 2020).



**Figure II.2 :** Schéma d'un traitement préliminaire d'une STEP (BARKA et BENALLAL ; 2020).

Le dégrillage peut être manuel ou mécanique selon l'importance du rejet :

➤ **Grilles manuelles :**

La grille est installée généralement dans un canal d'amenée des eaux, souvent elle est inclinée entre 30 et 45° par rapport à la verticale. Le nettoyage s'effectue à l'aide d'un râteau (DJEBALI, 2008).

➤ **Grilles mécaniques :**

Cette mécanisation est indispensable afin d'éviter un colmatage rapide des canalisations. Elles se classent en deux catégories (**BOUMEDIENE ; 2013**) :

- ✓ **Grille droite** : Elles sont inclinées de 90° par rapport à l'horizontal et sont parfois verticales, avec un espacement des barreaux (40 à 60mm) (**Figure. II.3**).
- ✓ **Grille courbes** : sont utilisées pour les stations d'épuration des eaux industrielles. Le nettoyage se fait par un double râteau tournant ou encore par un système de bielle appliquée contre la grille (**Figure. II.4**).

### II.2.1.2 Dessablage/ Dégraissage et déshuilage :

#### ➤ **Dessablage** :

Le dessableur est un ouvrage dans lequel les particules denses, dont la vitesse est inférieure à 0,3 m/s, vont pouvoir se déposer. Il s'agit principalement des sables (**MAREF, 2020**). L'élimination des sables présents dans l'effluent est indispensable pour protéger les conduites et les pompes contre la corrosion et aussi éviter le colmatage des canalisations par une sédimentation au cours du traitement (**ALEM ; 2016**).

#### ➤ **Dégraissage et déshuilage** :

Le dégraissage est une élimination par flottation des particules grasses non solubles (10 à 20 % des graisses) (**FIDELE, 2020**). Le déshuilage consiste à éliminer des huiles présentes dans les eaux résiduaires industrielles par écumage manuel ou mécanique (**FIDELE, 2020; BENNIA, 2020**). Le dessablage et le déshuilage s'effectuent dans un même bassin (**Figure II.5**). L'ouvrage regroupe dans un même ensemble conique (**ALLAOUI ; 2009**) :

1. Le dessableur dans la partie inférieure du tronc conique.
2. Le déshuileur, aéré dans sa partie centrale est raclé mécaniquement par un écumeur pour extraire les graisses.

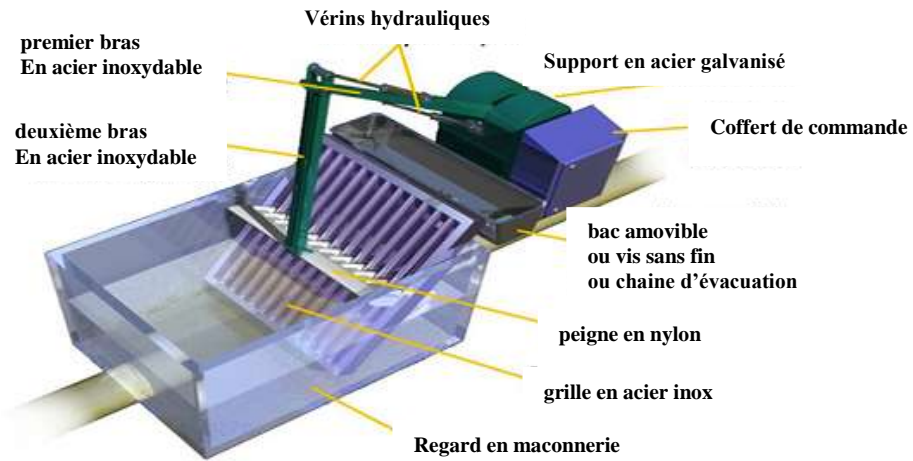


Figure II.3: Dégrilleur a grille inclinée (SAHNOUN, 2019)

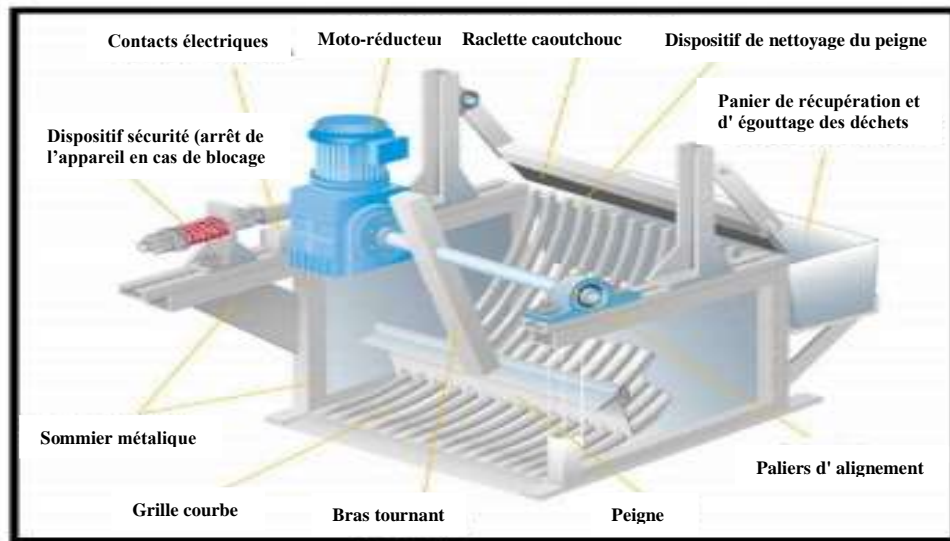


Figure II.4 : Grille courbe (DJEBALI, 2008)

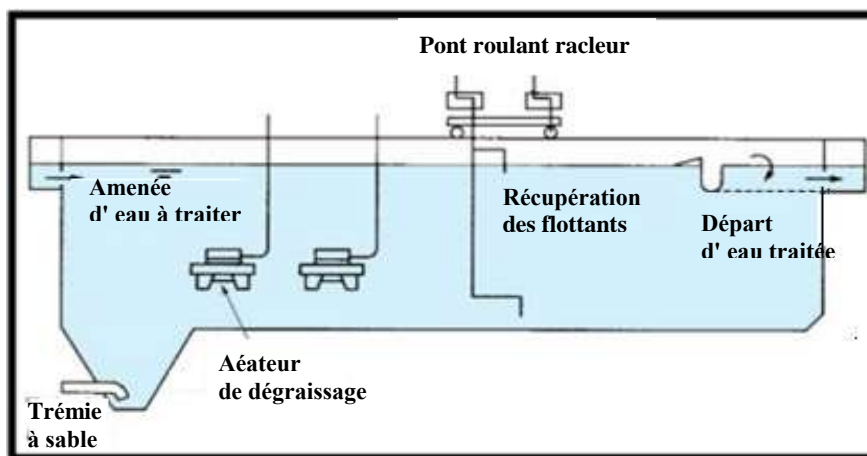


Figure II.5 : Ouvrage de dessablage-déshuilage combinés (GAÏD A., 1993).

II.2.2 Le traitement primaire (décantation primaire) :

Ce traitement est basé sur la séparation solide-liquide par l'effet de la pesanteur. Ce procédé permet d'éliminer, d'une part 50% à 60% des matières en suspension et réduit d'environ 30% la DBO et la DCO et d'autre part (MAREF, 2020).

Il existe de nombreux types de décanteurs classiques :

- Décanteur circulaire avec raclage des boues (**Figure II.6**)
- Décanteur longitudinal à pont racleur (**Figure II.7**)

### II.2.3 Le traitement secondaire :

Le traitement secondaire est un traitement biologique qui consiste à améliorer le traitement en MES, en matières solubles et colloïdales, de l'effluent prétraité (FIDELE, 2020). Le principe général du traitement biologique, qui vise à éliminer la matière organique biodégradable des eaux usées, consiste à cultiver des microorganismes principalement aérobies (BENOUDJIT ; 2016). Il est important de distinguer les traitements en conditions aérobie des traitements en condition anaérobie (SID, 2017). Parmi les traitements biologiques, on distingue les procédés biologiques extensifs et les procédés biologiques intensifs (BOUZIDI ; 2020).

#### II.2.3.1 Les procédés intensifs

- Parmi les procédés intensifs de traitement des eaux usées, nous distinguerons (MALEK ; 2014).
- Les procédés à biomasse en suspension : les boues activées
- Les procédés à biomasse fixée : les disques biologiques et les lits bactériens

##### II.2.3.1.1 Les boues activées :

Les boues activées constituent le traitement biologique aérobie le plus répandu. L'épuration biologique par boues activées est généralement basée sur une culture microbienne maintenue en suspension en état aérobie dans le bassin d'aération alimenté par l'eau à épurer, chargée en polluants (BAKIRI, 2014, AZZOUZI ; 2010). Les procédés biologiques par boues activées comportent principalement deux phases successives :

- Une première phase biologique de mise en contact de la matière organique à éliminer avec une culture bactérienne dans un bassin brassé et aéré où l'on maintient une certaine concentration en oxygène (**Figure II.8**).
- une deuxième phase physique de séparation des eaux épurées et des microorganismes en suspension dans un décanteur secondaire (ou clarificateur) (**Figure**

II.8). Les boues décantées sont recyclées dans le bassin d'aération pour y maintenir une concentration suffisante en bactéries épuratrices.

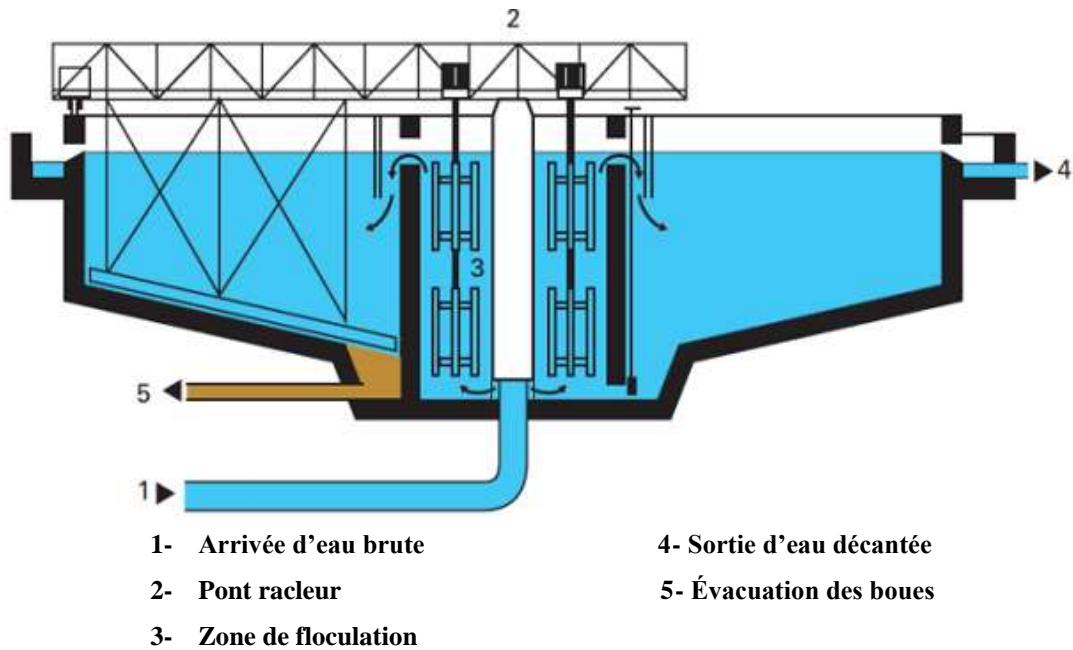


Figure II.6: Décanteur statique à fond raclé (DEGRÉMONT, 1989)

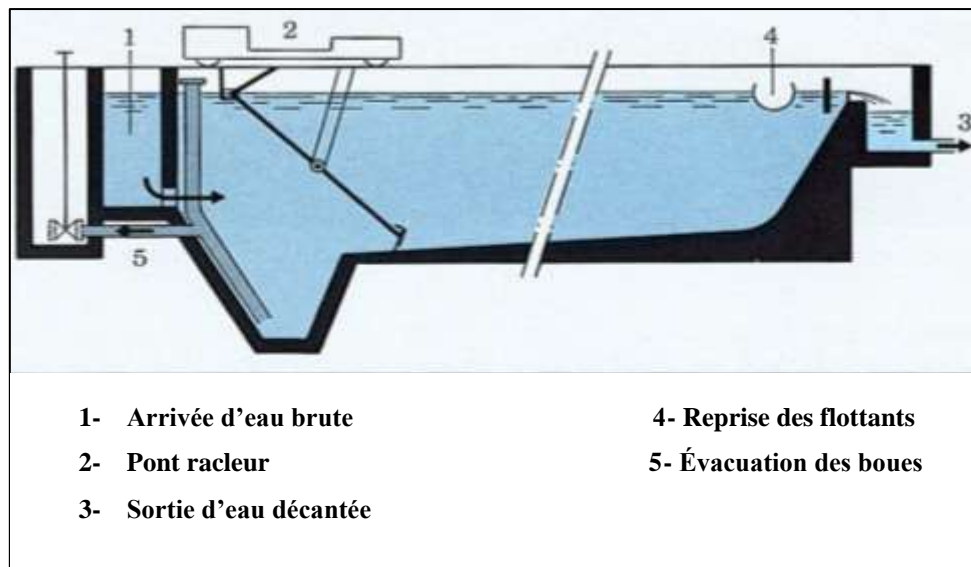


Figure II.7. Décanteur longitudinal à pont racleur (DEGRÉMONT, 1989)



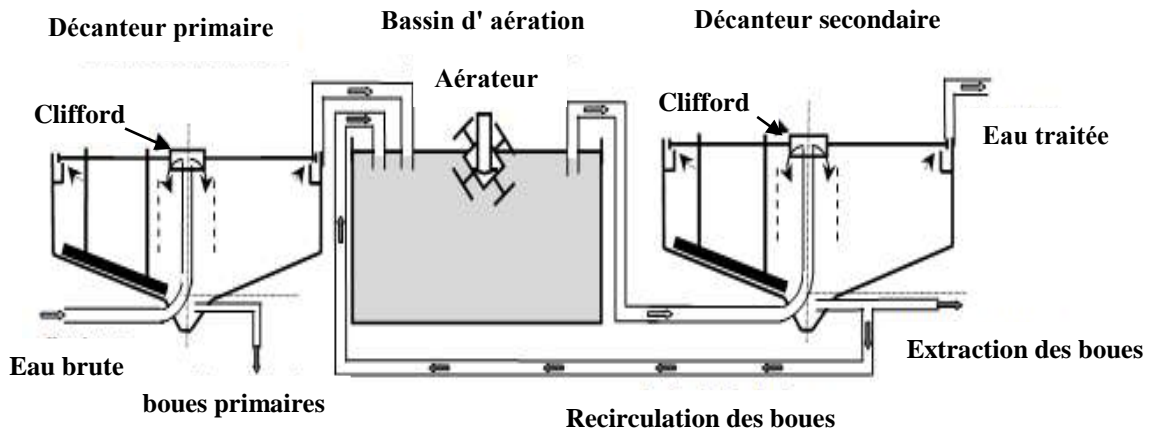


Figure II.8 : Schéma d'une station d'épuration à boue activée (BAKIRI, 2014).

### II.2.3.1.1.1 Paramètre de fonctionnement des stations à boues activées

Le procédé à boues activées est défini par les paramètres suivants :

a) **La charge massique (C<sub>m</sub>)** représente le rapport de la quantité de matière organique journalière (en termes de DBO<sub>5</sub> par jour) ramenée à la masse totale de boue (MVS) (ECHENFELDER, 1982). Elle s'exprime donc comme suit :

$$C_m = \frac{Q \times [DBO_5]}{V(ba) \times [MVS](ba)}$$

**C<sub>m</sub>** : La charge massique en Kg DBO<sub>5</sub>/ (m<sup>3</sup>.j) ;

**Q** : débit journalier d'eau usée à épurer en m<sup>3</sup>/j ;

**[DBO<sub>5</sub>]** : Concentration en DBO<sub>5</sub> de l'eau à traiter en Kg/m<sup>3</sup> ;

**V (ba)** : Volume du bassin d'aération en m<sup>3</sup>.

**[MVS](ba)** : Concentration en MVS des boues dans le bassin d'aération en Kg/m<sup>3</sup>.

Selon la valeur de C<sub>m</sub>, on définit le type de la charge massique :

- à aération prolongée : **0,05 < C<sub>m</sub> < 0,1**
- à faible charge (kgDBO<sub>5</sub>/kg boues.j) : **0,1 < C<sub>m</sub> < 0,2**
- à moyenne charge (kgDBO<sub>5</sub>/kg boues .j) **0,2 < C<sub>m</sub> < 0,5**
- à forte charge (kgDBO<sub>5</sub>/kg boues .j) **0,5 < C<sub>m</sub> < 1**
- à très forte charge (kgDBO<sub>5</sub>/kg boues .j) **1 < C<sub>m</sub> < 5**

**b) La charge volumique ( $C_v$ )** est la quantité de matière organique journalière ramenée au volume unitaire de bassin (ECHENFELDER, 1982). C'est un paramètre dimensionnel. Elle s'exprime en  $\text{kg DBO}_5/\text{m}^3$  de bassin

$$C_v = \frac{Q \times [\text{DBO}_5]}{V(\text{ba})}$$

$C_v$  : La charge volumique en **Kg DBO<sub>5</sub>/ (m<sup>3</sup>.j)** ;

$Q$  : débit journalier d'eau usée à épurer en **m<sup>3</sup>/j** ;

$[\text{DBO}_5]$  : Concentration en **DBO<sub>5</sub>** de l'eau à traiter en **Kg/m<sup>3</sup>** ;

$V(\text{ba})$  : Volume du bassin d'aération en **m<sup>3</sup>**.

**c) L'indice de Mohlman (IM):** Selon RODIER et al., 2005, (IM) représentant l'aptitude qu'ont les boues à décantent est le volume  $V$  en ml occupé par 1 g de MVS ( $M$ ) après une décantation de 30 minutes. Les plages de fonctionnement en fonction de l'indice sont:

L'indice de MOHLMAN est représenté par le rapport :

$$\text{IM} = \frac{\text{boues decantées en ml/l}}{\text{masse de la matière sèche mg/l}}$$

- 50 - 100 Très bonne décantation,
- 150 : Bonne décantation,
- 200-250 : problème de séparation eau/Bactéries,
- supérieur à 400 pas de décantation.

**d) Age des boues ( $A_b$ ):** L'âge des boues représente le temps de séjour des boues dans le bassin d'aération. C'est le rapport entre la masse de boues présentes dans l'aérateur et la quantité de boues extraites (donc produites) par jour (DJEBALI, 2008).

$$A_b = \frac{\text{Masse des boues dans le réacteur}}{\text{Masse des boues extraite par jour}} = \frac{C_{MVS} \times V}{\Delta X}$$

avec,

$A_b$  : âge de boue (j)

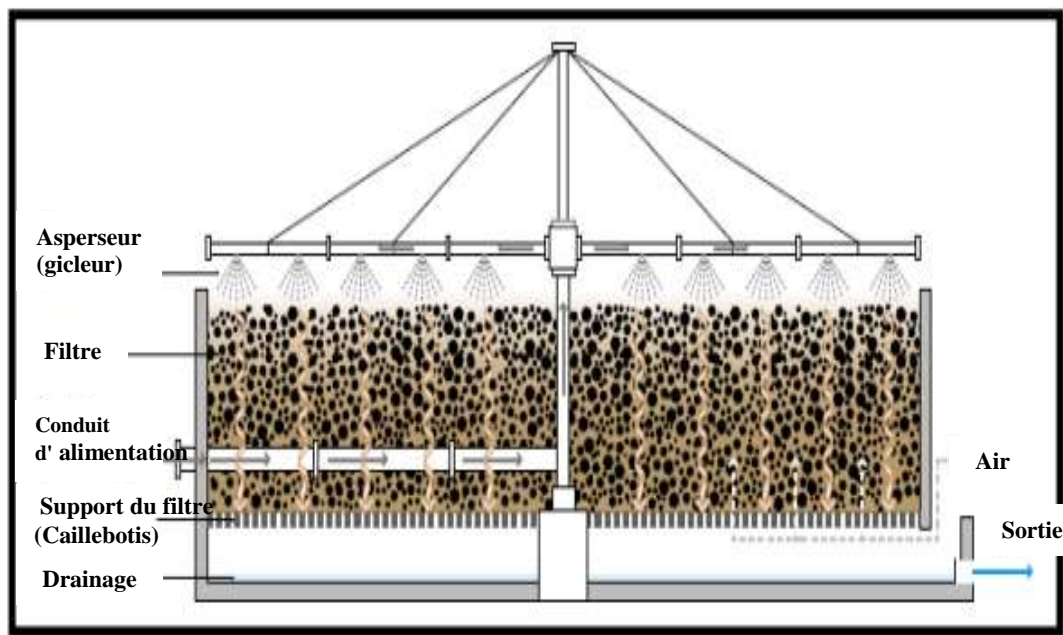
$C_{MVS}$  : concentration en MVS (Matière volatile en suspension) ( $\text{Kg}/\text{m}^3$ )

$V$  : volume du bassin biologique

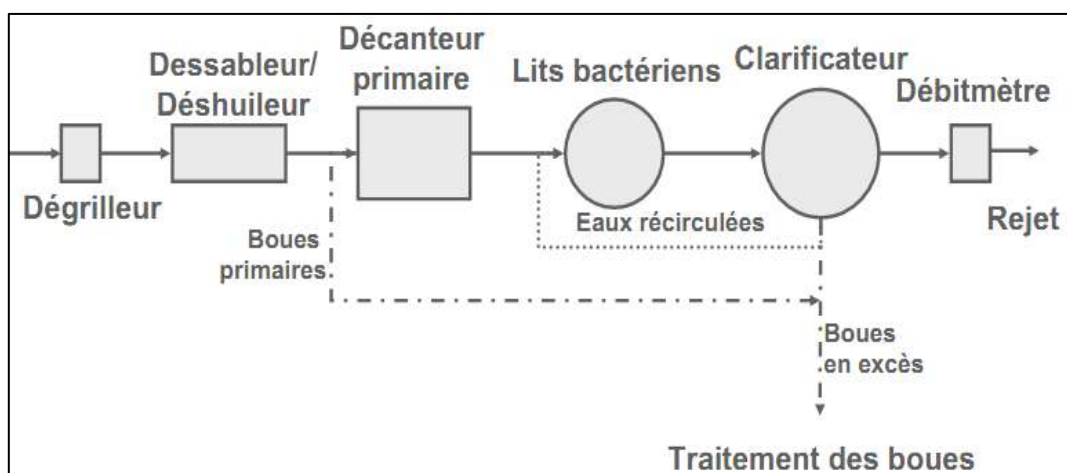
$\Delta X$  : masse des boues extraites par jour ( $\text{Kg}/\text{j}$ ).

II.2.3.1.2 Lits bactériens :

Les lits bactériens (**Figure II.9** et **Figure II.10**) sont un procédé biologique à culture fixée. Le principe de fonctionnement de ce procédé consiste à faire ruisseler les eaux usées, préalablement décantées, sur une masse de matériaux poreux ou caverneux (pouzzolane, coke, PVC, polystyrène....) qui sert de support aux micro-organismes (bactéries) épurateurs (**FIDELE, 2020**). Son rendement épuratoire est supérieur à 80 % pour la DCO, peut dépasser 90 % pour des faibles charges, et 20 à 30 % d'azote (**FIDELE, 2020**).



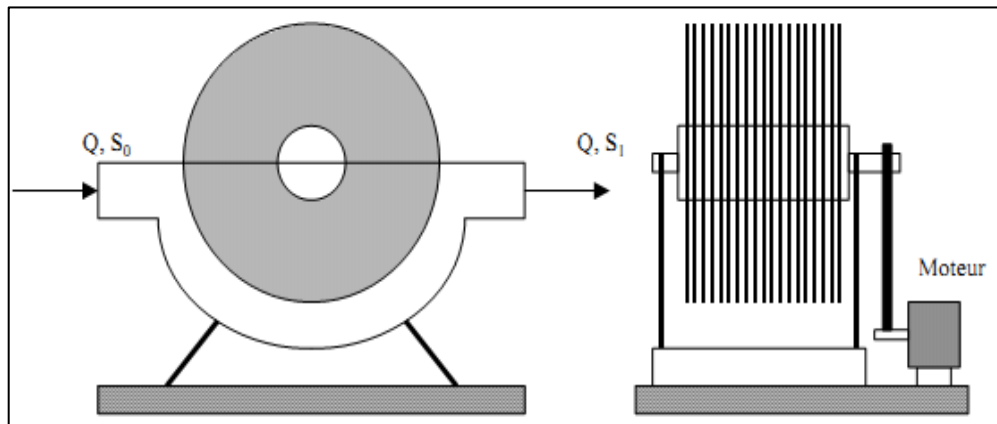
**Figure II.9** : Schéma de principe d'une filière de traitement par lits bactériens (TANSAOUT, (2021))



**Figure II.10**: Configuration du procédé lit bactérien (EL HAITÉ, 2020)

### II.2.3.1.3 Disques biologiques :

Les disques biologiques ou biodisques sont des disques enfilés parallèlement sur un axe horizontal tournant à demi immergés, leurs rotations permettent l'oxygénation de la biomasse fixée (**Figure II.11**) (**DHAOUADI, 2008**).



**Figure II.11:** Schéma de principe de la mise en œuvre de disques biologiques  
(**DHAOUADI, 2008**)

### II.2.3.2 Les procédés extensifs :

#### II.2.3.2.1 Le lagunage :

Le lagunage est un procédé d'épuration qui consiste à faire circuler des effluents dans une série de bassins pendant un temps suffisamment long pour réaliser les processus naturels de l'auto-épuration.

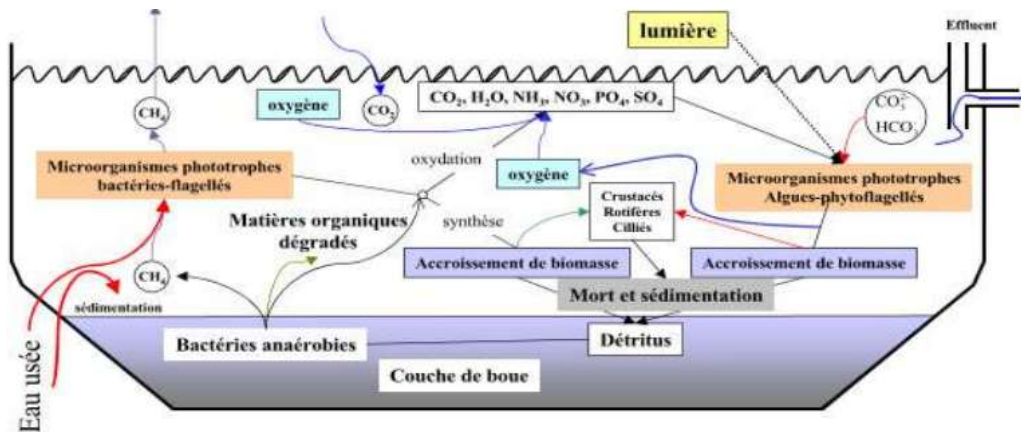
On distingue principalement deux types de lagunage :

- ✓ Lagunage naturel
- ✓ Lagunage aéré ;
  - **Lagunage naturel :**

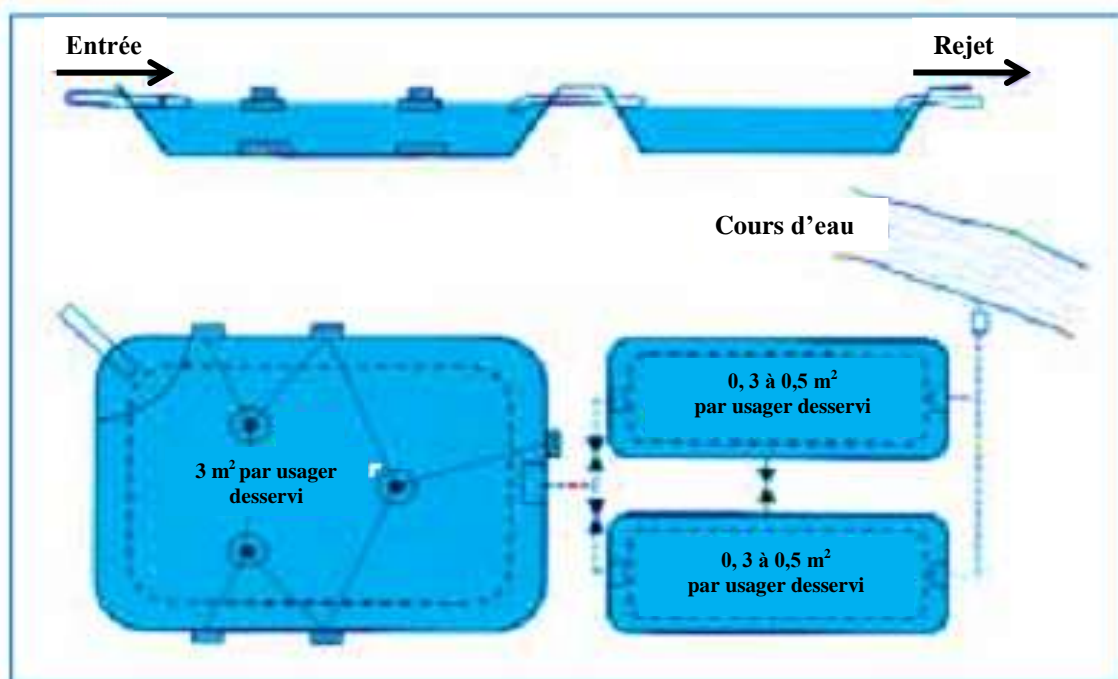
Le principe de fonctionnement de lagunage naturel est basé sur la photosynthèse (**Figure II.12**). La partie supérieure de l'eau des bassins est exposée à la lumière (**SID, 2017**). Cela permet le développement d'algues qui produisent de l'oxygène qui est nécessaire pour le développement et la maintenance des bactéries aérobies. Ces bactéries sont responsables de l'oxydation de la matière organique (**SID, 2017**). Ces procédés sont très sensibles à la température et sont peu applicables aux régions froides.

- **Lagunage aéré :**

Contrairement au lagunage naturel où l'oxygène est fourni par la photosynthèse et le transfert à l'interface eau-atmosphère, l'oxygénation est, dans le cas des lagunages aérés, fournie mécaniquement par un aérateur de surface ou par insufflation d'air (**Figure II.12**) (**SID, 2017; DHAOUADI, 2008**).



**Figure II.12 :** Cycle biologique d'une lagune (**DHAOUADI, 2008**).



**Figure II.13 :** Le lagunage aéré (**ALEM, 2016**)

### II.3. Traitement des boues

#### II.3.1. L'épaississement:

Il permet de réduire trois à six fois le volume des boues, réduisant ainsi les coûts de stockage et de transport. Cet épaississement peut se faire soit par simple égouttage, par flottation, par centrifugation ou par voie gravitaire au moyen d'un concentrateur (**MAREF, 2020**).

### II.3.1.1. Épaississement statique

Il s'effectue dans une cuve équipée d'un mécanisme ragueur tournant à faible vitesse. Un épaisseur classique est montré en coupe sur la **Figure II.14** (TOUHARI, 2018).

### II.3.1.2. Épaississement par flottation

L'épaississement grâce à la flottation par l'air dissous (**Figure II.15**) se répand de plus en plus et s'applique particulièrement aux boues à floc léger et volumineux comme c'est le cas des boues activées (TOUHARI, 2018).

### II.3.2. Déshydratation

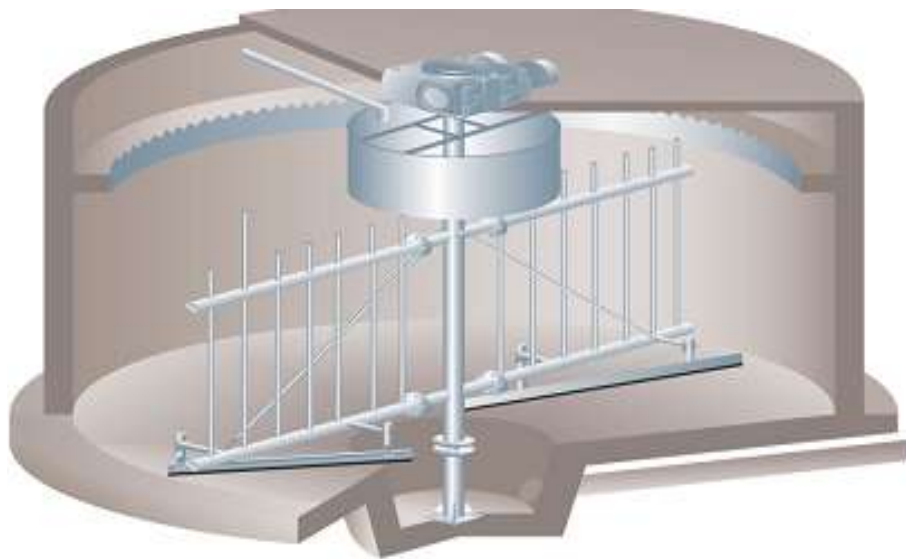
La déshydratation est une étape de réduction de volume d'eau également, mais encore plus poussée que l'épaississement (MAREF, 2020;TOUHARI, 2018). On peut faire la déshydratation au moyen de centrifugeuses, filtres-presses ou des filtres à bandes.

#### II.3.2.1. Les filtres à bande

Cette technique consiste à déshydrater les boues entre une bande presse et une bande filtrante (**Figure II.16**).

#### II.3.2.2. Centrifugation des boues

La centrifugation est une technique de séparation des phases liquides - solides dont le principe relève de la loi de la pesanteur et elle est basée sur l'action de la force centrifuge (**Figure II.17**).



**Figure II.14.** Coupe longitudinale d'un épaisseur gravitaire (DJEBALI, 2008)



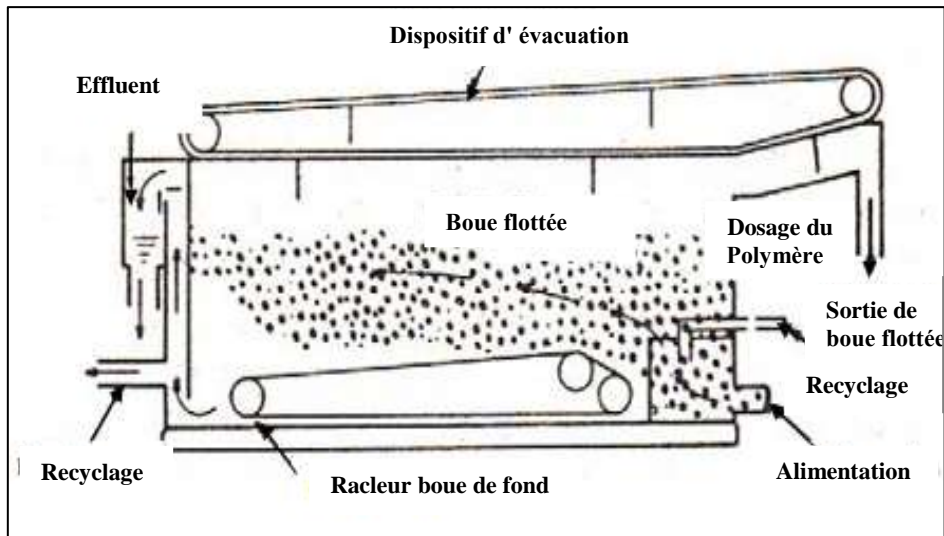


Figure II.15. Coupe schématique d'un flottateur (BECHAC, 1984)

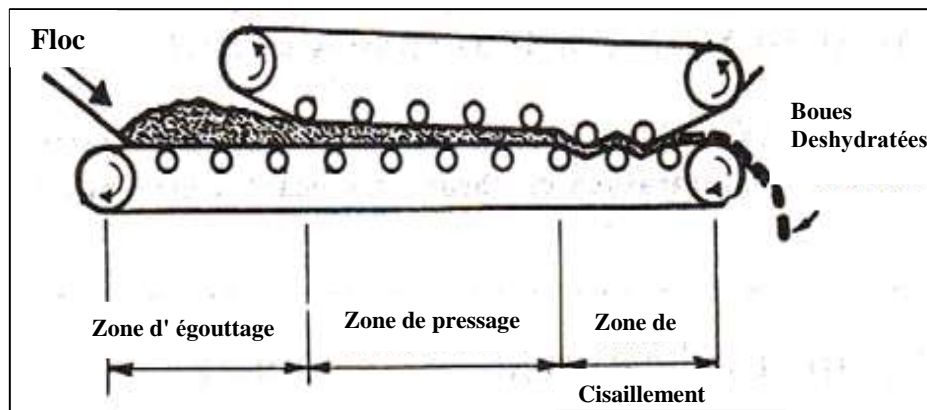


Figure II.16. Filtre à bandes presseuses (BECHAC, 1984)

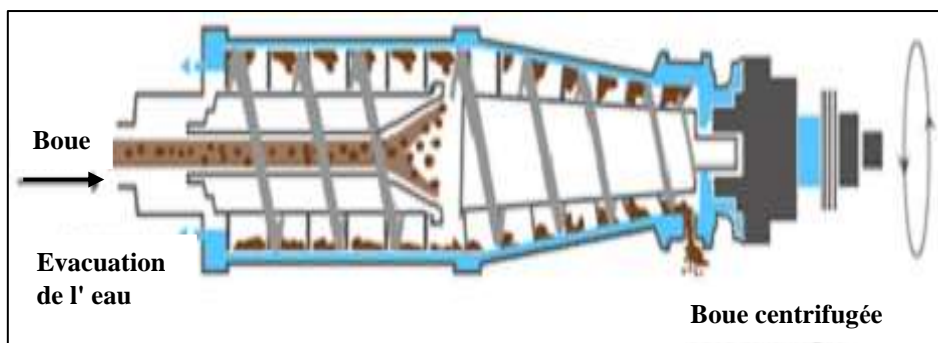


Figure II.17. Centrifugeuse (BECHAC, 1984)

## II.4. Traitement tertiaire :

### II.4.1. La désinfection :

Les différents procédés de désinfection susceptibles d'être mis en œuvre utilisent (BOUANANI et TEBBAL, 2013; SAHNOUN, 2019) :

- **Le chlore** (à l'état gazeux ou sous forme d'hypochlorite de sodium : eau de Javel). Ce moyen de désinfection et de stérilisation est le plus utilisé et le mieux maîtrisé ;
- **Le bioxyde de chlore (ClO<sub>2</sub>)** qui est un réactif très performant mais dont la mise en œuvre est délicate et nécessite une surveillance importante ;
- **L'ozonation** : C'est un désinfectant très puissant qui va agir sur les bactéries, virus et autres coliformes contenues dans l'eau. Il est encore actuellement peu utilisé en raison du coût élevé de sa mise en œuvre ;
- **Les rayons ultraviolets (UV)**. Il consiste à faire passer les eaux dans un canal ouvert muni de lampes à rayons ultraviolets.

Les avantages à la désinfection par les UV sont :

- ✓ Les UV constituent un procédé dépourvu de produits chimiques, qui n'ajoute rien à l'eau sauf la lumière UV ;
- ✓ Les UV inactivent de manière très efficace une large gamme de microorganismes, notamment les agents pathogènes résistants au chlore comme les espèces de *Cryptosporidium* et de *Giardia* (DEGREMONT, 2005).

## II.5 Conclusion :

Les stations d'épuration jouent de plus en plus un rôle déterminant et très important et permettent alors de limiter la pollution des eaux en passant par plusieurs dispositifs successifs qui permettent une élimination progressive de la quasi-totalité de la pollution et une réutilisation des eaux épurées et même des boues d'épurations à d'autres fins. Dans ce chapitre nous avons présenté les différents procédés d'épuration des eaux usées dans une station d'épuration. Nous avons conclu que les processus d'épuration passent par quatre étapes successives : le prétraitement, le traitement primaire, biologique et enfin le traitement tertiaire.



*CHAPITRE III*

*RÉUTILISATION DES EAUX*

*USÉES ÉPURÉES*

### III.1 Introduction

La Réutilisation des Eaux Usées Épurées (REUT) recouvre deux notions : le traitement puis la réutilisation proprement dite d'eaux usées traitées. Les eaux usées sont celles rejetées par les collectivités, les industries et les particuliers, puis collectées et acheminées par les réseaux d'égouts vers les stations de traitement des eaux usées afin d'y être traitées (**CARRÉ E, 2017**). La réutilisation de l'eau se définit comme l'utilisation d'eaux usées traitées répondant à certains critères de qualité selon l'usage désiré (**ASANO et al, 2007; USEPA, 2012**).

### III.2. Les différents usages des eaux usées traitées

**BIXIO et al., (2005)** ont classés les différents types de réutilisation selon quatre catégories :

- Usage agricole
- Usage urbain
- Usage industriel

Sur le plan mondial, les réutilisations des eaux usées traitées pour l'agriculture, l'industrie et l'usage domestique couvrent respectivement 70% 20% 10% de leur demande en eau (**ECOSSE, 2011**).

#### III.2.1. Usages agricoles

La majorité des projets de réutilisation des eaux usées concernent des utilisations agricoles, la réutilisation pour l'irrigation est essentiellement présente dans les pays réputés agricoles, mais dont les ressources hydriques sont faibles (**DJILLALI, 2020**).

**III.2.2. Usages urbains** Les utilisations urbaines des eaux usées traitées sont :

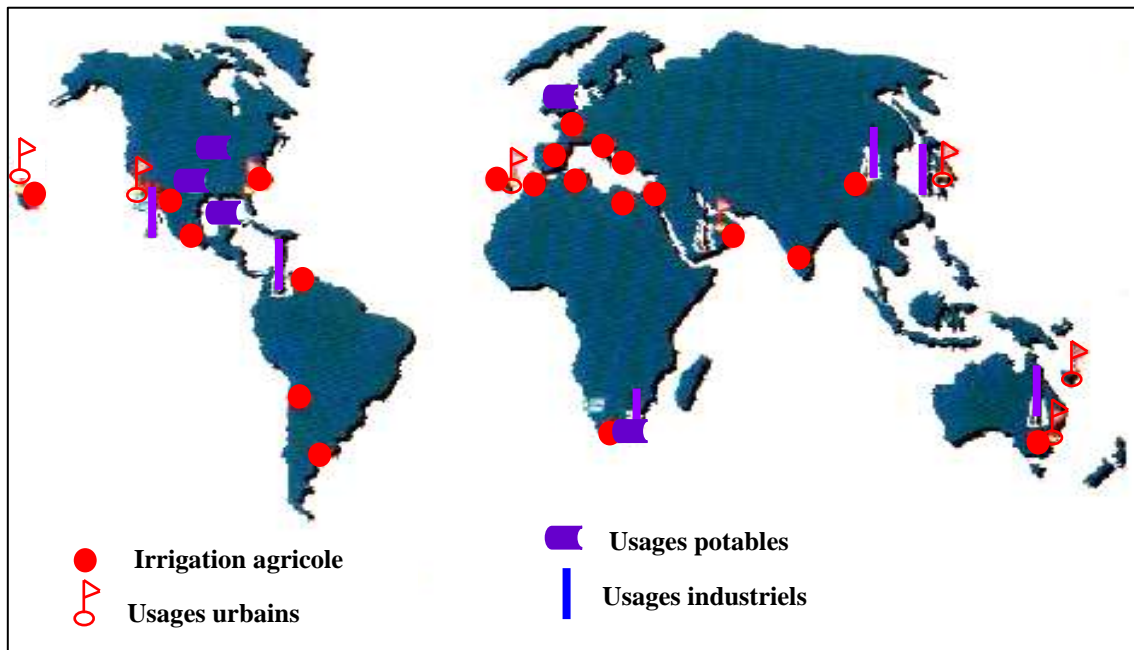
L'arrosage de parcs, de terrains de sport, de terrains de golf, d'aires de jeux, lavage des WC (chasse) et des voitures, réservoirs anti-incendie (**CHARABI, 2016; DJILLALI, 2020**).

#### III.2.3. Usages industriels

Les utilisations industrielles : les installations de refroidissement, les chaudières industrielles, eaux de procédés, générateurs de vapeurs, nettoyage des équipements (**BOUTIN et al., 2009; CARRÉ E, 2017**). Les autres applications possibles concernent l'industrie du papier, la production d'acier, de textiles, les industries d'électroniques et de semi-conducteurs, etc (**CHARABI, 2016, CARRÉ E, 2017**).

### III.3. Les expériences mondiales en réutilisation des eaux traitées (REUT)

La **Figure III.1** résume les principales voies de réutilisation dans les pays ayant une expérience significative dans ce domaine. Il apparaît que la réutilisation pour l'irrigation est essentiellement présente dans les pays réputés agricoles mais dont les ressources hydriques sont faibles, comme le bassin méditerranéen ou encore le Sud des Etats-Unis. Les plus grands projets de réutilisation ont été développés dans les régions de l'Ouest et de l'Est des Etats-Unis, l'espace méditerranéen, l'Australie, l'Afrique du Sud et dans les zones semi-arides de l'Amérique du Sud et de l'Asie du Sud (**BOUTIN et al., 2009**).

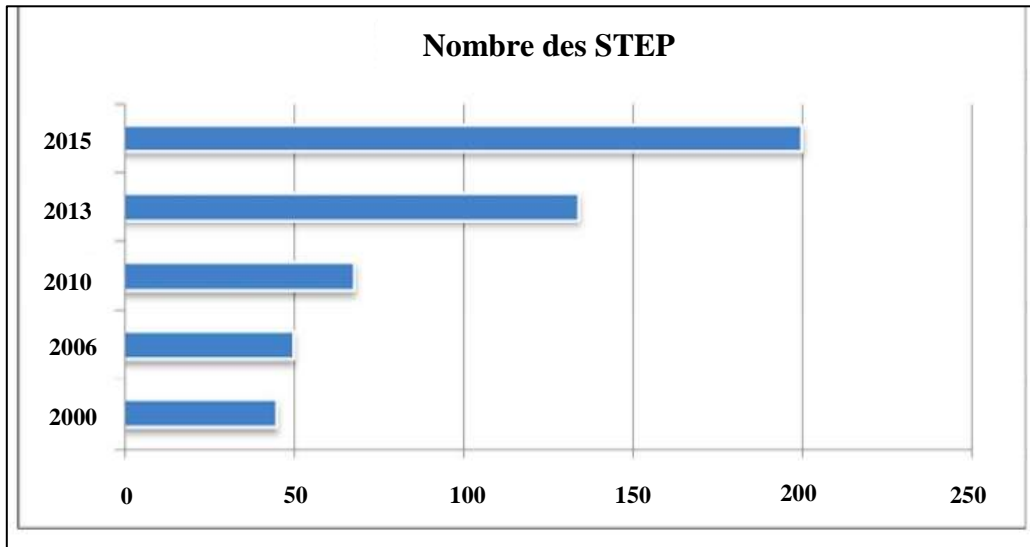


**Figure III.1:** Répartition par usage et localisation des expériences mondiales les plus importantes en REUT (**BOUTIN et al., 2009**)

#### III.3.1. La réutilisation des eaux usées traitées en Algérie

L'État algérien s'est lancé dans les projets de construction des stations d'épurations des eaux usées (STEP) (**Figure III.2**), aboutissant à l'accroissement du parc des STEP, qui n'en comptait que 12 unités en service en 2000 avec une capacité d'épuration qui ne dépassait pas 90 millions de m<sup>3</sup>/an, au nombre de 177 systèmes épuratoires en fonctionnement, avec une capacité de 6 millions équivalent-habitant (EH) en 2016 pour atteindre à l'horizon 2020, 270 unités épuratoires avec une capacité de près de 1300 millions de m<sup>3</sup> par an (**MERABET-BAGHLI et al., 2020**). Le potentiel de réutilisation des eaux usées à des fins agricoles, a connu une évolution de manière significative. En 2011, le volume réutilisé est estimé à 17 millions de m<sup>3</sup>/an, afin d'irriguer plus de 10 000 hectares de superficie agricoles (**ONA,**

2014). En effet ce potentiel de réutilisation des eaux usées épurées à des fins agricoles a connu une évolution significative où environ 17 millions de m<sup>3</sup> ont été enregistrés en 2011, environ 45 millions de m<sup>3</sup> en 2012 300 millions de m<sup>3</sup> en 2014 (**Figure III.3**) (**MRE, 2012; ONA, 2014**). Durant le premier semestre de l'année 2021, dix-huit (18) systèmes épuratoires ont permis de répondre aux besoins de l'agriculture, au moyen de la réutilisation des eaux usées épurées. Le volume moyen réutilisé est d'environ dix (10) millions de m<sup>3</sup> pour l'irrigation d'une superficie de l'ordre de 3000 hectares (**MRE, 2021**).



**Figure III.2.** Évolution du nombre des STEP et stations de lagunage en Algérie (2000-2015) (**KASBADJI, 2013**).



**Figure III.3:** Statistiques sur les eaux usées épurées en Algérie (**BOUCHAALA et al., 2017**)

### III.4. Critères de qualité des eaux usées pour l'irrigation

#### III.4.1. Salinité

La concentration en sels totaux de l'eau usée excède celle de l'eau potable d'environ 200 mg/l, sauf dans le cas de pénétration d'eaux saumâtres dans les réseaux d'assainissement ou lors de collecte d'eaux industrielles (**BOUTIN et al., 2009**). Les conséquences d'une salinité excessive de l'eau d'irrigation se présentent sous 2 catégories (**BOUTIN et al., 2009**):

- les dommages vis-à-vis des sols et donc, indirectement, vis-à-vis des rendements culturaux ;
- les dommages causés aux cultures.

#### III.4.2. Salinisation :

La salinisation peut être causée par les prélèvements d'eau par les plantes, et par l'évaporation. Selon **FABY (1997)**, on peut classer la qualité de salure de l'eau d'irrigation dans le tableau III.1.

#### III.4.3. Alcalinité

La dispersion de la phase colloïdale du sol, la stabilité des agrégats, la structure du sol et la perméabilité à l'eau sont toutes très sensibles aux types d'ions échangeables présents dans l'eau d'irrigation (**FAO, 2003**). L'augmentation de l'alcalinité du sol, qui peut se produire avec l'eau usée traitée à cause de la concentration élevée en Na, réduit la perméabilité du sol, particulièrement en surface, même si le lessivage a lieu (**DJILLALI, 2020**). Ce phénomène est lié à la dispersion et au gonflement des argiles lorsque la concentration en Na échangeable augmente (**FAO, 2003**).

#### III.4.4. Sodisation :

L'accumulation de sodium (sodisation) sur le complexe absorbant des sols peut dégrader les propriétés physiques des sols, leur capacité de drainage, donc leur perméabilité, conditionne la productivité des terres irriguées (**CHARABI M, 2016**). Les risques de sodisation relatifs à une eau d'irrigation sont caractérisés par deux paramètres : le SAR (Sodium Adsorption Ratio), qui rend compte du rapport entre les concentrations en sodium et en alcalino-terreux (Calcium, Magnésium...), et la conductivité de l'eau appliquée (**HENNEB, 2010**).

$$\text{SAR} = \frac{\text{Na}^+}{\sqrt{(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})/2}}$$

Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>: exprimés en meq/l

Généralement, le SAR et la conductivité électrique (CE) de l'eau destinée pour l'irrigation, sont utilisés en combinaison afin d'évaluer le risque potentiel de salinisation des sols (Tableau III.2). D'autre part, l'augmentation des ions carbonate ( $\text{CO}_3^{2-}$ ), et les ions bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ ) dans le sol contribuent à la neutralisation des ions  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$ , qui précipitent en formant le carbonate de calcium ( $\text{CaCO}_3$ ) ou carbonate de magnésium ( $\text{MgCO}_3$ ) dans des conditions de sécheresse, donc augmentation du S.A.R, on aura en conséquence une forte alcalinisation du sol et augmentation du pH (HENNEB, 2010).

#### III.4.5. Toxicité spécifique des ions

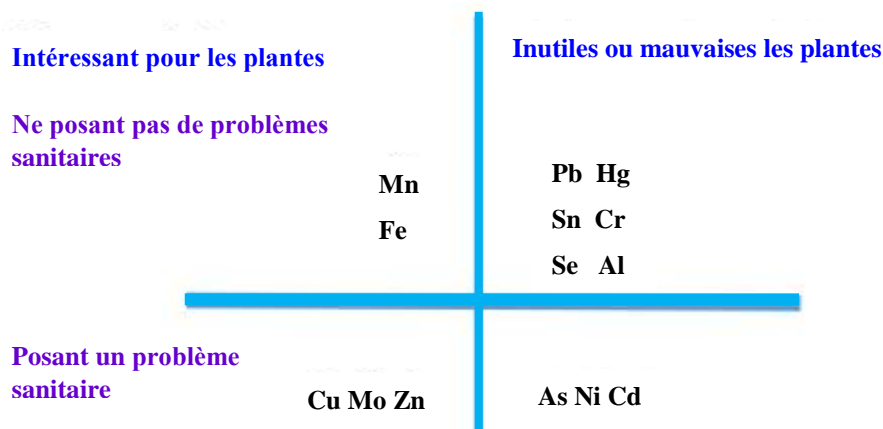
Les ions les plus toxiques rencontrés généralement dans l'eau usée traitée sont le sodium (Na), le chlorure (Cl) et le bore (B) ce bore est un des éléments essentiels aux cultures, une concentration excédant 0,5 mg/l peut être toxiques aux cultures sensibles (tableau 4) (FAO, 2003).

#### III.4.6. Les fertilisants dans les eaux usées traitées

Les éléments nutritifs (azote, phosphore et potassium) peuvent être en excès par rapport aux besoins de la plante et provoquer des effets négatifs, aussi bien au niveau de la culture que des sols. Un apport d'azote excédentaire par rapport aux besoins des cultures, peut provoquer dans un sol très perméable la lixiviation du nitrate dans la nappe phréatique.

#### III.4.7. Éléments traces et métaux lourds

Les éléments en trace ne sont pas tous toxiques, beaucoup sont essentiels en petites quantités pour la croissance des plantes (Fe, Mn, Mo, Zn) (Figure III.4). Cependant, en quantités excessives ils peuvent causer des accumulations indésirables dans les tissus des plantes et une réduction de leur croissance.



**Figure III.4 :** Classification des métaux lourds en fonction des risques et de l'intérêt agronomique (BAUMONT et al., 2004).

**Tableau III.1:** Classes de qualité de salure de l'eau d'irrigation (BOUTIN et al., 2009)

Qualité de l'eau	Conductivité de l'eau (µS/cm)	Sels solubles correspondants estimés en NaCl (mg/L)
<b>I. Excellente</b>	250	<160
<b>II. Faible salinité</b>	250- 750	160 -500
<b>III. Forte salinité</b>	750 – 2250	500 – 1500
<b>V. Très forte salinité</b>	2250 – 5000	1500 – 3600

**Tableau III.2 :** Directives pour l'interprétation de la qualité de l'eau pour l'irrigation (F.A.O, 2003).

Problèmes Potentiels en Irrigation	Degré de restriction à l'usage			
	Unités	Aucun	Léger à modéré	Sévère
<b>Salinité</b>				
$EC_w^1$ ou	dS/m	< 0.7	0.7-3.0	> 3.0
TDS	mg/l	< 450	450-2000	> 2000
<b>Infiltration</b>				
SAR <sup>2</sup> = 0-3 et $EC_w =$	dS/m	> 0.7	0.7-0.2	< 0.2
=3-6 =		> 1.2	1.2-0.3	< 0.3
= 6-12 =		> 1.9	1.9-0.5	< 0.5
= 12-20 =		> 2.9	2.9-1.3	< 1.3
= 20-40 =		> 5.0	5.0-2.9	< 2.9
<b>Toxicité Spécifique des ions</b>				
<b>Sodium (Na)</b>				
Irrigation de surface	SAR	< 3	3-9	> 9
Irrigation par aspersion	méq/l	< 3	> 3	
<b>Chlorure (Cl)</b>				
Irrigation de surface	méq/l	< 4	4-10	> 10
Irrigation par aspersion	méq/l	< 3	> 3	> 3.0
<b>Bore (B)</b>				
		< 0.7	0.7-3.0	> 3.0
<b>Effets divers</b>				
Azotes (NO <sub>3</sub> -N) <sup>3</sup>	mg/l	< 5	5-30	> 30
Bicarbonate ( HCO <sub>3</sub> )	méq/l	< 1.5	1.5-8.5	> 8.5

<b>pH</b>	Gamme normale 6.5-8.4
<sup>1</sup> : EC <sub>w</sub> signifie la conductivité électrique en deciSiemens par mètre à 25°C. <sup>2</sup> : SAR signifie le taux d'adsorption de sodium (sodium adsorption ratio). <sup>3</sup> : NO <sub>3</sub> -N signifie l'azote sous forme de nitrate rapporté en terme d'azote élémentaire. NH <sub>4</sub> -N et N-organique devraient être également examinés dans les eaux usées.	

**Tableau III.3:** Tolérances relatives des plantes au bore dans l'eau d'irrigation (F.A.O, 2003).

Sensible (1mg/l)	Semi tolérant (2mg/l)	Tolérant (3mg/l)
Citrus	Haricot	Carotte
Avocat	Paprika	Laitue
Abricot	Tomate	Chou
Pêche	Maïs	Oignon
Cerise	Olives	Betterave à sucre
Raisin	Radis	Palmier dattier
Pomme	Potiron	Asperge
Poire	Blé	Navet
Prune	Pomme de terre	
Fraise	Tournesol	

### III.5. Normes de réutilisation des eaux usées

#### III.5.1. Normes internationales

L'USEPA (United States Environmental Protection Agency, 2012) a publié, en collaboration avec l'USAID (United States Agency of International Development), des recommandations sur la réutilisation des eaux usées traitées. Dans ces normes, plusieurs paramètres sont pris en compte : le pH, la DBO, la turbidité ou les MES et microbiologiquement seul les coliformes fécaux permet de juger la qualité de l'eau (BAUMONT et al., 2004; CARRÉ, 2017).

Le Tableau III.4 présente les niveaux de qualité pour quelques pays ou régions. Seules les normes relatives à un ou plusieurs des usages suivants sont présentées : irrigation de cultures non transformées, usage urbain non restreint (contact direct potentiel du public avec les EUT), usage environnemental non restreint, usage potable indirect. Dans les pays où l'usage agricole est important (Israël, Italie, Espagne, Jordanie, Tunisie), les paramètres pouvant affecter la fertilité des sols, comme la conductivité, sont pris en compte (CARRÉ, 2017).



### III.5.2. Normes nationales

L'arrêté interministériel du 2 janvier 2012 fixe les spécifications des eaux usées épurées utilisées à des fins d'irrigation (**Tableau III.5**). Cependant, seules les cultures spécifiées par l'arrêté du 2 janvier 2012 peuvent être irriguées avec des eaux usées épurées, comme les arbres fruitiers, agrumes, cultures fourragères, cultures industrielles, cultures céréalières, cultures de production de semences d'arbustes fourragers et les plantes florales (**Tableau III.6**). Ces spécifications sont établies par rapport au risque que les eaux usées puissent présenter des dangers pathogènes pour la santé humaine et faire suffoquer l'écosystème.

### III.6. Méthodes d'irrigation avec les eaux usées épurées :

#### III.6.1. Irrigation localisée :

L'irrigation localisée consiste à placer un réseau de canalisation (rampes, gaines) couvrant toute la surface irriguée, et apporter l'eau au voisinage de la plante (**HENNEB, 2010**). Dans la littérature, on peut trouver plusieurs définitions de ce concept : micro-irrigation, l'irrigation goutte à goutte (Figures III.5 et III.6), irrigation localisée (**HENNEB, 2010**).

#### - Avantages :

- Une grande économie d'eau avec une efficacité d'application très élevée estimée à 90%
- Control des quantités d'eau et de fertilisants apportées.
- Elle permet de limiter les risques sanitaires liés à l'irrigation à partir d'eaux usées épurées, l'eau s'infiltré dans le sol aussitôt sortie du distributeur (**TEBESSI et BAHLOUL, 2014**).

#### -Inconvénients :

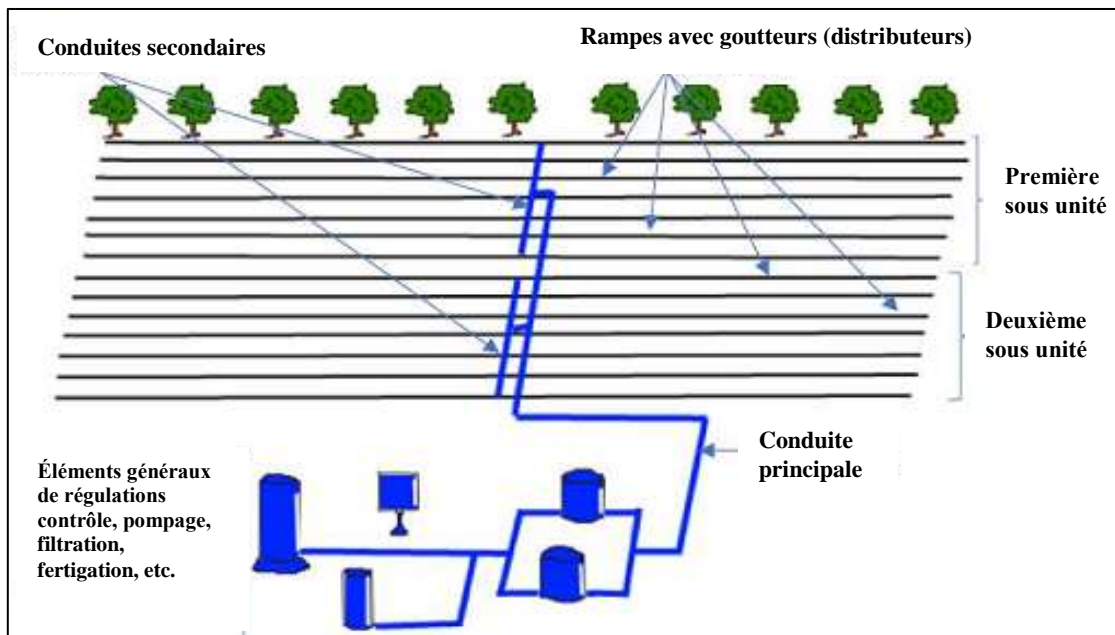
- Sensibilité au colmatage : la performance de l'irrigation localisée est fortement liée à la qualité des eaux d'irrigation.

**III.6.2. Irrigation par aspersion :** Les cultures et le sol sont mouillés de la même manière qu'avec la pluie (**FAO, 2003**). Le schéma (Figure.III.7) d'un réseau d'irrigation par aspersion type comporte les éléments suivants : l'unité de pompage, les canalisations principales et d'approche, les rampes, les asperseurs. Ce type d'irrigation entraîne le mouillage des feuilles et des fruits, donc, dans le cas d'utilisation d'eaux usées urbaines, risques de contamination par des microorganismes pathogènes elle entraîne aussi la production d'aérosols. Ceux-ci, dispersés par le vent peuvent propager les germes pathogènes vers les voies de circulation et les habitants (**FAO, 2003**) (Figure III.8).

**III.6.3. Irrigation souterraine.** Ce système n'est pas encore employé avec l'eau usée, mais il pourrait être utile pour irriguer avec de l'eau usée de mauvaise qualité et à risque sanitaire élevé (FAO, 2003). L'irrigation souterraine et l'irrigation localisée peuvent assurer une meilleure protection sanitaire.

**III.6.4. Irrigation à la raie :**

Technique pouvant être automatisée d'où la limitation du contact physique entre l'irrigant et les eaux. Le feuillage des plantes basses n'est pas mouillé, ce qui élimine les souillures et un certain nombre de maladies (FAO, 2003). Cette technique est utilisée pour les cultures semées en billon telle que la betterave à sucre et la pomme de terre. L'irrigation par siphon s'adapte bien à l'irrigation des raies (Figure III.9) (BOUTI, 2021). L'irrigation à la raie par gaine souple (est posée dans une rigole préparée à l'avance pour éviter les déplacements de la gaine une fois remplie d'eau. La pose peut être effectuée à l'aide d'un engin ou d'un petit tracteur (Figure III.9) (BOUTI, 2021). Les perforations peuvent être effectuées sur un ou deux côtés.



**Figure III.5 :** Schéma d'une installation de réseau goutte à goutte (AMOURA, 2023).

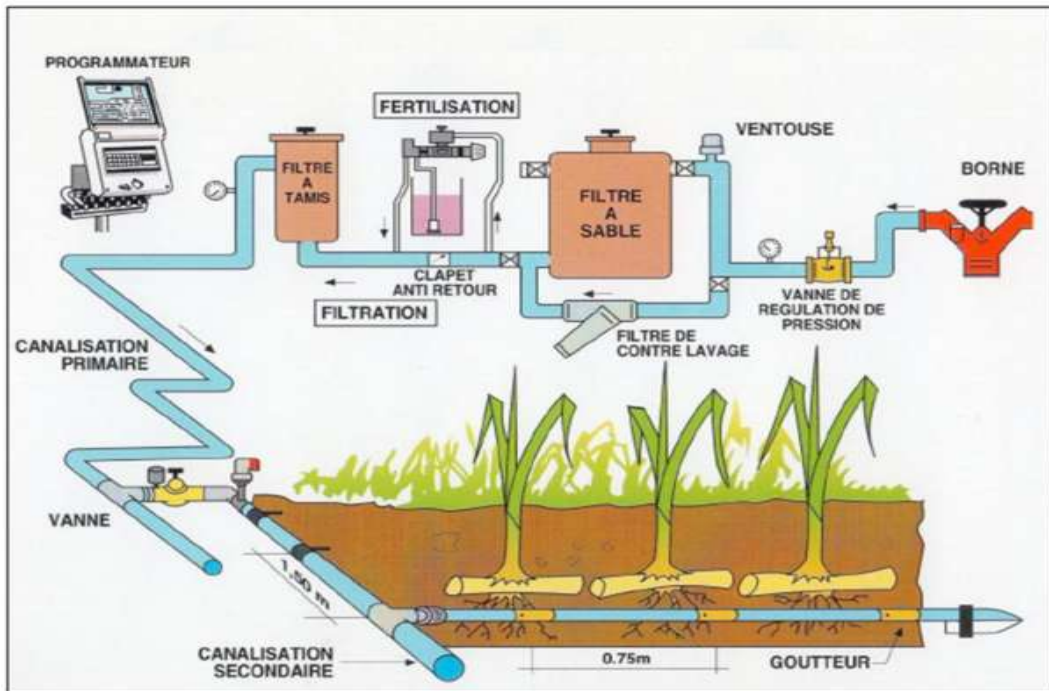


Figure III.6 : Schéma de principe du réseau d'irrigation au goutte à goutte (EL OUAHABI et BENJELLOUN, 2013)

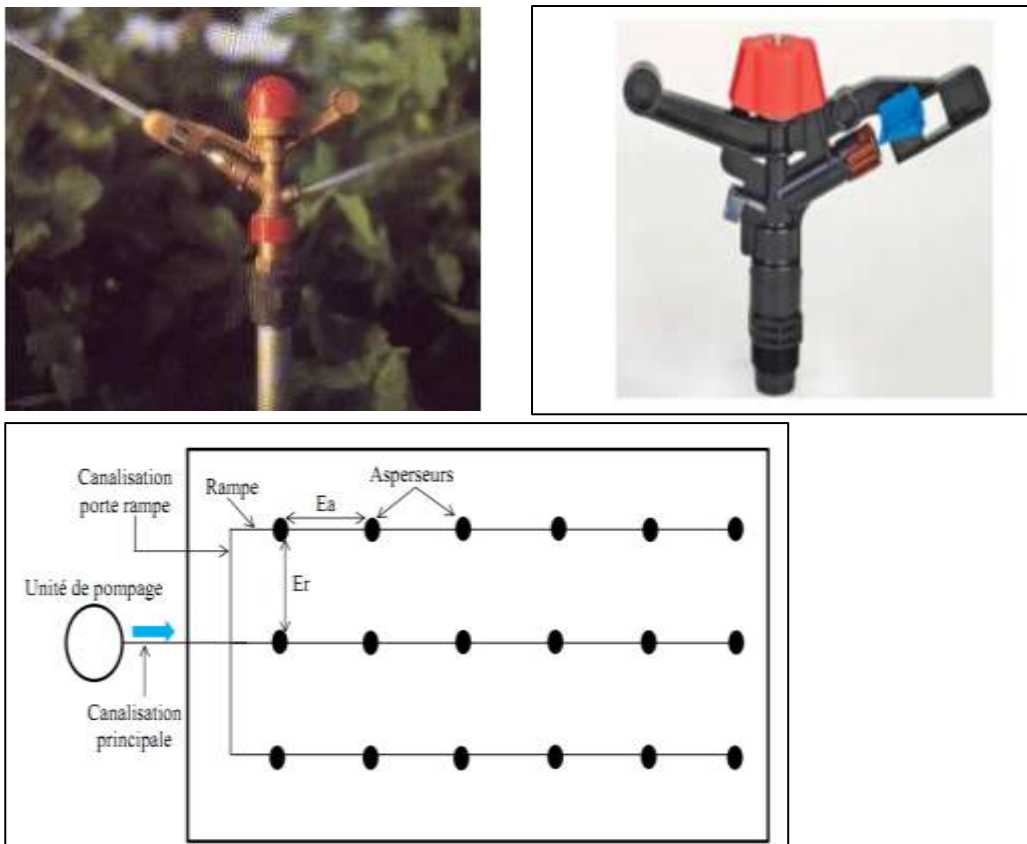


Figure III.7 : Irrigation par aspersion (ECHIKR, 2018)



Figure III.8 : Irrigation par aspersion (MEFTI, 2015)



Figure III.9 : Irrigation a la raie (MEFTI, 2015)



**Tableau III.4 :** Exemples de normes de qualité pour des eaux usées traitées destinées à au moins un des usages déférentes dans différents pays du monde (CARRÉ, 2017).

Pays	Usages autorisées	Paramètres physico-chimiques	Paramètres microbiologiques	Traitements minimum requis	Références
USA	Cultures non transformées Usage urbain non restreint Usage environnemental non restreint Usage potable indirect	pH entre 6 et 9 DBO ≤ 10mg/l Turbidité ≤ 2 NTU	Coliformes fécaux non détectés dans 100 ml Chlore résiduel à 1 mg/l	Secondaire Filtration Désinfection	(US EPA, 2012)
Californie	Cultures non transformées Usage urbain non restreint Usage environnemental non restreint	Turbidité ≤ 2 NTU	Coliformes totaux ≤ 2,2 UFC/100 ml (médiane sur 7 jours)	Secondaire Filtration Désinfection	(State of California, 2001)
Victoria (Australie)	Cultures non transformées Usage urbain non restreint	pH entre 6 et 9 DBO ≤ 10 mg/l MES ≤ 10 mg/l Turbidité ≤ 2 NTU	E. coli ≤ 10 UFC/100 ml Œufs d'Helminthes < 1/L Protozoaires < 1/50 L Virus < 1/50L Chlore résiduel à 1 mg/l	Secondaire Filtration Désinfection	(EPA Victoria, 2003)
Israël	Cultures non transformées Usage urbain non restreint	pH entre 6,5 et 8,5 DBO ≤ 10 mg/L DCO ≤ 100 mg/L MES ≤ 10 mg/L	E. coli ≤ 10 UFC/100 mL Chlore résiduel à 1 mg/L	/	(MERAP, 2010; Ministry of health of

		<p>Azote total <math>\leq 25</math> mg/L                  Phosphore total <math>\leq 5</math> mg/L                  Conductivité <math>&lt; 1400</math> <math>\mu</math>S/cm                  Oxygène dissous <math>\geq 0,5</math> mg/L</p>			<p>Israel,                  1999)</p>
Tunisie	<p>Cultures non transformées</p>	<p>pH entre 6,5 et 8,5                  DBO <math>\leq 30</math> mg/L                  DCO <math>\leq 90</math> mg/L                  MES <math>\leq 30</math> mg/L                  Azote total <math>\leq 100</math> mg/L                  Phosphore total <math>\leq 10</math> mg/L</p>	<p>Coliformes fécaux <math>\leq 2000</math>                  UFC/100 mL                  Streptocoques fécaux <math>\leq 1000</math>                  UFC/100 mL                  Salmonelles : absence dans 5                  L                  Vibrions cholériques :                  absence                  dans 5 L</p>	/	<p>(INNORPI,                  1989)</p>
Italie	<p>Cultures non transformées                  Usage urbain non restreint</p>	<p>pH entre 6 et 9,5                  DBO <math>\leq 20</math> mg/L                  DCO <math>\leq 100</math> mg/L                  MES <math>\leq 10</math> mg/L                  Azote total <math>\leq 15</math> mg/L                  Phosphore total <math>\leq 2</math> mg/L                  Conductivité <math>&lt; 3000</math> <math>\mu</math>S/cm</p>	<p>E. coli <math>\leq 10</math> UFC/100 mL                  (50 si                  lagunage)                  Salmonelles : absence dans 1                  L</p>	/	<p>(GU, 2006)</p>
Espagne	<p>Cultures non transformées</p>	<p>MES <math>\leq 20</math> mg/L                  Turbidité <math>\leq 10</math> NTU</p>	<p>E. coli <math>\leq 100</math> UFC/100 mL                  Œufs de nématodes <math>&lt; 1/10</math> L                  (Legionella sp. <math>\leq 1000</math></p>		<p>(BOE, 2007)</p>

			UFC/L si aspersion)		
	Usage urbain non restreint		E. coli $\leq$ 200 UFC/100 mL Œufs de nématodes $<$ 1/10 L		
	Usage potable indirect	MES $\leq$ 35 mg/L	E. coli $\leq$ 1000 UFC/100 mL		
France	Cultures non transformées Usage urbain non restreint (irrigation d'espaces verts seulement)	DCO $\leq$ 60 mg/L MES $\leq$ 15 mg/L	E. coli $\leq$ 250 UFC/100 mL Entérocoques fécaux, Bactériophages ARNfs spécifiques, Spores de BASR : Abb. $\geq$ 4 log ou $\leq$ 10 UFC/100 mL	/	(DGS, 2016; JORF, 2014)

**Tableau III.5.** Les normes Algériennes des eaux usées épurées utilisées à des fins d'irrigation- paramètres physico-chimiques (**Journal Officiel de la République Algérienne, N°41, Janvier 2012**)

	Paramètres	Unité	Concentration maximale admissible
Physiques	pH	-	$6.5 \leq \text{pH} \leq 8.5$
	MES	mg/l	30
	CE	ds/m	3
	Infiltration le SAR = 0 - 3 CE	ds/cm	0.2
	3-6		0.3
	6-12		0.5
	12-20		1.3
	20-40		3
Chimiques	DBO5	mg/l	30
	DCO	mg/l	90
	CHLORURE (Cl)	mg/l	10
	AZOTE (NO <sub>3</sub> - N)	mg/l	30
	Bicarbonate (HCO <sub>3</sub> )	mg/l	8.5
Éléments toxiques	Aluminium	mg/l	20
	Arsenic	mg/l	2
	Béryllium	mg/l	0.5
	Bore	mg/l	2
	Cadmium	mg/l	0.05
	Chrome	mg/l	1
	Cobalt	mg/l	5
	Cuivre	mg/l	5
	Cyanures	mg/l	0.5
	Fluor	mg/l	15
	Fer	mg/l	20
	Phénols	mg/l	0.002
	Plomb	mg/l	10
	Lithium	mg/l	2.5
	Manganèse	mg/l	10
	Mercure	mg/l	0.01
	Molybdène	mg/l	0.05
	Nickel	mg/l	2
	Sélénium	mg/l	0.02
	Vanadium	mg/l	1
Zinc	mg/l	10	



**Tableau III.6.** Liste des cultures pouvant être irriguées avec des eaux usées épurées (**Journal Officiel de la République Algérienne, N°41, Janvier 2012**)

<b>Groupes de cultures pouvant être irriguées avec des eaux usées épurées</b>	<b>Liste des cultures</b>
<b>Arbres fruitiers (1)</b>	Dattiers, vigne, pomme, pêche, poire, abricot, nêfle, cerise, prune, nectarine, grenade, figue, rhubarbe, arachides, noix, olive.
<b>Agrumes</b>	Pamplemousse, citron, orange, mandarine, tangerine, lime, clémentine.
<b>Cultures fourragères (2)</b>	Bersim, maïs, sorgho fourragers, vesce et luzerne
<b>Culture industrielles</b>	Tomate industrielle, haricot à rames, petit pois à rames, betterave sucrière, coton, tabac, lin.
<b>Cultures céréalières</b>	Blé, orge, triticales et avoine.
<b>Cultures de production de semences</b>	Pomme de terre, haricot et petit pois.
<b>Arbustes fourragers</b>	Acacia et atriplex
<b>Plantes florales à sécher ou à usage industriel</b>	Rosier, iris, jasmin, marjolaine et romarin.

(1) L'irrigation avec des eaux usées épurées est permise à condition que l'on cesse l'irrigation au moins deux (2) semaines avant la récolte. Les fruits tombés au sol ne sont pas ramassés et sont à détruire.

(2) Le pâturage direct dans les parcelles irriguées par les eaux usées Épurées est strictement interdit et, ce afin de prévenir toute contamination du cheptel et par conséquent des consommateurs.

### III.7. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté les différents domaines de réutilisation des eaux épurées, les critères de qualité des eaux usées pour l'irrigation et les normes liées à la réutilisation des eaux épurées en agriculture. La réutilisation des eaux usées épurées (REUE) présente l'avantage majeur d'assurer une ressource alternative permettant de faire face aux pénuries d'eau ou aux périodes de sécheresses surtout dans un pays semi-aride et aride comme l'Algérie, qui souffre de la rareté de cette ressource vitale. Du point de vue environnemental, la REUE permet la protection des milieux récepteurs et la réduction des rejets des polluants.

*PARTIE II :*  
*ÉTUDE DE LA POSSIBILITÉ DE*  
*VALORISATION AGRICOLE DES*  
*EAUX USÉES ÉPURÉES : ÉTUDE*  
*DE CAS DE LA STEP DE DJELFA*

*CHAPITRE IV*

*PRÉSENTATION ET DESCRIPTION  
DE LA STATION D'ÉPURATION DE  
DJELFA*

#### IV.1. Introduction :

Dans la wilaya de Djelfa il existe une seule station d'épuration à boues activées qui a été dimensionnée pour épurer les eaux usées d'origines domestique de la ville de Djelfa. La réalisation de cette STEP s'inscrit dans le cadre de la gestion intégrée des ressources en eau, la protection de l'environnement. La station d'épuration de Djelfa a été construite en 1984, seulement en 1986 qu'a été mise en exploitation par les services de l'APC, par manque de main d'œuvre spécialisée, elle a été soumise aux arrêts jusqu'à son inauguration après réhabilitation et extension en 2014 (**DIF et KAMEL ; 2017**). Les travaux de réhabilitation et extension ainsi que les équipements de la station d'épuration ont été réalisés par BUTEC en Joint-Venture avec OTV, Veolia par supervision des services de l'ONA (**SAHARA ET HARICHE; 2019**).

Dans ce chapitre, nous allons exposer le principe de fonctionnement de la STEP de Djelfa en décrivant les différents procédés de traitement de l'eau usée et des boues au sein de la station.

#### IV.2. Situation géographique de la STEP de Djelfa :

Le site de la station d'épuration est défini par l'étude d'assainissement, qui le mit en aval dans le côté nord de la ville de Djelfa dans le lieu dite Kaf Haouas, à une distance de 3 km du centre de ville Djelfa, en côtoyant oued Mellah (**Figure IV.1**) (**SAHARA et HARICHE, 2019**). Ainsi limité :

- au Nord : par l'ancienne route nationale N°1 et oued Mellah.
- au Sud : par une butte.
- à l'est : par un abattoir communal.
- à l'ouest : par un terrain nu.

Les rejets de la ville de Djelfa sont unifiés, et aboutissent à la STEP par gravité à l'aide d'un seul collecteur de diamètre 1500mm muni à l'aval d'un déversoir d'orage qui sert à limiter le débit d'eau à traiter à 4500 m<sup>3</sup>/h. La STEP de la ville de Djelfa a été dimensionnée selon les caractéristiques de l'eau brute, données dans le **tableau IV .1**.

Les références de garanties données par l'OTV selon le cahier de charge et étude (**Tableau IV .2 et Tableau IV.3**)

Le niveau de rejet à respecter sur la bactériologie pour station d'épuration de Djelfa est le suivant :

- Coliformes totaux : 50 000 unités /100 ml.
- Coliformes fécaux : 20 000 unités/100 ml.
- Streptocoques fécaux : 10 000 unités/100 ml.



**Figure IV.1 :** Vue en plan du projet STEP Djelfa (Source : ONA Djelfa)

**Tableau IV.1 :** Base de dimensionnement et caractéristiques de l'eau à traiter

Paramètre	Unités	Valeur
Capacité de traitement	EH	270000
Débit journalier	m <sup>3</sup> /j	27800
Débit horaire moyenne	m <sup>3</sup> /h	1158
Débit horaire pointe temps sec	m <sup>3</sup> /h	2360
DBO <sub>5</sub>	Kg/j	9090
DCO	Kg/j	23005
MES	Kg/j	9944
N-Kjehldal	Kg/j	1698
Pt	Kg/j	365

Source: OTV France STEP Djelfa 2014

**Tableau IV.2 :** Débits et charges polluantes à l'entrée de la STEP Djelfa.

Données	Unité	Valeur annuelle moyenne	Valeur pointe temps sec
Capacité de traitement	EH	270 000	270 000
Débit journalier	m <sup>3</sup> /j	25 700	36 300
Débit horaire moyen	m <sup>3</sup> /h	1 070	1 512
Coefficient de pointe	-	2,2	1
Débit de pointe	m <sup>3</sup> /h	2 360	2 360
Données	Unité	Charge journalière	Charge journalière
Demande Biologique en Oxygène (DBO <sub>5</sub> )	kg/j	8 930	14 850
Demande Chimique en Oxygène (DCO)	kg/j	22 500	37 125
Matière En Suspension (MES)	kg/j	9 760	17 820
Azote (NTK)	kg/j	1 690	2 700
Phosphore (P)	kg/j	360	536

Source: OTV France STEP Djelfa 2014

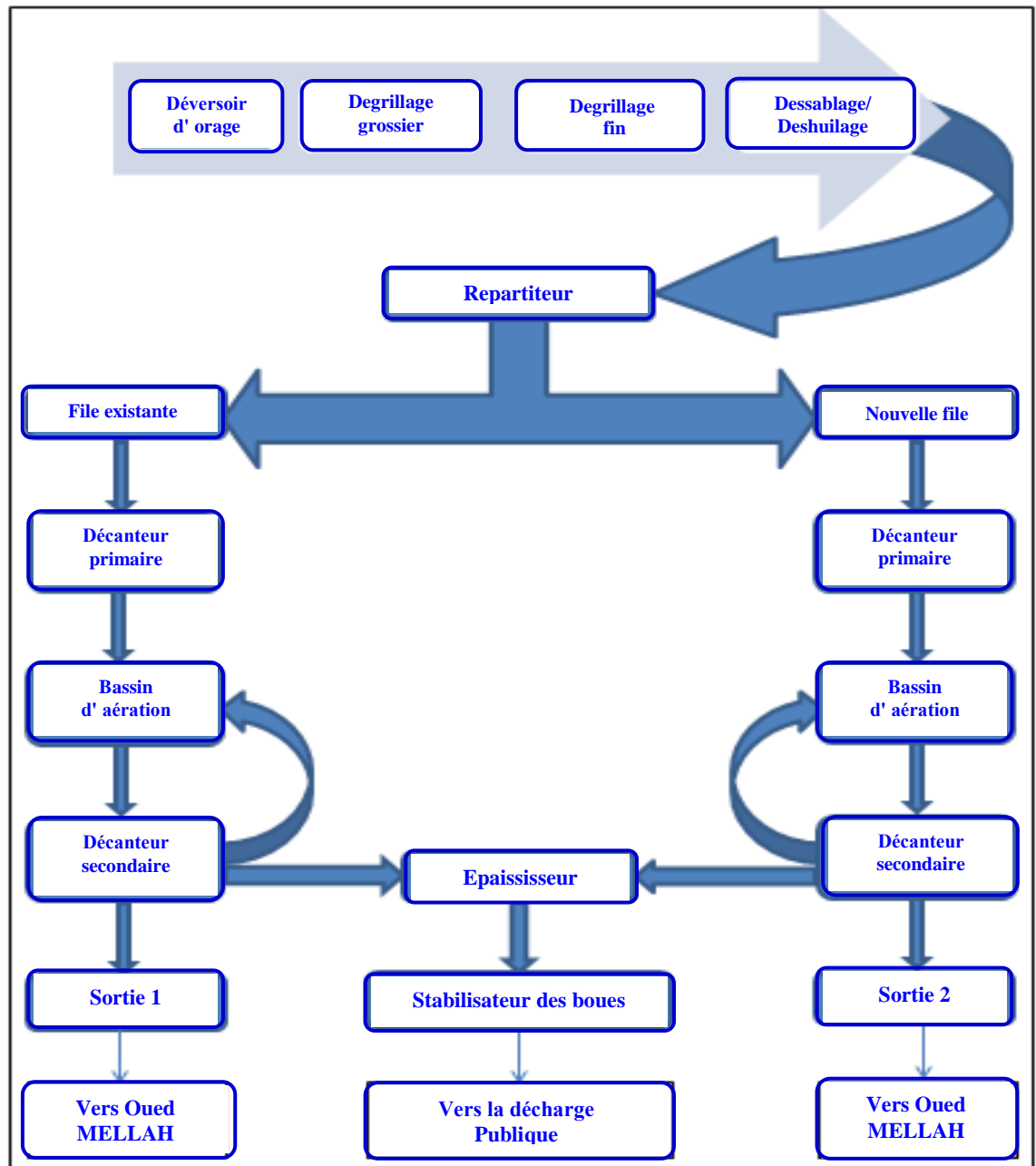
**Tableau IV.3 :** Charges polluantes à la sortie de la STEP Djelfa.

Paramètre	Effluents traités	effluents bruts/traités
	Concentration (mg/l) Moyenne 24h Temps sec	Rendement %
DBO <sub>5</sub>	25	80
DCO	125	75
MES	35	90

Source: OTV France step Djelfa 2014

**IV.3. Description des procédés d'épuration de la STEP de Djelfa :**

La station d'épuration fonctionne à moyenne charge massique (**Figure IV.1**). Par ce procédé, nous obtenons une bonne efficacité d'élimination de la DBO. La stabilisation (minéralisation) des boues s'effectue dans le bassin d'aération. La station d'épuration de la ville de Djelfa est composée de deux files : une file existante et une nouvelle file, comme le montre le schéma dans la **Figure IV.2**. Les deux files partagent une seule entrée de l'eau brute. Tout en sachant que le processus de l'épuration comprend deux lignes de traitement, une ligne d'eau et une ligne de boue (**SAHARA et HARICHE ; 2019**).



**Figure IV.2 :** Schéma général représentatif de la STEP de Djelfa (Sahara et Hariche, 2019)

### IV.3.1. L'épuration des eaux

#### IV.3.1.1. Prétraitement

##### IV.3.1.1.1. Dégrillage grossier :

Composés de deux dégrilleurs (**Figure IV.3**), le débit que peut supporter chaque dégrilleur est de  $3400 \text{ m}^3/\text{h}$  ; Ce traitement a pour but de séparer et d'évacuer les macro-déchets  $> 70 \text{ mm}$ , les matières grossières la déverse dans une benne (**RAGAA et HAOUATI, 2014**). Cet atelier combine les fonctions suivantes :

- Dégrillage mécanique ;



- Transport des refus ;
- Stockage des déchets.



**Figure IV.3 :** Dégrilleur grossier automatique

#### **IV.3.1.1.2. Canal de comptage d'eau brute :**

Le canal de sortie de dégrilleur grossier continue par un canal de mesure de débit de la STEP, le débit d'eau est mesuré par un débitmètre électromagnétique (**SAHARA et HARICHE ; 2019**). Le champ magnétique avec une puissance constante est généré par deux bobines magnétiques situées des deux côtés du tube de mesure (**SAHARA et HARICHE ; 2019**). Perpendiculairement à cela, deux électrodes montées sur la paroi interne de la conduite mesurent la tension produite lors du passage du fluide. La tension induite est proportionnelle à la vitesse d'écoulement et de ce fait au débit volumique



#### IV.3.1.1.3. Dégrillage fin automatique :

La station d'épuration est équipée par trois dégrilleurs fin chaque dégrilleur d'une capacité de 1700 m<sup>3</sup>/h, a pour fonctionnalité le traitement des effluents par la séparation et l'évacuation la macro-déchets > 10 mm, ainsi les matières grossières le dévers dans une benne (RAGAA et HAOUATI, 2014). Cet atelier combine les fonctions suivantes :

- Dégrillage mécanique ;
- Transport des refus ;
- Compactage des refus

#### IV.3.1.1.4. Chenal d'échantillonnage d'eau brute :

Les échantillons d'eau sont prélevés par un préleveur automatique (Figure IV.5) situé entre le dégrillage fin et le bassin de dessablage-déshuilage (SAHARA ET HARICHE ; 2019).

#### IV.3.1.1.5 Dessablage –Déshuilage :

Le dessablage et le déshuilage se réalisent dans un même ouvrage : les sables décantent au fond de celui-ci tandis que les graisses remontent en surface. Par un débit par ouvrage de 1700 m<sup>3</sup>/h, les eaux dégrillées alimentent gravitairement les deux dessaleurs-déshuileurs (Figure IV.6), les dimensions des bassins sont données dans le Tableau IV.4.



Figure IV.4 : Dégrillage fin automatique

**IV.3.1.1.6. Ouvrage de Répartition/ Ecrêtage :**

Après prétraitements les effluents sont admis dans un ouvrage de répartition (**Figure IV.7**) permettant d'orienter les flux suivants (**RAGAA et HAOUATI, 2014; HAOUATI, E.H. 2020**) :

- 2360 m<sup>3</sup>/h vers le traitement biologique répartis pour 42% vers la chaîne de traitement existante (991 m<sup>3</sup>/h), et 58 % vers les deux nouvelles chaînes de traitement (1369 m<sup>3</sup>/h),
- 1040 m<sup>3</sup>/h en by pass.

**Tableau IV.4 : Caractéristiques du dessableur/ déshuileur**

Dimension	Unité	Valeur
Longueur	m	28
Largeur	m	6
Hauteur	m	10.12
Nombre de bassins	/	2
Volume	m <sup>3</sup>	3400

**Source: OTV France STEP Djelfa**



**Figure IV.5 : Préleveur d'échantillons automatique**



Figure IV.6 : Dessableur/Déshuileur



Figure IV.7 : Répartiteur

#### IV.3.1.2. Première file (File existante)

##### IV.3.1.2.1. Traitement primaire :

Les effluents prétraités sont orientés via un répartiteur, vers le décanteur primaire existant (**Figure IV.8**). Les rendements de la décantation primaire pour la file existante sont (ONA de Djelfa) :

- Un abattement de 30% des charges entrantes de DCO
- Un abattement de 55 % des charges entrantes des MES

Les eaux décantées, récupérées par surverse, sont ensuite orientées vers le traitement biologique. Les matières décantées, appelées boues primaires, sont extraites régulièrement pour être envoyées vers l'étape d'épaississement des boues.



**Figure IV.8** : Décanteur primaire file existant

#### **IV.3.1.2.2. Traitement biologique :**

##### **IV.3.1.2.2.1. Bassin d'aération :**

En provenance du traitement primaire, les eaux arrivent au bassin d'aération. Le volume total disponible (3 bassins) pour le traitement biologique est de 4461 m<sup>3</sup> car le bassin de stabilisation est réhabilité en bassin d'aération (**Figure IV.9**). Avec un effluent aéré, les bactéries trouvent des conditions favorables pour leur développement : elles disposent d'oxygène et d'un substrat carboné (**RAGAA ET HAOUATI, 2014; HAOUATI, E.H. 2020**). Dans les bassins, une aération efficace est nécessaire à la bonne dégradation de la pollution et à une parfaite maîtrise des coûts de fonctionnement. Aussi, l'aération est réalisée par des turbines de surface. Dans les bassins, il se déroule les réactions biologiques suivantes :



- Dégradation du substrat organique,
- Synthèse cellulaire

Les bases de dimensionnement du bassin d'aération pour la première file 42 % de la pollution entrante, sont données dans les tableaux **IV.7 et IV.8**

#### IV.3.1.2.2. Décantation secondaire :

La liqueur mixte de boues activées est ensuite dirigée sur les ouvrages de décantation secondaire, après passage dans un ouvrage de répartition (**Figure IV.10**). La clarification est réalisée dans les deux ouvrages existants avec les caractéristiques suivantes (**Tableaux IV.9 et IV.10**).

**Tableau IV.5 :** Débits entrée à file existante.

Données	Unité	Valeur annuelle moyenne	Valeur pointe temps sec
Débit journalier	m <sup>3</sup> /j	11 676	15 246
Débit horaire moyen	m <sup>3</sup> /h	486,4	635,0
Débit de pointe	m <sup>3</sup> /h	991,2	991,2

Source: OTV France step Djelfa 2014.

**Tableau IV.6 :** Charge entrante sur le traitement biologique file existante

Données	Unité	Charge journalière	Charge journalière
Demande Biologique en Oxygène (DBO5)	kg/j	3 817,8	6 237,0
Demande Chimique en Oxygène (DCO)	kg/j	9 992,1	15 592,5
Matière En Suspension (MES)	kg/j	4176,5	7 484,4
Azote (NTK)	kg/j	713,2	1 134,0
Phosphore (P)	kg/j	153,3	226,8

Source: OTV France step Djelfa 2014

**Tableau IV.7 :** Dimension de bassin d'aération file existant

Dimension	Unité	Valeur
Longueur	m	41
Largeur	m	25
Hauteur	m	4
Volume	m <sup>3</sup>	4100
Nombre des bassins	/	1

Source: OTV France step Djelfa 2014.

Les principaux paramètres de fonctionnement du bassin d'aération, sont les suivantes :

**Tableau IV.8** Paramètres de bassin d'aération file existante.

Situation	Unité	Valeur annuelle moyenne	Valeur pointe temps sec
Volume biologique retenu total	m <sup>3</sup>	4461	4461
Flux de pollution entrante en DBO5	kg/j	2 672,5	4 365,9
Charge Massique	kg DBO5/kg MVS	0,24	0,40
Charge Volumique	kg DBO5/m <sup>3</sup>	0,60	0,98
Concentration en MEST	g/L	3,86	3,78
Concentration en MVS	g/L	2,47	2,47
Age des boues	Jours	6,47	3,41
Quantité totale de boues activées	kg MES	17 213	16 870
Production de boues	kg/j	2661	4947
Volume journalier	m <sup>3</sup>	472	1 289
Temps de séjour	H	6,11	4,68

Source: OTV France step Djelfa 2014.

**Figure IV.9** : Bassin d'aération file existant

**IV.3.1.2.2.3. Poste de recirculation des boues :**

Le but de recirculation des boues est d'y maintenir une concentration constante de la liqueur mixte permettant de respecter une charge massique de fonctionnement considéré et qui permet de limiter le temps de séjour dans les décanteurs (clarificateurs) pour garantir une bonne qualité et âge de boue bien définie et éviter aussi l'accumulation et débordement du lit de boue dans le décanteur (**RAHLAOUI ;2020**). Il est nécessaire de contrôler la quantité de boues recirculées. Si la quantité de boues recirculées est trop importante, des problèmes d'ordre hydraulique risquent d'apparaître sur le clarificateur par imposition d'une charge au radier trop importante. Si elle est trop faible, cela entraîne un stockage des boues dans le clarificateur. Il y a alors risque d'anoxie prolongée des boues et donc d'une dénitrification dans le clarificateur, provoquant un entraînement des boues vers la surverse (**SAHARA et HARICHE ; 2019**). Le débit des pompes de recirculation est contrôlé par l'installation d'une mesure de débit électromagnétique sur la canalisation de refoulement des boues (**RAGAA et HAOUATI, 2014; HAOUATI, E.H. 2020**).

**Tableau IV.9 : Dimensions de décanteur secondaire file existante**

Dimension	Unité	File existant
Diamètre intérieur	m	30
Hauteur d'eau en périphérie	m	2.2
Surface de clarification	m <sup>2</sup>	706
Volume de bassin	m <sup>3</sup>	1837
Forme	/	Cylindro-conique

Source: OTV France STEP Djelfa 2014

**Tableau IV.10 : Paramètres entrée clarificateur file existante**

Paramètre	Unité	Valeur annuelle moyenne	Valeur pointe temps sec
Débit entrant par ouvrage	m <sup>3</sup> /h	486,4	991,2
Vitesse ascensionnelle	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .h	0 ,34	0,70
Temps de passage	h	6,30	3,09

Source: OTV France STEP Djelfa 2014



**Figure IV.10 :** Décanteur secondaire (clarificateur) file existante

#### **IV.3.1.2.2.3. Traitement tertiaire :**

Ce traitement a pour objectif principal d'améliorer la qualité bactériologique par l'utilisation des procédés de désinfection (la chloration, l'ozonation et le rayonnement ultraviolet (UV)). Dans la STEP de Djelfa la désinfection est réalisé par injection d'eau de javel dans un bassin de contact équipé de chicanes qui permet un temps de contact de 15 mn par rapport au débit maximal. Le réactif stocké dans une cuve verticale de 30 m<sup>3</sup> est injecté par une pompe doseuse de débit 50 à 150 l/h avec un secours en atelier (**Figure IV.11**). Les caractéristiques de l'ouvrage sont :

- Cotés : 8,50 m
- Hauteur d'effluents : 3,70 m
- Volume utile : 250 m<sup>3</sup>
- Temps de passage : 15 mn

#### **IV.3.1.3. Deuxième file (Nouvelle file)**

##### **IV.3.1.3.1. Traitement primaire :**

À la sortie de l'ouvrage de dessablage-déshuilage, Les effluents prétraités sont orientés via un répartiteur, vers deux décanteurs primaires (**Figure IV.12**). Chaque ouvrage est de 25m de diamètre, d'une hauteur d'eau cylindrique de 2,5 m et d'un volume utile de 1227 m<sup>3</sup> (**RAGAA et HAOUATI, 2014**). Les boues primaires sont raclées vers un puits central, d'où elles sont aspirées pour chaque ouvrage par une pompe et envoyées en stabilisation. Les rendements de la décantation primaire sont (**SAHARA et HARICHE ; 2019**):

- DCO : abattement de 30% des charges entrantes



- MES : abattement de 55 % des charges entrantes



**Figure IV.11** : Station de chloration file existante



**Figure IV.12** : Décanteur primaire nouvelle file

#### **IV.3.1.3.2. Traitement biologique :**

En aval de la décantation primaire, les effluents transitent par un nouvel ouvrage de répartition qui permet une équi-alimentation des chaînes biologiques, et éventuellement le by pass d'une chaîne de traitement. Dans ce cas l'ensemble des effluents est admis sur une seule chaîne de traitement (SAHARA et HARICHE ; 2019).

**IV.3.1.3.2.1. Bassin d'aération :**

Pour ces nouvelles lignes de traitement l'aération est effectuée dans deux bassins identiques de volume unitaire  $3208 \text{ m}^3$ , soit un total de  $6416 \text{ m}^3$  (**Figure IV.13**) (**SAHARA et HARICHE ; 2019**). Les principaux paramètres de fonctionnement du bassin d'aération, sont les suivants :

**Tableau IV.11 : Débit et vitesse entrée à décanteurs primaires.**

Situation	Unité	Valeur annuelle moyenne	Valeur pointe temps sec
Débit entrant par ligne	m <sup>3</sup> /h	372	684,0
Vitesse ascensionnelle	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .h	0,69	1,40
Temps de passage	h	3,65	1,79

Source: OTV France step Djelfa 2014.

**Tableau IV.12 : Les principaux paramètres du bassin d'aération nouvelle file.**

Situation	Unité	Valeur annuelle moyenne	Valeur pointe temps sec
Volume biologique retenu total	m <sup>3</sup>	6 416	6 416
Flux de pollution entrante en DBO <sub>5</sub>	kg/j	3 690,6	6 029,1
Charge Massique	kg DBO <sub>5</sub> /kg MVS	0,24	0,40
Charge Volumique	kg DBO <sub>5</sub> /m <sup>3</sup>	0,58	0,94
Concentration en MEST	g/L	3,71	3,63
Concentration en MVS	g/L	2,37	2,37
Age des boues	Jours	6,47	3,41
Quantité totale de boues activées	kg MES	23 785	23 314
Production de boues	kg/j	3 501	6 519
Temps de séjour	H	6,11	4,68

Source: OTV France step Djelfa 2014.

**IV.3.1.3.2.2. Décantation secondaire (clarificateur) :**

La nouvelle file dispose de deux décanteurs secondaires de forme circulaire (**Figure IV.14**). Chaque ouvrage, de forme cylindro-conique, a les dimensions suivantes:

- Diamètre = 36 m ;
- Hauteur cylindrique = 3,80 m ;
- Volume =  $3868 \text{ m}^3$ .

**Tableau IV.13** : Débit et vitesse entrée clarificateurs nouvelle file.

Situation	Unité	Valeur annuelle moyenne	Valeur pointe temps sec
Débit entrant par ouvrage	m <sup>3</sup> /h	335,8	684,4
Vitesse ascensionnelle	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .h	0,33	0,43
Temps de passage	h	11,43	5,61

Source: OTV France step Djelfa 2014.

#### IV.3.1.3.2.3. Poste de recirculation des boues :

La recirculation des boues recueillies dans les clarificateurs a pour objectif de maintenir la concentration en biomasse épuratrice dans les bassins d'aération (**SAHARA et HARICHE ; 2019**).



**Figure IV.13** : Bassin d'aération nouvelle file



Figure IV.14 : Décanteur secondaire nouvelle file

#### IV.3.1.3.3. Désinfection et comptage de l'eau épurée :

##### IV.3.1.3.3.1. Canal de comptage et d'échantillonnage :

La mesure de débit finale permet de connaître les flux traités rejetés dans le milieu naturel. Elle est effectuée pour chaque ligne de traitement par un canal ouvert équipé d'un canal venturi et d'une sonde de type ultrason qui permettent de connaître les flux instantanés transitant par cet ouvrage ainsi que leur totalisation (RAGAA et HAOUATI, 2014). À ce niveau est présent le préleveur automatique de contrôle des effluents de sortie sur la chaîne existante. Celui-ci est thermostaté à 4 °C, sous abri, ouvert en face avant et est isotherme (RAGAA et HAOUATI, 2014).

##### IV.3.1.3.3.2. Bassin de chloration :

Les eaux épurées sont introduites, après une désinfection par l'injection d'eau de javel, dans le bassin de contact en béton de type chicanes, permettant d'assurer un bon mélange de la solution avec l'eau épurée (Figure IV.15). Le réactif stocké dans une cuve verticale de 30 m<sup>3</sup> est injecté par une pompe doseuse de débit 50 à 150 l/h avec un secours en atelier (SAHARA et HARICHE ; 2019). Les caractéristiques de ce bassin sont :

- Cotés 10 m ;
- Hauteur 3,7 m ;
- Volume utile 350 m.
- Temps de contact : 15 mn





**Figure IV.15:** Station de chloration nouvelle file

#### **IV.3.1.3.4. Ligne de traitement des boues :**

Le traitement des boues issues de la décantation comporte deux étapes :

- un épaissement statique,
- une déshydratation mécanique : les boues épaissies sont d'abord floculées avant d'être envoyées sur une bande presseuse.

#### **IV.3.1.1.4.2. Épaississement des boues :**

La concentration de la matière dans cet ouvrage après un temps de stockage d'une journée est comprise entre 30 et 40 g/l suivant les taux d'apports de boues primaires, et biologiques (**Figure IV.16**). Par sécurité nous retenons la valeur moyenne de 35 g/l.

L'ouvrage proposé a les caractéristiques suivantes :

- Diamètre intérieur : 20 m
- Hauteur d'eau en périphérie : 4,10 m
- Volume : 1 444 m<sup>3</sup>

#### **IV.3.1.3.4.2. Stabilisation des boues :**

La stabilisation aérobie des boues a pour but la réduction de matières organiques dans la masse globale des matières à un taux inférieur ou égal à 60%. Les temps de traitement des boues lors d'une stabilisation aérobie sont de 14 jours (**SAHARA et HARICHE; 2019**). L'aération des boues est assurée par 6 turbines verticales dont le rendement d'oxygénation retenu est de 1,85 kg O<sub>2</sub>/kW en conditions standards (**RAGAA et HAOUATI, 2014**).



**Figure IV.16 :** Épaisseur des boues

#### **IV.3.1.3.4.3. Déshydrations :**

Avant que les boues épaissies ne soient envoyées vers une bande presseuse, elles sont d'abord floculées et afin d'améliorer la filtrabilité des boues, l'ajout de polymère en faible quantité est nécessaire. Au niveau de la STEP de Djelfa la déshydrations des boues est réalisées par bande presseuse (**Figure IV.17**). L'atelier de déshydratation a été dimensionné pour un fonctionnement de 16 heures par jour, 6 jours par semaine pour une concentration moyenne de 28,6 g/l (**SAHARA et HARICHE, 2019**).

#### **IV.3.1.3.4.4. Préparation du Polymère :**

Le polymère livré en poudre et stocké dans le local de traitement des boues, il est dosé et dilué avec de l'eau potable. Afin d'assurer une bonne dilution, la préparation automatique est équipée de deux agitateurs pendulaires. Il y a deux pompes de dosage par file, dont une de secours.

#### **IV.3.1.3.4.5. Évacuation et stockage des boues déshydratées :**

Une vis de convoyage reprend la totalité des boues en sortie des filtres et alimente une pompe gaveuse. Celle-ci envoie les boues déshydratées vers différents points de stockage à travers une canalisation en acier noir revêtu époxy :

- 4 bennes de 15 m<sup>3</sup> ;
- deux aires de stockage de 385 m<sup>3</sup> chacune ce qui permet un stockage d'une semaine.

Une tuyauterie équipée d'un joint tournant vient alimenter deux bennes. Lorsqu'une benne est vide, la rotation de la tuyauterie permet d'alimenter l'autre benne. Le volume maximum des boues déshydratées est de 43,8 m<sup>3</sup> par jour de travail à 20% de siccité. Des vannes

guillotines manuelles permettent de choisir le lieu de refoulement des boues (SAHARA et HARICHE ; 2019).



**Figure IV.17 :** Tables et presses à bandes

#### **IV.4. Conclusion :**

Dans ce chapitre, nous avons présenté la station d'épuration de DJELFA, à travers une description détaillée et illustrée de chaque étape de traitement. On a décrit d'une part les différents procédés de traitement des eaux usées, à savoir : les prétraitements, traitement biologique et décantation et d'autre part, le traitement des boues: l'épaississement, la stabilisation et la déshydratation.

# *CHAPITRE V*

## *Matériels et méthodes*



## V.1 Introduction

Pour connaître la qualité de l'eau à la sortie de la station d'épuration de Djelfa et d'évaluer le niveau de pollution en amont et en aval de la station, des analyses sont fréquemment effectuées à l'entrée (eaux brutes) et à la sortie (eaux épurées) de la STEP. Les principaux paramètres, indicateurs de pollution, souvent mesurés sont : la température, le **pH**, la conductivité, les matières en suspension (**MES**), la demande biologique en oxygène (**DBO<sub>5</sub>**), la demande chimique en oxygène (**DCO**), l'azote total (**NT**), les nitrates (**NO<sub>3</sub><sup>-</sup>**), les nitrites (**NO<sub>2</sub><sup>-</sup>**) et le phosphore total (**PT**).

## V.2. Méthodes d'analyse des paramètres physico-chimiques

### V.2.1. pH et température

Le pH et la température sont mesurés au laboratoire à l'aide d'un pH mètre électronique.

#### Mode opératoire:

- Etalonner d'abord le pH mètre,
- Verser une quantité de l'échantillon (entrée et sortie) dans un bécher à chaque prélèvement.
- Rincer la sonde de température et l'électrode à l'eau distillée et les plonger dans l'échantillon.
- Attendre jusqu'à ce que la mesure se stabilise et faire la lecture.

### V.2.2. Conductivité électrique

La conductivité électrique est mesurée à l'aide d'un conductimètre.

#### Mode opératoire:

- Étalonner le conductimètre puis plonger dans l'échantillon, la sonde de la conductivité dans les échantillons à analyser (à l'entrée et à la sortie de la STEP) pour ensuite effectuer la lecture avec une unité de micro siemens ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) ou bien millisiemens par centimètre

### V.2.3. Matières en suspension (MES) (Méthode par filtration selon la norme AFNOR FT 90-105)

Les MES englobent les particules minérales et organiques présentes dans l'échantillon d'eau, alors que les MVS représentent uniquement la fraction organique des MES.

#### Matériel :

- ✓ Papier filtre (Whatman GF-C);
- ✓ Rampe de filtration sous vide ;
- ✓ Pompe à vide ;

- ✓ Etuve (105°C) ;
- ✓ Verrerie de laboratoire ;
- ✓ Balance (0.001 g de précision)

#### Mode opératoire :

- On nettoie des filtres de microfibre de verre à 1,20 µm (Whatman GF-C) et on les place à l'étuve à 105 °C pendant 24 heures pour enlever l'humidité. Puis, on les place dans le dessiccateur et on les pèse avec leurs coupelles (masse  $M_0$ ).
- On filtre les échantillons prélevés sur chaque filtre.

Le volume (V) varie en fonction des teneurs de solides en suspension : 40 mL pour les eaux usées plus chargées et 100 mL pour celles moins concentrées.

- Après la filtration, on place l'ensemble filtre et coupelle dans l'étuve à 105 °C pendant 24 heures.
- On pèse l'ensemble (masse  $M_1$ ), après l'avoir laissé refroidir dans le dessiccateur (environ 20 minutes).

#### Expression des résultats

La concentration en matière en suspension (MES) est calculée selon la formule suivante :

$$MES = \frac{M_1 - M_0}{V} \times 1000$$

**MES** = concentration des matières en suspension (g/L)

**$M_0$**  = masse du papier filtre avant utilisation (g).

**$M_1$**  = masse du papier filtre après utilisation (g).

**V** = volume d'eau utilisé (L).

#### V.2.4. Matières volatiles en suspension (MVS) (norme AFNOR FT 90-029)

Ensuite pour la détermination des MVS, le filtre et les matières sèches sont mis dans un four à moufle réglé à 550°C. Deux heures plus tard, ils sont sortis et placés dans un dessiccateur pour les ramener à la température ambiante. Ils sont alors pesés et la masse  $M_2$  est obtenue. Le calcul des MVS se fait par l'intermédiaire de l'équation suivante :

$$MVS = \frac{M_1 - M_2}{V} \times 1000$$

**Avec :**

**MVS** = concentration des matières volatiles en suspension (g/L)

**$M_1$**  = masse du filtre après filtration et passage à l'étuve (g)

**$M_2$**  = masse du filtre après filtration et passage à l'étuve et au four (g)

V = volume d'échantillon filtré (L)



Filtres vides

Balance de précision

Dispositif de filtration sous vide

Figure V.1: Matériel utilisés pour déterminer les MES.

### V.2.5. Demande biologique en oxygène (DBO<sub>5</sub>) :

Le principe de la méthode consiste à la mesure de la différence de pression dans un système fermé. En effet, dans un flacon en verre contenant un volume déterminé de l'échantillon, on ajoute un inhibiteur de nitrification (la nitrification consomme de l'oxygène) et un barreau d'agitation ; puis le flacon est fermé par un joint en caoutchouc contenant quelques pastilles d'hydroxyde de potassium (KOH) pour piéger le CO<sub>2</sub> dégagé par des bactéries lors de leurs activités respiratoires. L'ensemble est vissé à un système électronique comportant un capteur de pression (Oxytope) et incubé à une température de **20°C** (la température favorable à l'activité des micro-organismes consommateurs d'oxygène), et à l'obscurité (afin d'éviter toute photosynthèse parasite).

Le mode opératoire consiste à :

- On remplit les flacons avec les échantillons d'eau (usée et épurée) et on met un barreau magnétique dans chacun des flacons pour homogénéisation.
- On a ajouté l'inhibiteur de nitrification (le dosage optimal en inhibiteur de nitrification dépend de la plage de mesure) ;
- On rajoute un absorbant dans les bouchons hermétique pour absorber le CO<sub>2</sub>, le plus utilisé et Hydroxyde de potassium (KOH).
- Les échantillons sont placés dans une enceinte thermostatée réglée à 20°C pour une durée de 5 jours.
- On règle (l'appareil BODTRAK) à ZERO et on met l'incubateur en marche pendant 5 jours à 20°C.
- Le résultat sera obtenu directement sur l'afficheur.



Figure V.2 : DBO mètre

### V.2.6. Demande chimique en oxygène (DCO) (norme NF EN ISO 15705)

#### Principe

Le principe repose sur l'oxydation de l'échantillon par le dichromate de potassium ( $K_2Cr_2O_7$ ) en présence d'acide sulfurique ( $H_2SO_4$ ), de sulfate d'argent ( $Ag_2SO_4$ ) (catalyseur) et de sulfate de mercure (II) ( $HgSO_4$ ) (pour complexer les chlorures), et chauffé à  $150^\circ C$  pendant deux heures dans un bloc chauffant (RODIER et al., 2009). La DCO équivalente à la quantité de  $K_2Cr_2O_7$  consommée par l'oxydation des composés organiques est directement lue avec un spectrophotomètre UV-Visible Hach Lange DR3900.

Le mode opératoire consiste à :

- Faire une agitation léger de la solution LCK 114 (eau brute) et LCK 314 (eau épurée) ;
- Introduction de 2 ml d'échantillon dans un tube Hach de la gamme 0-1500 mg/L pour l'effluent d'entrée et de la gamme 0-150 mg/L pour l'effluent de sortie;
- Agiter légèrement la solution et laisser reposer pendant 15 min ;
- Chauffage des tubes hermétiquement fermés à  $148^\circ C$  pendant 2 heures;
- Refroidissement;
- Mesure de l'absorbance au spectrophotomètre DR 3900

### V.2.7. Le phosphore total (PT)

Pour la détermination du phosphore le dosage a été réalisé selon la méthode photométrique par test en cuve HACH LCK350, à l'aide d'un spectrophotomètre.

Le protocole consiste à :

- Prendre deux tubes LCK 350 ;

- Ajouter un volume 0,4 ml de l'échantillon (eaux brute filtrée, eau épurée), dans chaque tube (les réactifs sont fixés à l'intérieur du bouchon des tubes) ;
- Mélanger les tubes ;
- Placer les tubes dans le réacteur DCO dans le compartiment à 100°C pendant 1h ;
- Après 1h laisser les tubes refroidir à une T° ambiante pendant 10 à 15 min ;
- Après refroidissement on ajoute 0.5 ml de réactif LCK 350 (B) pour chaque'un des tubes);
- Agiter les tube ; on change le bouchon du tube avec un bouchon contient le reactif LCK 350 (C) ;
- Agiter et laisser agir 10 min ;
- Placer les tubes dans le spectrophotomètre et lisez directement les résultats en mg/l;



**Figure V.3 :** Matériels utilisés pour déterminer la DCO.

### V.2.8. Les nitrites NO<sub>2</sub><sup>-</sup>

#### Matériels et réactifs :

- Kit de mesure nitrite (**LCK 341/342**).
- Eau distillée.
- Spectrophotomètre **DR 3900**
- Pipette graduée 2 ml.
- Aspirateurs pipette 2 ml.

#### Mode opératoire :

- Enlever délicatement la feuille de la protection du Dosi Cap Zip détachable.
- Dévisser le Dosi Cap Zip.
- Pipeter 2 ml d'échantillon.
- Visser immédiatement le Dosi Cap Zip.
- Secouer énergétiquement jusqu'à dissolution du lyophilisat.

- Attendre 10 min, mélanger de nouveau, bien nettoyer l'extérieur de la cuve et mesurer.

### V.2.9. Les nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ) :

Pour la détermination du nitrate, le dosage a été réalisé selon la méthode colorimétrique par test en cuve **HACH LCK 339**, à l'aide d'un spectrophotomètre du type **DR 3900**.

Le protocole consiste à :

- Prendre deux tubes LCK 339 ;
- Ajouter un volume 1 ml de l'eau brute dans le 1er tube et 1 ml l'eau épurée dans le 2<sup>ème</sup> tube (les réactifs sont fixés sur le bouchon des tubes);
- Mélanger les tubes ;
- Placer les tubes dans le thermostat à une température de 100 °C pendant 1 h ;
- Arrêter le thermostat et laisser les tubes refroidir à une température ambiante pendant 10 à 15 min ;
- Mesurer avec le spectrophotomètre puis lire la valeur affichée.

### V.2.10. Mesure de l'azote Total

#### ▪ Matériel utilisé :

- Eprouvette spécial à l'azote total
- Kits LCK 338
- Micropipette (5 ml)
- Micropipette (1 ml)
- Réacteur
- Spectrophotomètre

#### ▪ Mode opératoire :

On a dosé à la suite consécutivement dans une éprouvette de réaction sèche 0.2 ml d'échantillon ;

- Pipeter 2,3 ml de solution A (LCK 338 A) ;
- Ajouter 1 tablette B (LCK 138/238/338 B) ;
- Fermer immédiatement, ne pas mélanger ;
- Chauffer directement dans le thermostat (réacteur) pendant 1 h à 100° C ;
- Après 1 h laisser refroidir et ajoute 1 MicroCap C ;
- Fermer l'éprouvette de réaction et mélanger jusqu'à ce que le lyophilisat se soit complètement dissous du MicroCap C et qu'il n'y ait aucune particule restante ;
- Pipeter lentement dans le test en cuve 0.5 ml d'échantillon désagrégé ;
- Pipeter lentement 0,2 ml de solution D (LCK 138/238/338 D) ;

- Fermer immédiatement la cuve et mélanger bien le contenu ;
- Attendre 15 min, bien nettoyer l'extérieur de la cuve et mesurer par spectrophotomètre.

### V.3. Conclusion

Les analyses physico-chimiques effectuées au sein de la STEP de Djelfa sont indispensables pour pouvoir juger les performances épuratoires de la STEP, évaluer le rendement de chaque étape d'épuration et avoir une idée globale sur la qualité des eaux épurées rejetées dans le milieu naturel, ainsi que la faisabilité de les utiliser dans le domaine agricole. Ces analyses sont effectuées par des méthodes modernes (les kits LCK), qui ont plusieurs avantages par rapport aux méthodes classiques (une sécurité maximale des utilisateurs grâce à une analyse en système fermé, très rapide et moins d'impacts sur l'environnement).

*CHAPITRE VI.*

*RÉSULTATS ET DISCUSSION*



## VI.1 Introduction

Dans ce chapitre, on présentera la qualité de l'eau brute et celle épurée par la station d'épuration de Djelfa. On discutera notamment les performances épuratoires de cette station sur la base des analyses physico-chimiques suivantes: la température, le pH, la conductivité (CE), les matières en suspension (MES), oxygène dissous ( $O_2$ ), la demande biochimique en oxygène ( $DBO_5$ ), la demande chimique en oxygène (DCO), l'azote de Kjeldahl (NT), les nitrates ( $NO_3^-$ ), nitrites ( $NO_2^-$ ), phosphore totale (PT), effectuées sur l'eau usée à l'entrée et à la sortie de la STEP durant l'année 2014. Les résultats sont présentés sous forme de graphique. Les résultats seront confrontés aux normes de rejet des eaux usées recommandées par l'OMS (1989) et JORA (2012). En outre, nous calculons aussi indicateurs de performance (Ratios de diagnostic) de la STEP afin d'évaluer ces performances épuratoires. Ces ratios nous donnent informations sur la nature de la pollution engendrée par les eaux usées à l'entrée de la station ou pour les eaux épurées à la sortie de la station. Enfin, on va étudier la possibilité de la valorisation de l'eau épurée de la STEP en irrigation des terrains agricoles, en se basant sur les résultats obtenus par les analyses physico-chimiques ainsi que les recommandations des normes Algériennes (2012), ou l'OMS (1989), ou la FAO (1985) pour les eaux épurées destinée à l'irrigation.

## VI.2. Étude des performances de la station d'épuration de Djelfa (2014)

### VI.2.1. Évolution temporelle des paramètres de pollution (file existante)

#### VI.2.1.1. Température

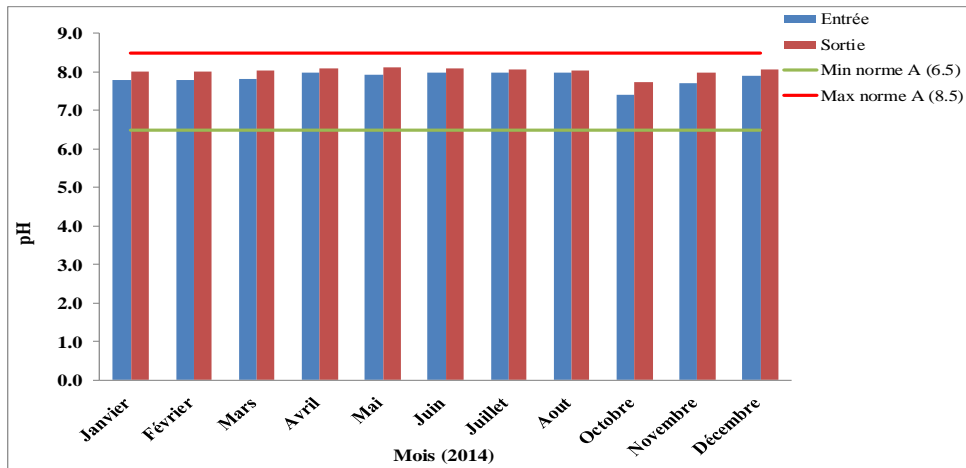
Les valeurs de la température oscillent entre un minimum de 9,9°C et un maximum de 16 °C à l'entrée de la STEP, avec une moyenne de 13,2°C et entre 10,4°C et 16, 9°C pour les eaux épurées avec une moyenne de 13,8°C (Figure VI.1). En Algérie, les normes de rejets des eaux usées admises dans la nature sont de l'ordre de 30°C (JORA, 2006).



Figure VI.1: Évolution de la température mensuelle moyenne

### VI.2.1.2. Potentiel d'hydrogène : pH

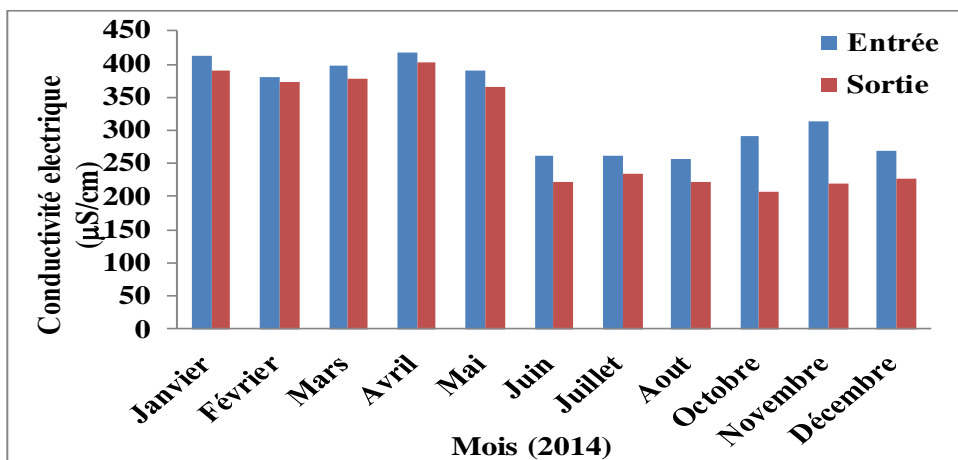
Les valeurs du pH des eaux usées brutes sont comprises entre 7,4 et 8 avec 7,8 (**Figure VI.2**) comme étant la valeur moyenne qui est une caractéristique des eaux résiduaires dont le pH est plus favorable à l'action bactérienne pour les processus d'épuration aérobie et anaérobie (**Franck, 2002**). Ces valeurs se situent dans la fourchette des limites des rejets directs qui est comprise entre 6,5 et 8,5 (**JORA, 2006**).



**Figure VI.2:** Variation des valeurs moyennes mensuelles du pH

### VI.2.1.3. Conductivité électrique (CE)

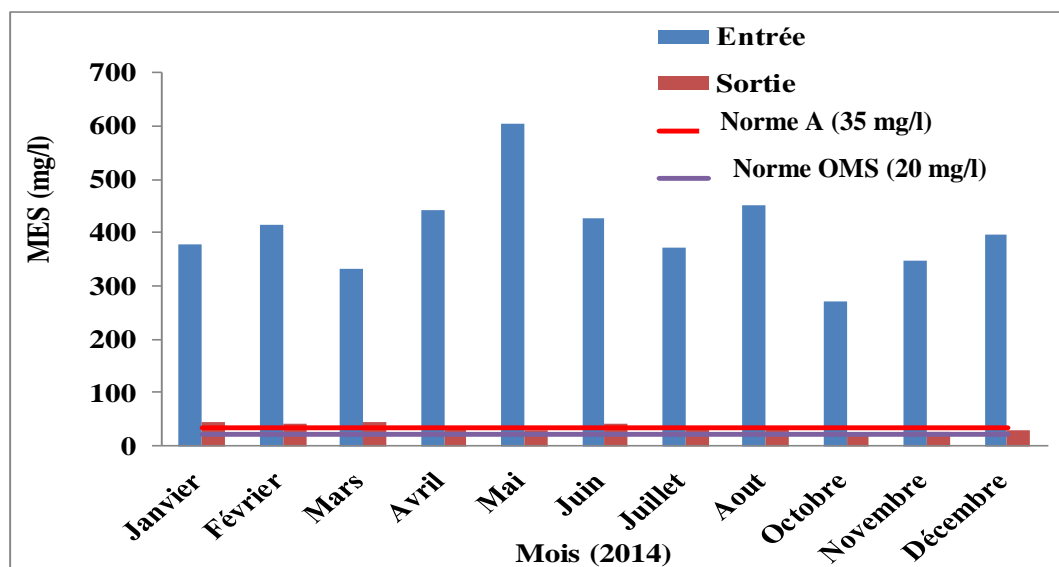
La conductivité électrique traduit le degré de minéralisation globale de l'eau, elle nous renseigne sur le taux de salinité (**RODIER et al., 2005**). Les valeurs de la conductivité enregistrées au niveau des eaux usées brutes de la STEP varient entre 255,9  $\mu\text{S}/\text{cm}$  et 418,3  $\mu\text{S}/\text{cm}$  avec une moyenne de 331,9  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Les eaux épurées présentent des valeurs de conductivité comprises entre 207,5  $\mu\text{S}/\text{cm}$  et 403,7  $\mu\text{S}/\text{cm}$  avec une moyenne de 294.8  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (**Figure VI.3**).



**Figure VI.3:** Évolution de la moyenne mensuelle de la conductivité électrique (CE)

#### VI.2.1.4. Matières en suspension (MES)

Les valeurs enregistrées révèlent une réduction importante des MES entre les eaux brutes et traitées (**Figure VI.4**). Elles se situent entre 272 mg/l et 602,8 mg/l avec une moyenne de 403,1 mg/l pour les eaux brutes. Ces résultats sont liés souvent à la charge importante en matières organiques et minérales engendrées par la population des quartiers drainés par les collecteurs d'assainissement branchés avec la station. Pour les eaux épurées, le taux des MES varie entre 22 mg/l et 44,3 mg/l avec une moyenne de 34,3 mg/l. Elles restent cependant supérieures à la norme de rejet de l'OMS (20 mg/l) et inférieures à celle du journal officiel algérien limitée à 35 mg/l (**JORA, 2006**). Les rendements d'élimination des matières en suspension varient de 86,6 à 95,2 % avec une moyenne de 91,2% (**Tableau VI.1**).



**Figure VI.4:** Évolution de la moyenne mensuelle de matières en suspension (MES)

#### VI.2.1.5. Oxygène dissous O<sub>2</sub>

La présence d'oxygène dissous conditionne les réactions de dégradation -aérobie- de la matière organique et plus généralement l'équilibre biologique des milieux hydriques (**IDRISSI et al., 2015**). La teneur de saturation en oxygène dépend fortement de la température.

À l'entrée de la STEP, les teneurs en O<sub>2</sub> oscillent entre 0,2 et 0,7 mg/l avec une moyenne de 0,4 mg/l (**Figure VI.5**). En revanche, les concentrations en O<sub>2</sub> des eaux épurées varient entre 4,3 et 7,2 mg/l avec une moyenne 6,1 mg/l. La teneur en oxygène dissous (O<sub>2</sub>) enregistrée à la sortie de la STEP est nettement supérieure à celle de l'entrée. Cette augmentation est due à une bonne aération des eaux au niveau du bassin biologique (traitement secondaire).

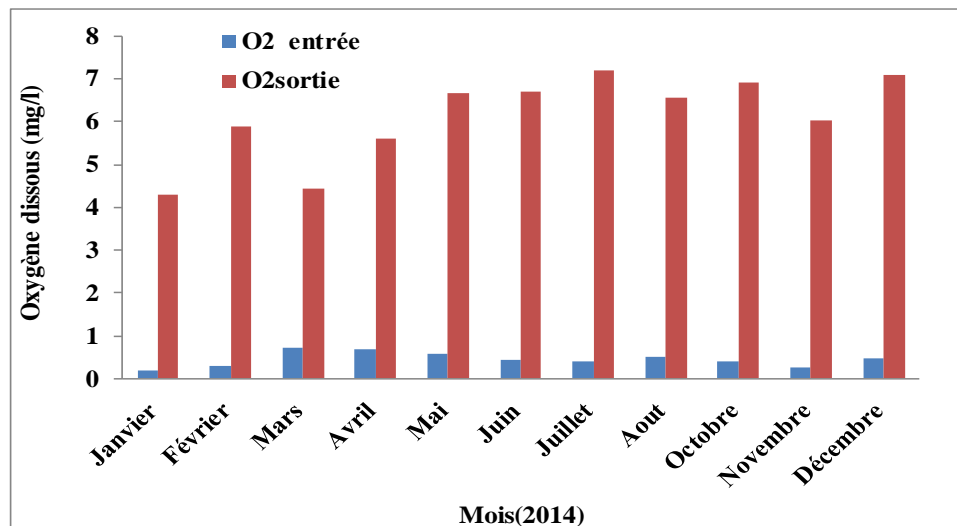


Figure VI.5: Évolution moyenne mensuelle de la teneur en oxygène dissous ( $O_2$ )

#### VI.2.1.6. Demande biologique en oxygène ( $DBO_5$ )

Les concentrations de la  $DBO_5$  à l'entrée varient entre 125 mg d' $O_2$ /l et 520 mg d' $O_2$ /l avec une moyenne de 304,1 mg d' $O_2$ /l, celles de la sortie varient entre 12 mg d' $O_2$ /l et 58 mg d' $O_2$ /l avec une moyenne de 22 mg d' $O_2$ /l (Figure VI.6). La valeur élevée de la  $DBO_5$  au niveau de l'entrée de la station est tout à fait compréhensible, car les eaux usées domestiques sont chargées en matières organiques biodégradables. Les valeurs de la  $DBO_5$  sont inférieures aux normes algériennes de rejet (35 mg  $O_2$ /l) (JORA, 2006). Le degré d'abattement de la  $DBO_5$  varie entre 83,5 % et 97,7 % avec une moyenne de 91,5% (Tableau VI.1).

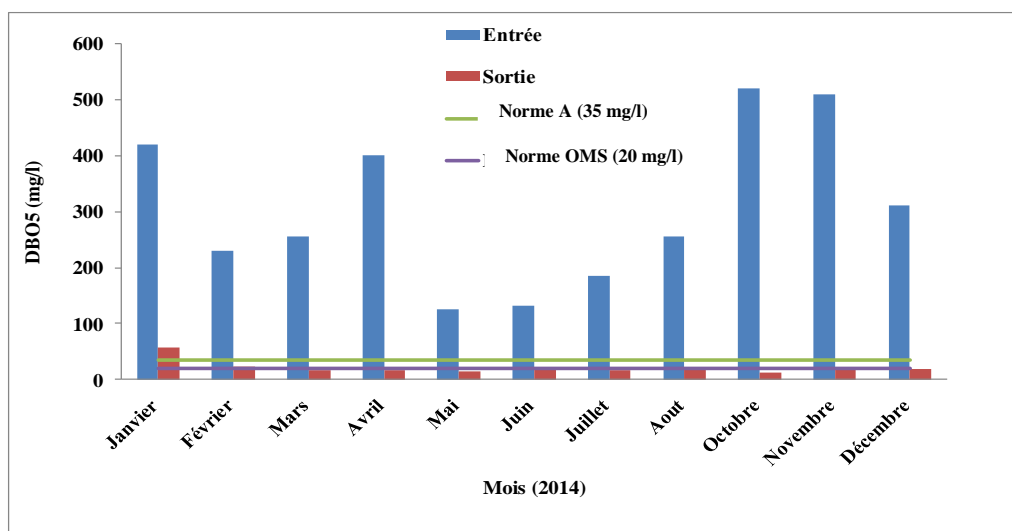
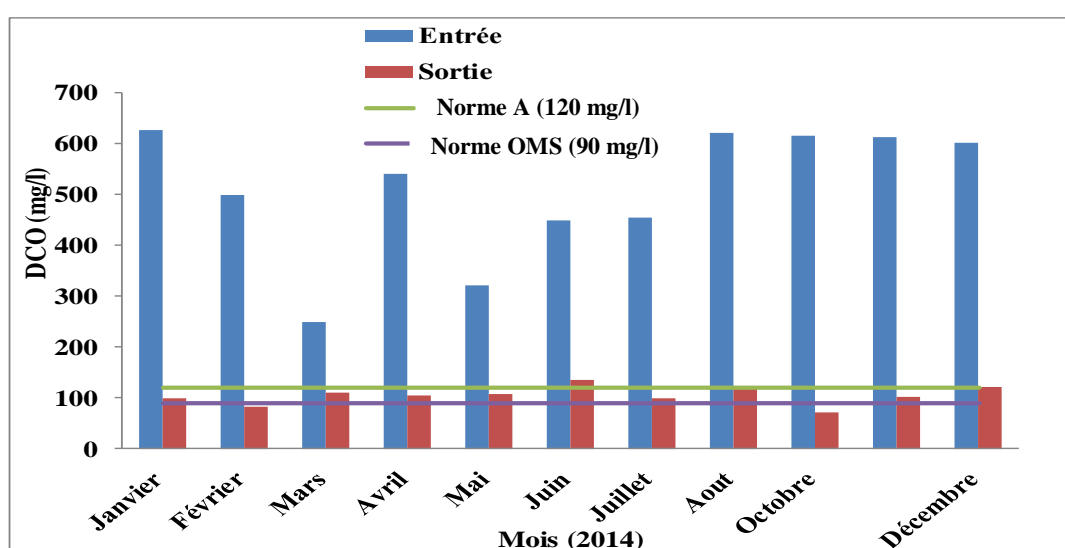


Figure VI.6: Évolution moyenne mensuelle de  $DBO_5$  en mg d' $O_2$ /l

### VI.2.1.7. Demande chimique en oxygène (DCO)

Les valeurs de la DCO de l'eau brute varient de 250 mg d'O<sub>2</sub>/l à 626 mg d'O<sub>2</sub>/l avec une moyenne de 508.3 mg d'O<sub>2</sub>/l (**Figure VI.7**). Ces valeurs restent dans la gamme de référence pour les eaux usées d'origine domestiques (300 à 1000 mg d'O<sub>2</sub>/l) (**BREMOND et PERRODON, 1979**). Concernant l'effluent traité, les valeurs enregistrées varient entre 72 mg d'O<sub>2</sub>/l et 135 mg d'O<sub>2</sub>/l avec une moyenne de 104,3 mg d'O<sub>2</sub>/l. Ces valeurs sont en général inférieures à 120 mg/l comme valeur limite de rejet direct prescrite dans le journal officiel de la république algérienne (**JORA, 2006**), par contre, la valeur dépasse la norme fixée par l'OMS (< 90 mg/l). Les rendements épuratoires pour la DCO enregistrés sur la période de suivi varient entre 56% et 88,3% avec une moyenne de 77,5% (**Tableau VI.1**).



**Figure VI.7:** Évolution de la moyenne mensuelle de la DCO en mg d'O<sub>2</sub>/l

Les résultats des statistiques descriptives des rendements épuratoires sont récapitulés dans le tableau suivant :

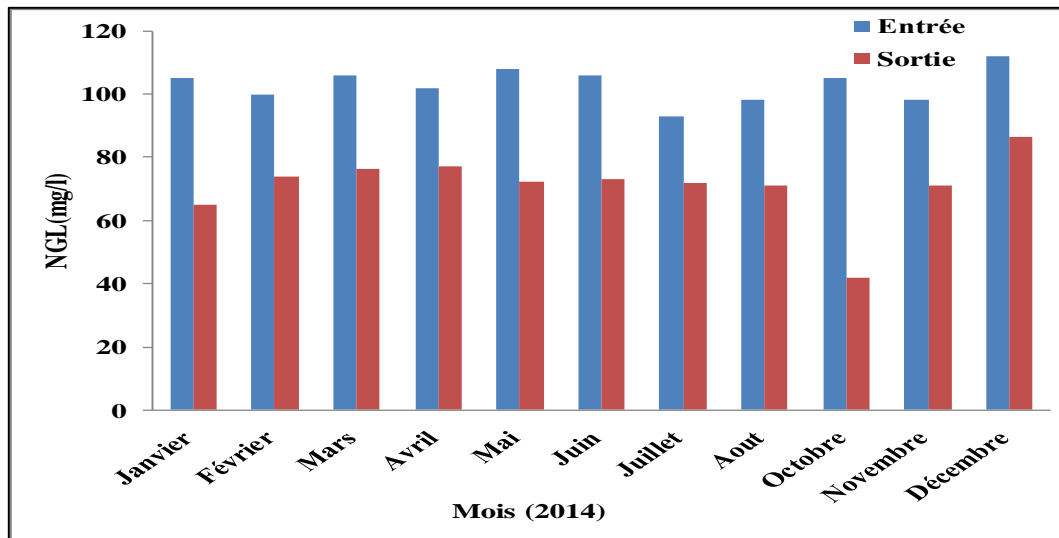
**Tableau VI.1:** Statistique descriptive des rendements épuratoires de la STEP de Djelfa (file existante) (2014)

Paramètres	Minimum	Maximum	Moyenne	Médiane	Variance	Écart type	Coefficient. Variation
MES	86.6	95.2	91.2	91.9	5.5	2.3	2.6
DBO5	83.5	97.7	91.5	92.1	19.6	4.4	4.8
DCO	56.0	88.3	77.5	80.7	89.4	9.5	12.2
PT	73.3	87.1	80.7	79.2	14.9	3.9	4.8

### VI.2.1.8. Matières azotées

#### VI.2.1.8.1. L'azote global (NGL)

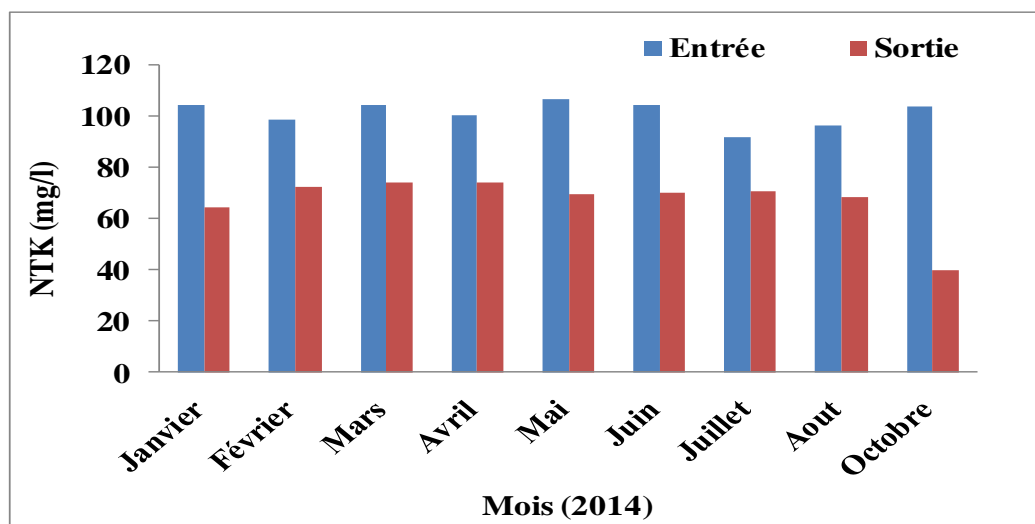
À l'entrée de la STEP, la concentration de l'azote globale oscille entre 93 et 112mg/l, avec une moyenne de 103 mg/l. À la sortie de la STEP, la concentration de l'azote globale varie entre 42 mg/l et 86,6 mg/l avec une moyenne de 70.9 mg/l (**Figure VI.8**).



**Figure VI.8:** Évolution des valeurs moyennes mensuelles de NGL

#### VI.2.1.8.2. Azote kjeldahl total (NTK)

Les teneurs de NTK enregistrées à l'entrée de la STEP varient de 91,5mg/l à 111,7 mg/l avec une moyenne de 101,8 mg/l. Concernant la sortie, ces concentrations oscillent entre 39,9 mg/l et 74,3 mg/l avec une moyenne de 67,1 mg/l (**Figure VI.9**). Cette réduction résulte de l'élimination des différentes formes d'azote par le traitement biologique (nitrification et dénitrification).



**Figure VI.9:** Évolution des valeurs moyennes mensuelles de NTK

Les teneurs de NTK restent supérieures aux normes algériennes de rejet ( $NT < 30 \text{ mg/l}$ ) (JORA, 2006). À partir de ces résultats obtenus, il est clair qu'il n'y a pas un traitement fiable de l'azote total (NT) au niveau de la STEP.

#### VI.2.1.8.3. Nitrites ( $\text{NO}_2^-$ )

À l'entrée de la STEP, les teneurs des eaux de la STEP en sont comprises entre un minimum de 0 et un maximum de  $0,5 \text{ mg/l}$  avec une moyenne de  $0,3 \text{ mg/l}$ . À la sortie de la STEP, les concentrations du  $\text{NO}_2^-$  varient entre 0 et  $2,6 \text{ mg/l}$  avec une moyenne de  $1,1 \text{ mg/l}$  (Figure VI.10). Les concentrations de nitrites de l'eau épurée dépasse les normes de rejet recommandées par l'OMS ( $< 1 \text{ mg/l}$ ). Les faibles concentrations des eaux en nitrites, pourraient être dues au fait que ces derniers sont une forme instable et intermédiaire entre l'ammonium et les nitrates.

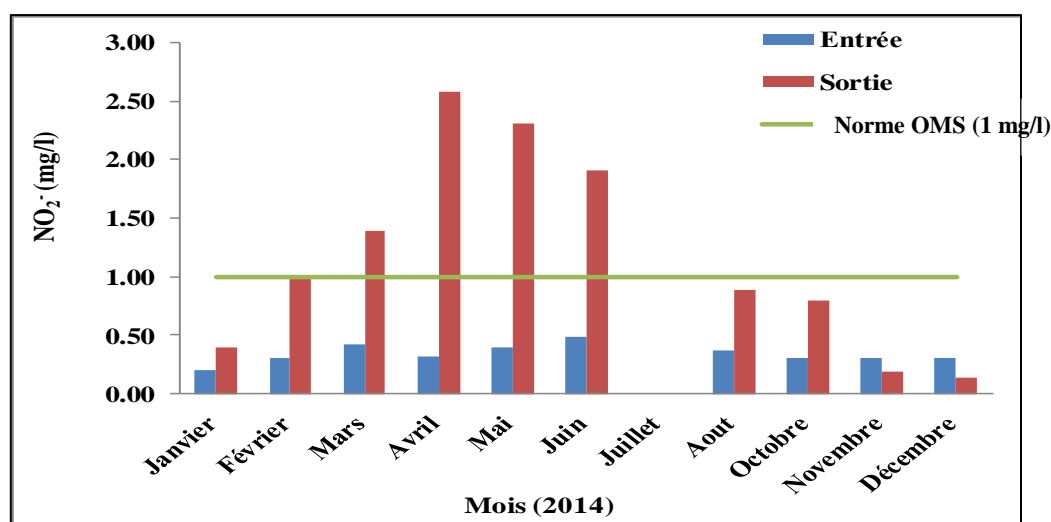


Figure VI.10: Évolution des valeurs moyennes mensuelles de ( $\text{NO}_2^-$ )

#### VI.2.1.8.4. Nitrate ( $\text{NO}_3^-$ )

À l'entrée de la STEP, les concentrations du  $\text{NO}_3^-$  oscillent entre  $0,60$  et  $1,5 \text{ mg/l}$  avec une moyenne de  $1,1 \text{ mg/l}$ . À la sortie de la STEP, les concentrations du  $\text{NO}_3^-$  varient entre  $0,2$  et  $1,9 \text{ mg/l}$  avec une moyenne de  $0,8 \text{ mg/l}$  (Figure VI.11). On observe une augmentation de la concentration en Nitrate due à la nitrification de l'ammonium résultat d'une aération intensive, et d'un manque de structure de dénitrification.

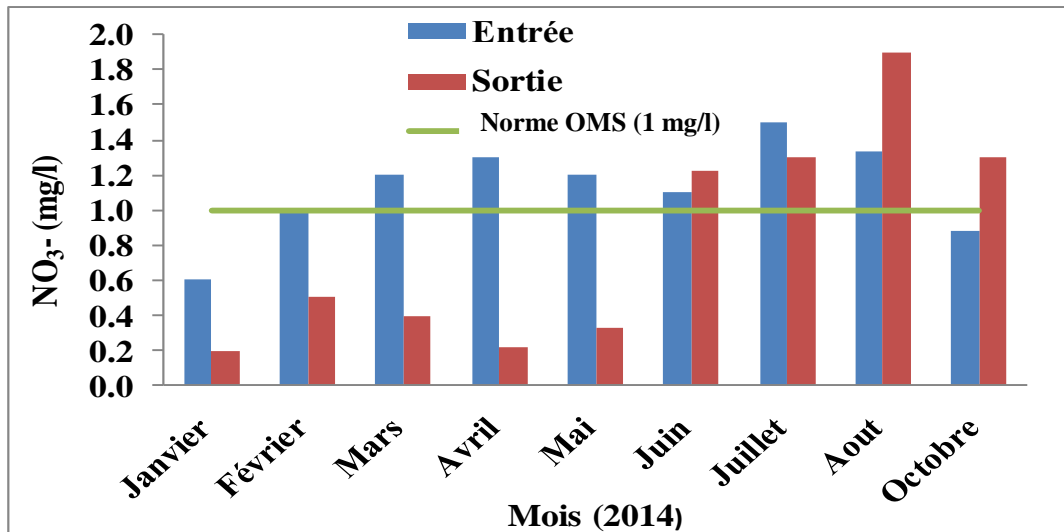


Figure VI.11: Évolution des valeurs moyennes mensuelles de ( $\text{NO}_3^-$ )

#### VI.2.1.9. Phosphore total (PT)

L'évolution mensuelle des teneurs en phosphate total dans les eaux brutes de la STEP a montré que la concentration de PT (Phosphore organique + Phosphore minéral) oscille entre 6,2 mg/l et 10,1 mg/l avec une moyenne de 8 mg/l. À la sortie de la STEP, les concentrations du PT oscillent entre 1,3 et 1,9 mg/l, avec une moyenne de 1,5 mg/l (**Figure VI.12**). Ces teneurs sont inférieures à la norme préconisée par le JORA qui est de 10 mg/l (**JORA, 2006**). Les rendements d'élimination du phosphore total oscillent entre 73,3% et 87,1% avec une moyenne de 80,7%, ce qui explique une bonne déphosphatation (**Tableau VI.1**).

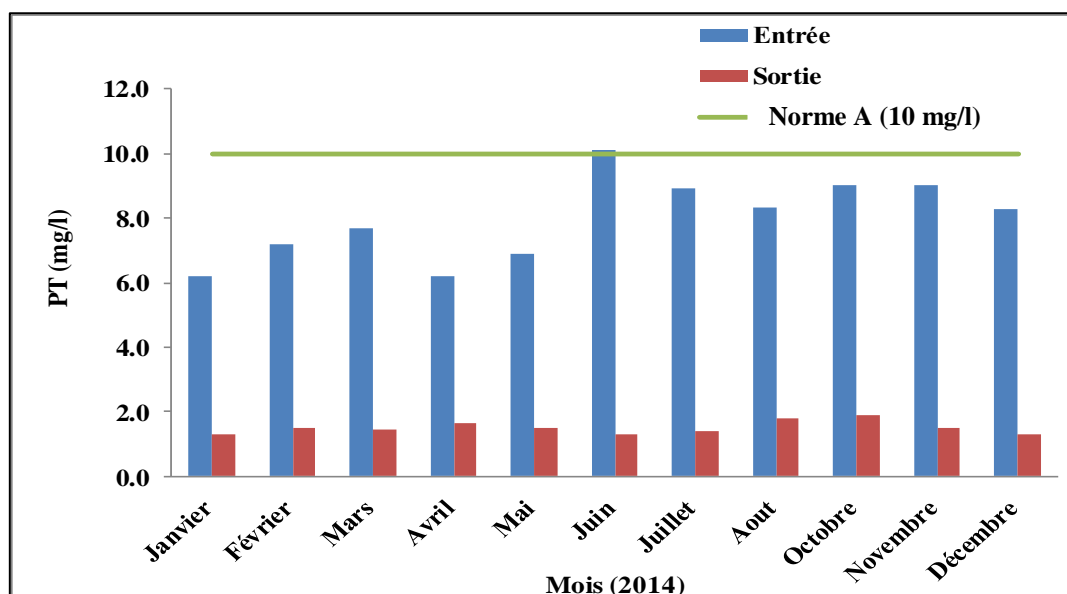


Figure VI.12: Évolution des valeurs moyennes mensuelles de PT

### VI.2.2. Évolution temporelle des paramètres de pollution (Nouvelle file)

#### VI.2.2.1. Température



À la sortie de la STEP, la température des eaux usées est comprise entre 8,8 °C et 16,2 °C avec une moyenne de 11,2°C (Figure VI.13). Ces températures enregistrées sont conformes à la norme algérienne de rejet (30°C) (JORA, 2006).

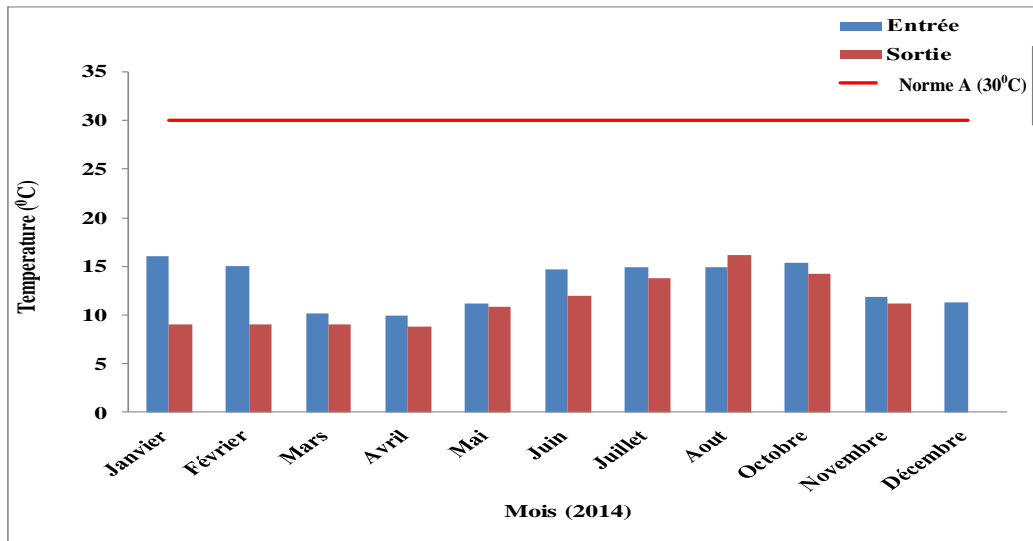


Figure VI.13: Évolution de la température mensuelle moyenne (Nouvelle file)

VI.2.2.2. Potentiel d’hydrogène : pH

Les résultats obtenus concernant la variation du pH à la sortie de la station d’épuration montre que celui-ci varie de 7,8 à 8.2 avec une moyenne de 8,1 (Figure VI.14). Ces valeurs se situent dans la fourchette des normes algériennes des rejets (6,5-8,5) (JORA, 2006). Il est à noter que le faible pH favorise la croissance de champignons filamenteux et les autres organismes qui causent des boues flottantes (ARCAND et al., 1989).

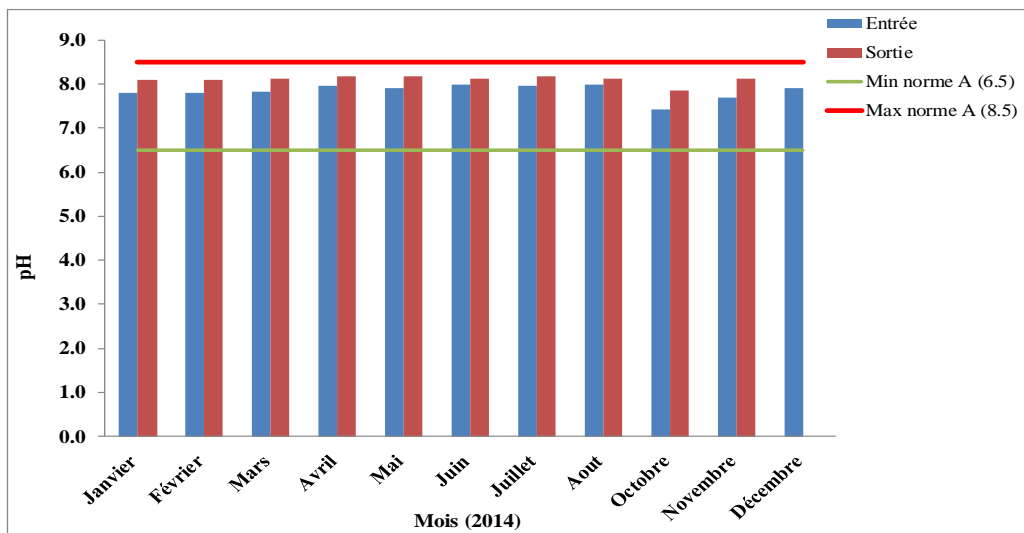
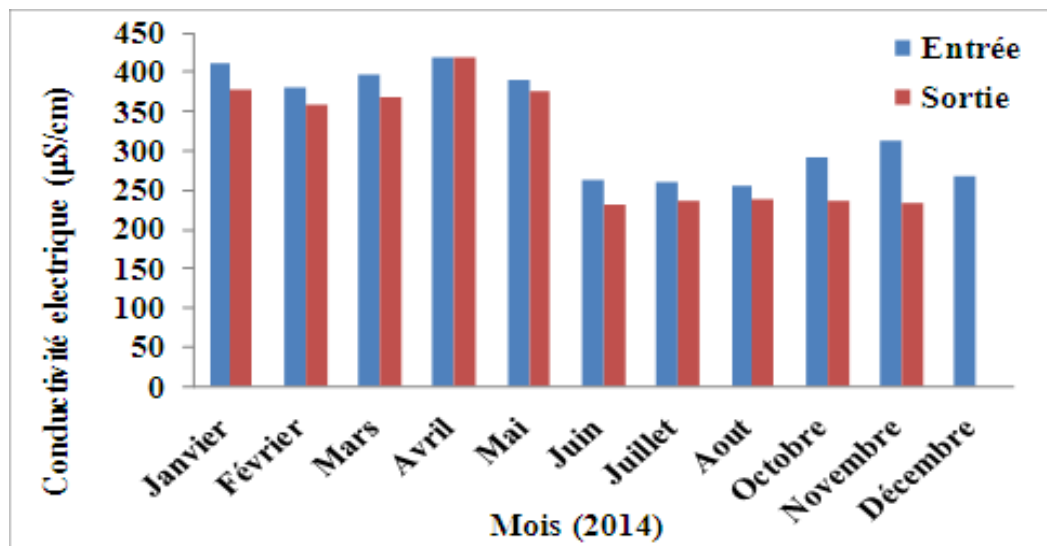


Figure VI.14: Variation des valeurs moyennes mensuelles du pH (Nouvelle file)

VI.2.2.3. Conductivité électrique (CE)

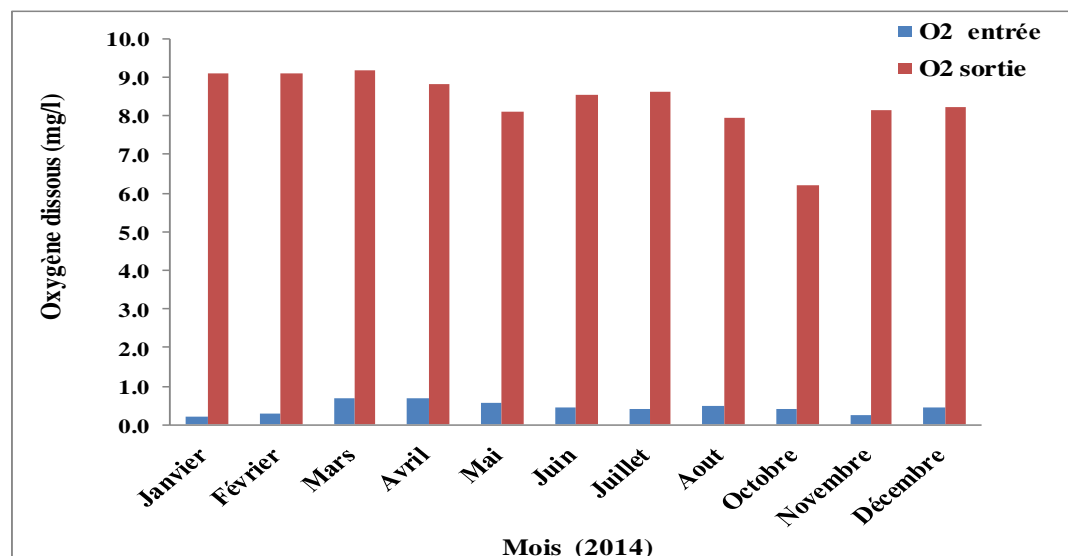
Les valeurs de la conductivité enregistrées au niveau des eaux épurées varient entre 232 µs/cm et 418,3µs/cm avec une moyenne de 301,4 µs/cm (Figure VI.15).



**Figure VI.15:** Évolution de la moyenne mensuelle de la conductivité électrique (CE)

#### VI.2.2.4. Oxygène dissous O<sub>2</sub>

L'analyse des résultats obtenus de l'oxygène dissous (**Figure VI.16**), montre que les valeurs extrêmes minimales et maximales enregistrées à la sortie de la station, sont de 6,2 mg/l et de 9,2 mg/l avec une concentration moyenne de 8,4 mg/l.

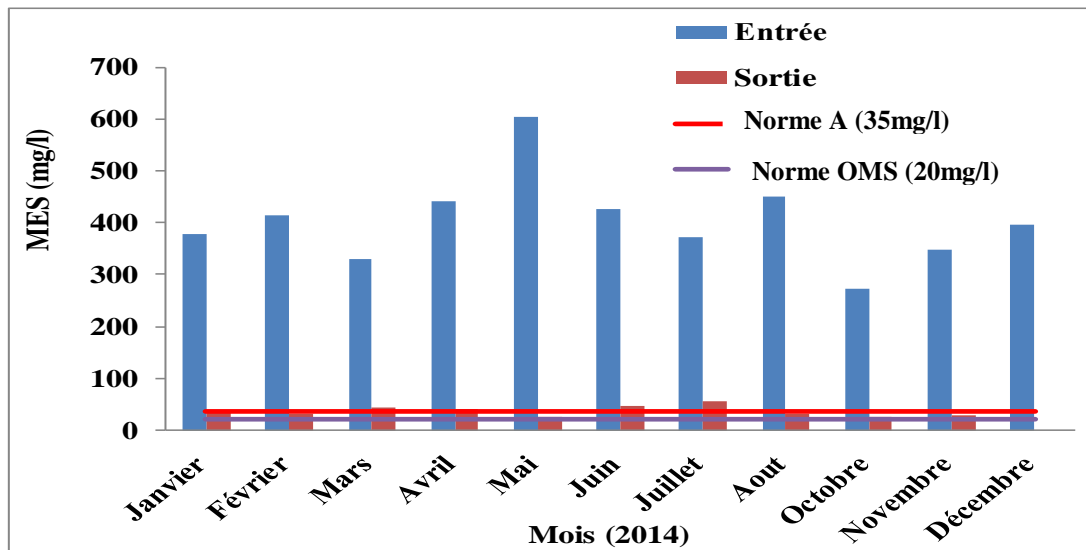


**Figure VI.16:** Évolution moyenne mensuelle de la teneur en oxygène dissous (O<sub>2</sub>) (Nouvelle file)

#### VI.2.2.5. Matières en suspension (MES)

À la sortie, la concentration en MES varie entre 24 et 55,1 mg/l avec une moyenne de 35,1 mg/l (**Figure VI.17**). La majorité des valeurs sont en dessous de la norme algérienne de rejet (35 mg/l) (**JORA, 2006**). Les rendements épuratoires de la MES sont importants et varient entre un minimum de 85,2% pendant le mois de juillet et un maximum 95,9 % pendant le mois

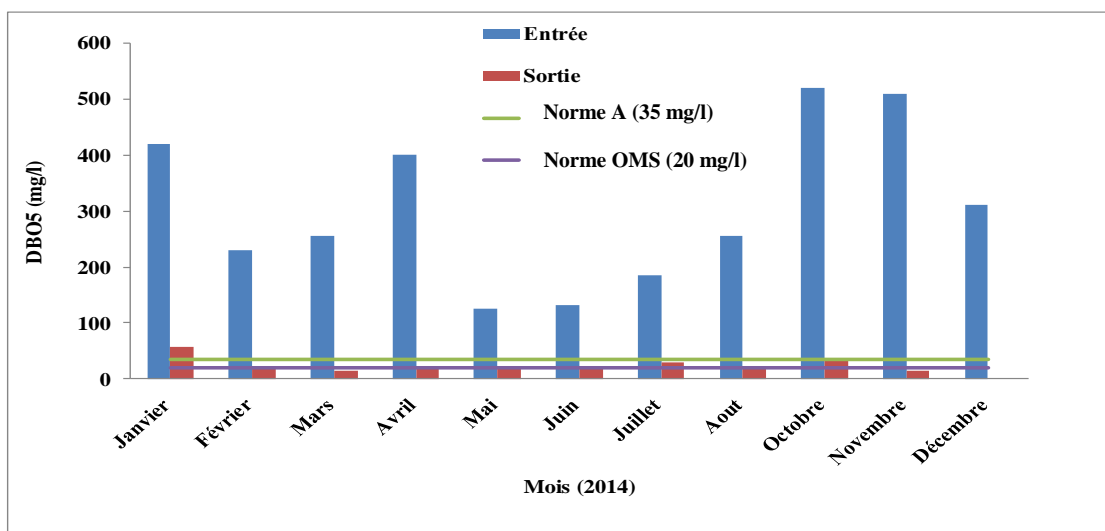
de mai avec une valeur moyenne de 90,9%. Ces résultats montrent, que malgré la charge élevée en MES a l'entrée, son élimination reste efficace (**Tableau VI.2**).



**Figure VI.17:** Évolution de la moyenne mensuelle de matières en suspension (MES) (Nouvelle file)

#### VI.2.2.6. Demande biologique en oxygène (DBO<sub>5</sub>)

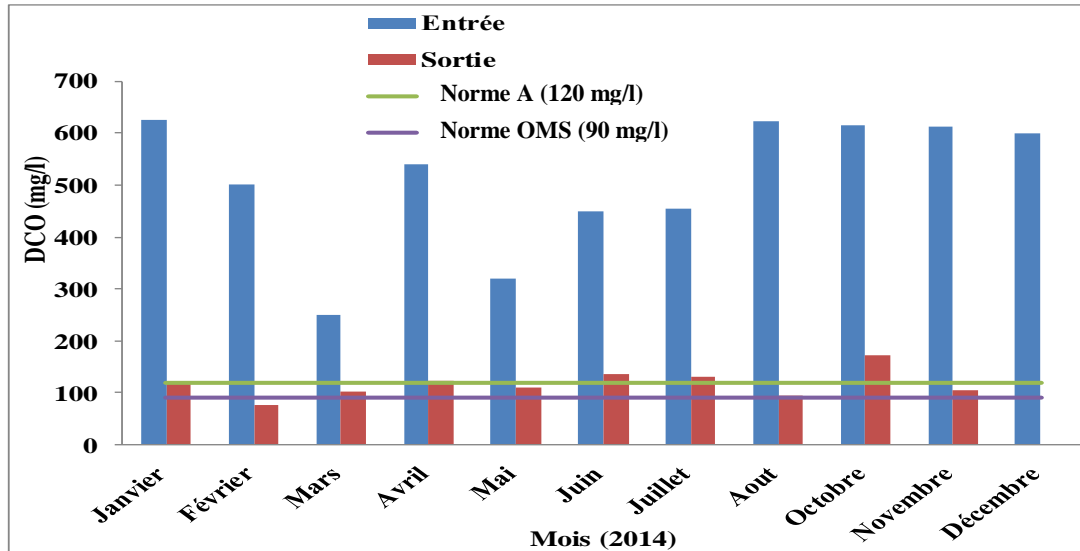
À la sortie, la concentration de la DBO<sub>5</sub> oscille principalement entre 14,9 et 58 mg d'O<sub>2</sub>/l avec une moyenne de 24,5 mg d'O<sub>2</sub>/l (**Figure VI.18**). On remarque que la majorité des valeurs sont bien inférieures à la norme algérienne de rejet (35 mg/l) (**JORA, 2006**). Le rendement d'élimination de DBO<sub>5</sub> avoisine les 90,6 % avec un minimum de 84,2% pendant le mois de juin et un maximum de 97% pendant le mois de novembre (**Tableau VI.2**).



**Figure VI.18:** Évolution moyenne mensuelle de DBO<sub>5</sub> en mg d'O<sub>2</sub>/l (Nouvelle file)

### VI.2.2.7. Demande chimique en oxygène (DCO)

Les valeurs moyennes mensuelles de DCO des eaux épurées varient entre 77 et 171 mg d'O<sub>2</sub>/l avec une valeur moyenne de 113.7 mg d'O<sub>2</sub>/l (**Figure VI.19**). D'après les résultats on note que la quasi-totalité des valeurs de DCO des eaux traitées respectent la norme algérienne de rejet (120 mg/l) (**JORA, 2006**). Le rendement d'élimination de la DCO est en moyenne de 75,9 % avec un minimum de 59,2 % pendant le mois de mars et un maximum de 86 % pendant le mois de décembre (**Tableau VI.2**).

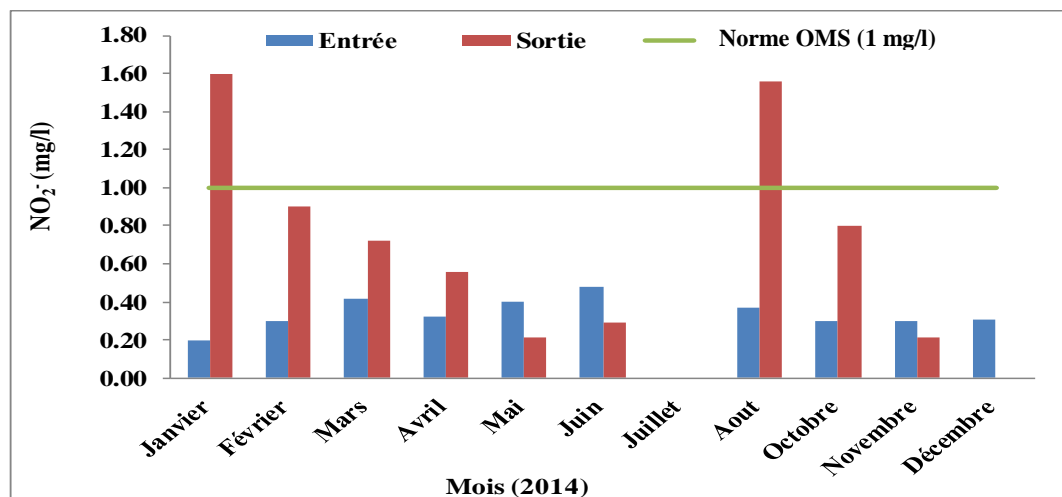


**Figure VI.19:** Évolution de la moyenne mensuelle de la DCO en mg d'O<sub>2</sub>/l (Nouvelle file)

### VI.2.2.8. Matières azotées

#### VI.2.2.8.1. Nitrites (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>)

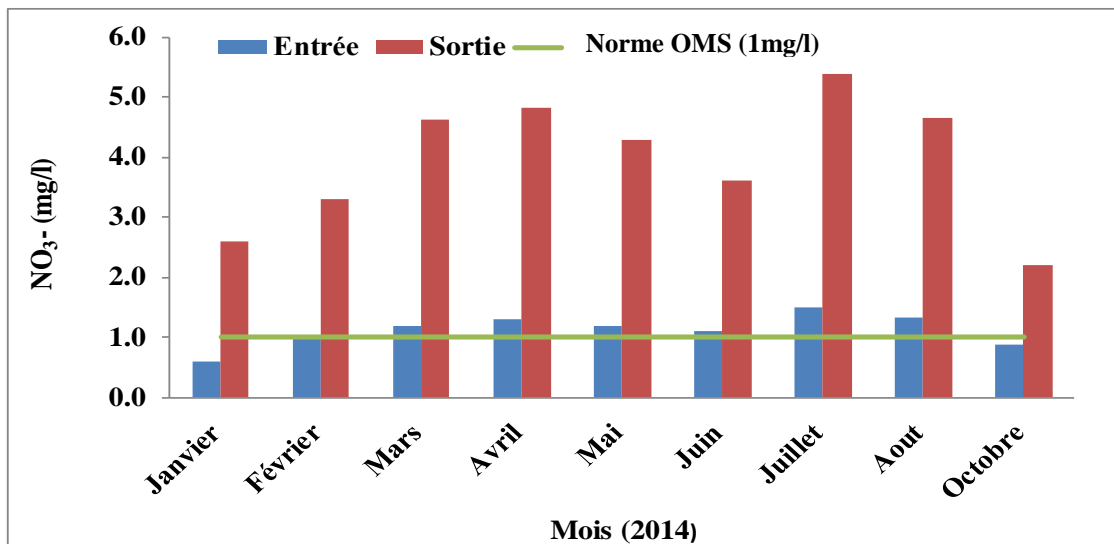
À la sortie, les valeurs de NO<sub>2</sub> dans l'eau épurée varient de 0 à 1,6 mg/l avec une valeur moyenne de 0,7 mg/l (**Figure VI.20**). Les teneurs de NO<sub>2</sub> pour l'eau épurée sont largement inférieures à la limite fixée par l'OMS (1mg/l).



**Figure VI.20:** Évolution des valeurs moyennes mensuelles de (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) (Nouvelle file)

### VI.2.2.8.2. Nitrate ( $\text{NO}_3^-$ )

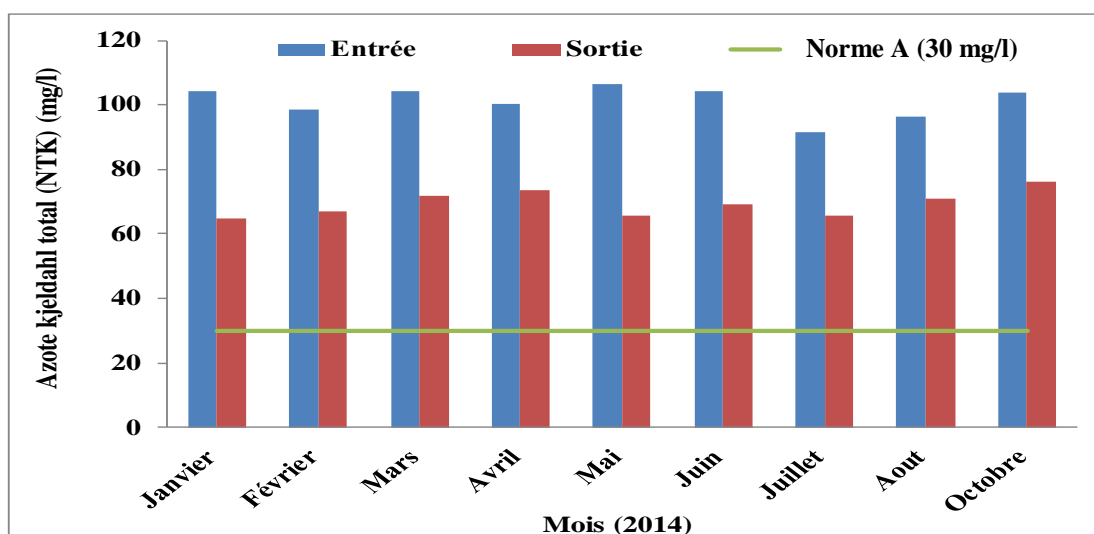
À la sortie, les concentrations du  $\text{NO}_3^-$  oscillent entre 2,2 et 5,4 mg/l avec une valeur moyenne de 3,9 mg/l (**Figure VI.21**). On observe une augmentation de la concentration en Nitrate après le traitement due à la nitrification de l'ammonium résultat d'une aération intensive, et d'un manque de structure de dénitrification.



**Figure VI.21:** Évolution des valeurs moyennes mensuelles de ( $\text{NO}_3^-$ ) (Nouvelle file)

### VI.2.2.8.3. Azote kjeldahl total (NTK)

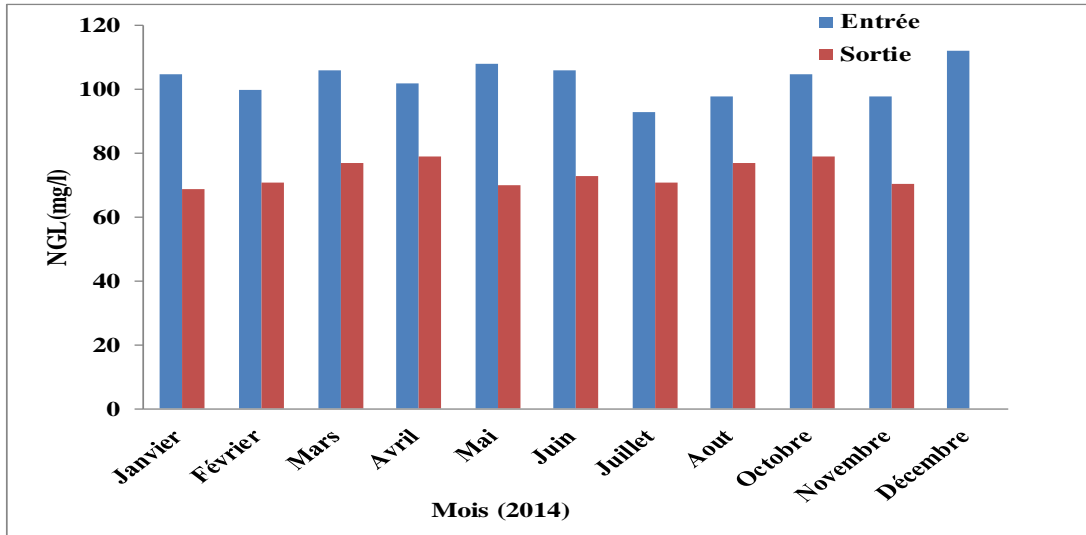
La teneur de NTK des eaux usées épurées est de l'ordre de 69,3 mg/l, avec une valeur minimale de l'ordre de 64,8 mg/l enregistrée en janvier et la valeur maximale de 76 mg/l trouvée en octobre (**Figure VI.22**). Ces résultats sont largement supérieurs aux valeurs guides algérienne fixées à 30 mg/l (**JORA, 2006**). Les rendements d'élimination de NTK ne dépassent pas les 38%.



**Figure VI.22:** Évolution des valeurs moyennes mensuelles de NTK (Nouvelle file)

#### VI.2.2.8.4. L'azote global (NGL)

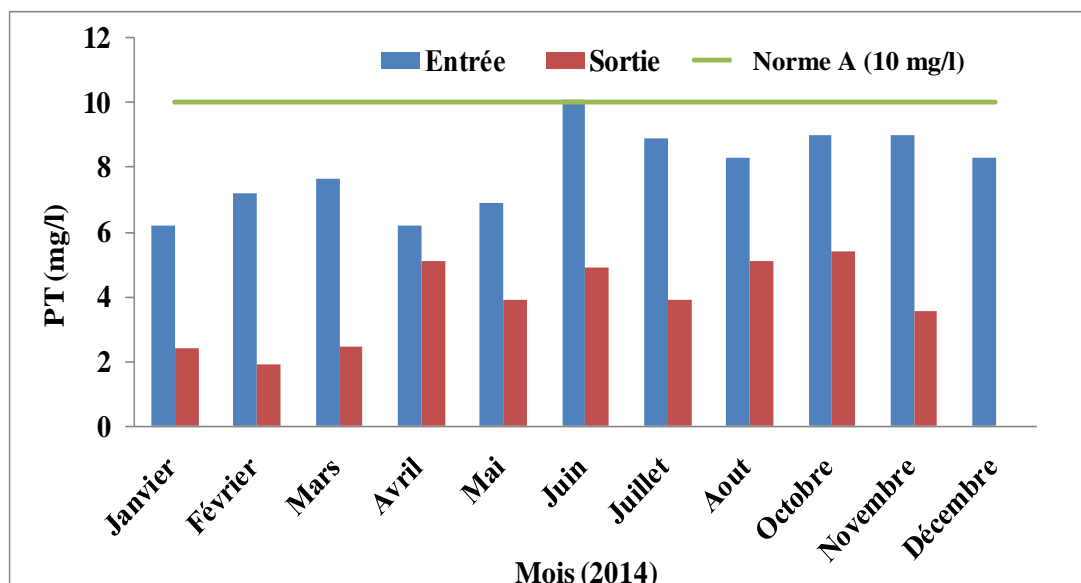
En examinant les résultats obtenus dans la **Figure VI.23**, les valeurs des concentrations de l'azote global (NGL) à la sortie de la STEP varient entre un minimum de 69 mg/l mesuré le mois de janvier, et 93,1 mg/l enregistré le mois décembre avec une moyenne de 75,4 mg/l.



**Figure VI.23:** Évolution des valeurs moyennes mensuelles de NGL (Nouvelle file)

#### VI.2.2.9. Phosphore total (PT)

D'après les résultats obtenus indiqués sur la **Figure VI.24**, on constate que les eaux épurées de la STEP sont caractérisées par des valeurs moyennes de phosphore total (PT) comprises entre 1,7 mg/l et 5,4 mg/l avec une moyenne de 3,7 mg/l. Ces teneurs sont nettement au-dessous des normes requises par les législations algériennes pour le rejet en milieu naturel (10 mg/l) (**JORA, 2006**). Les rendements épuratoires pour le phosphore total enregistrés sur la période de suivi varient entre 17,9 et 79,4 % avec une moyenne de 53,6% (**Tableau VI.2**).



**Figure VI.24:** Évolution des valeurs moyennes mensuelles de PT (Nouvelle file)

Les résultats des statistiques descriptives des rendements épuratoires pour la nouvelle file sont récapitulés dans le tableau suivant :

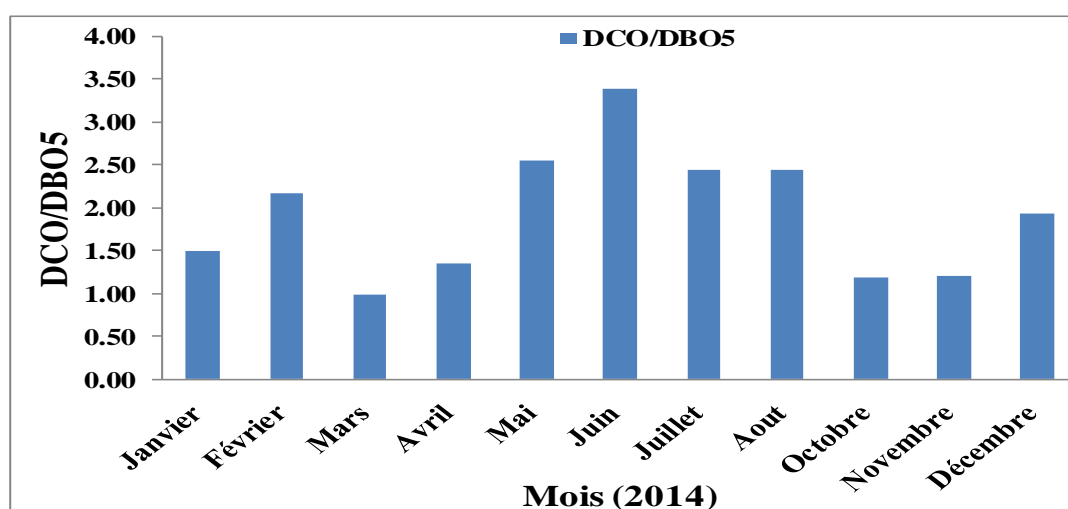
**Tableau VI.2:** Statistique descriptive des rendements d'élimination des paramètres de pollution STEP DJELFA (Nouvelle file) (2014)

Paramètres	Minimum	Maximum	Moyenne	Mediane	Variance	Ecart type	Coefficient. Variation
MES	85.2	95.9	90.9	91.0	9.1	3.0	3.3
DBO5	84.2	97.0	90.6	92.9	23.2	4.8	5.3
DCO	59.2	86.0	75.9	77.2	79.5	8.9	11.7
PT	17.9	79.4	53.6	56.2	316.4	17.8	33.2

### VI.2.3. Interprétation des ratios des paramètres de pollution

#### VI.2.3.1. Ratio de biodégradabilité (DCO/DBO<sub>5</sub>)

Ce rapport DCO/DBO<sub>5</sub> permet de déduire si les eaux usées rejetées directement dans le milieu récepteur ont des caractéristiques des eaux usées domestiques (rapport DCO/DBO<sub>5</sub> inférieur à 3) (RODIER et al., 2005). Le rapport DCO/DBO<sub>5</sub> des eaux usées brutes de la STEP de Djelfa varie entre 0,98 et 3,38 avec une moyenne de 1,92. Ce qui montre la présence d'une forte proportion des matières moyennement biodégradables (Figure VI.25). Ce qui implique qu'un traitement biologique serait suffisant et ne nécessite donc pas de poste de traitement physico-chimique. Un pic de 3,38 de ce ratio est enregistré pendant le mois de juin 2014. Cela peut être lié à un flux de rejet industriel riche en métaux lourds et en matières minérales difficilement biodégradables (tannerie de Djelfa, hôpital).



**Figure VI.25:** Variation de ratio DCO/DBO<sub>5</sub> à l'entrée de la STEP de Djelfa (2014)

#### VI.2.3.2. Ratio MES/DBO<sub>5</sub>

Ce rapport indique la répartition de la pollution particulière représentée par la MES et de la pollution dissoute représentée par la DBO<sub>5</sub>. Le rapport MES/DBO<sub>5</sub> des eaux usées brutes de la

STEP de Djelfa varie entre 0,52 et 4,82 avec une moyenne de 1,76 (valeurs usuelles: 0,8-1,2) (Figure VI.26). On constate que la pollution de ces eaux est plutôt particulaire que dissoute, ce qui caractérise un réseau essentiellement unitaire (SADAWSKI, 2002). Les valeurs élevées de ce rapport sont généralement dues à l’augmentation du flux des MES rejetés par temps de pluie dans les milieux récepteurs à cause de la remise en suspension des dépôts accumulés dans le collecteur.

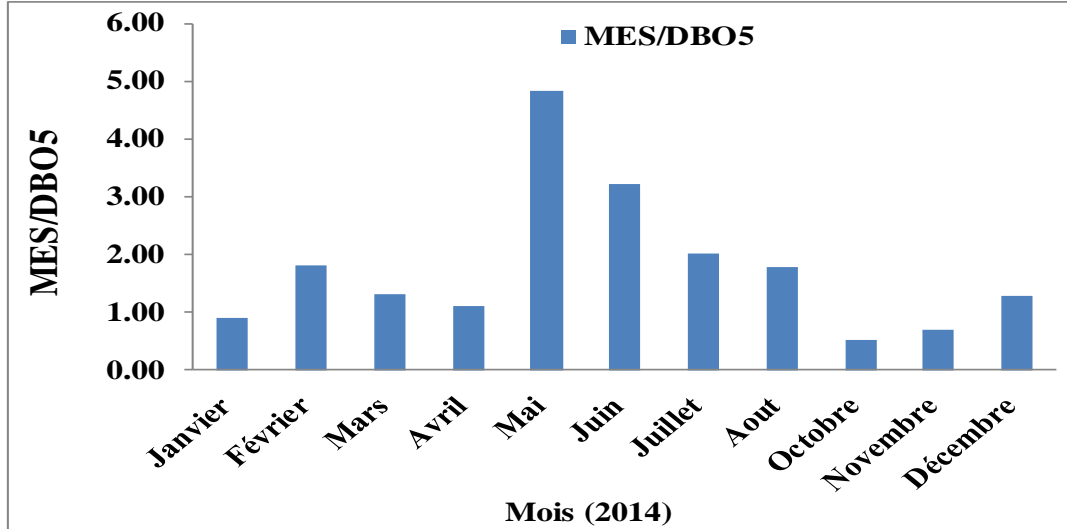


Figure VI.26: Variation de ratio MES/DBO<sub>5</sub> à l’entrée de la STEP de Djelfa (2014)

VI.2.3.3. Ratio DCO/NTK

Le rapport DCO/NTK influence la cinétique de nitrification et donc le degré d’abattement de l’azote global (ALEM, 2016). Plus ce rapport est faible, plus la vitesse de nitrification est élevée (ALEM, 2016). Pour les eaux en entrée de la STEP de Djelfa, ce rapport est compris entre 2,4 et 6,46 avec une moyenne de 5,02 (Figure VI.27). Rappelons que pour un effluent urbain la valeur du ratio DCO/NTK est d’environ 4 à 5 pour permettre une nitrification dans des bonnes conditions (SADAWSKI, 2002; MALEK, 2014).

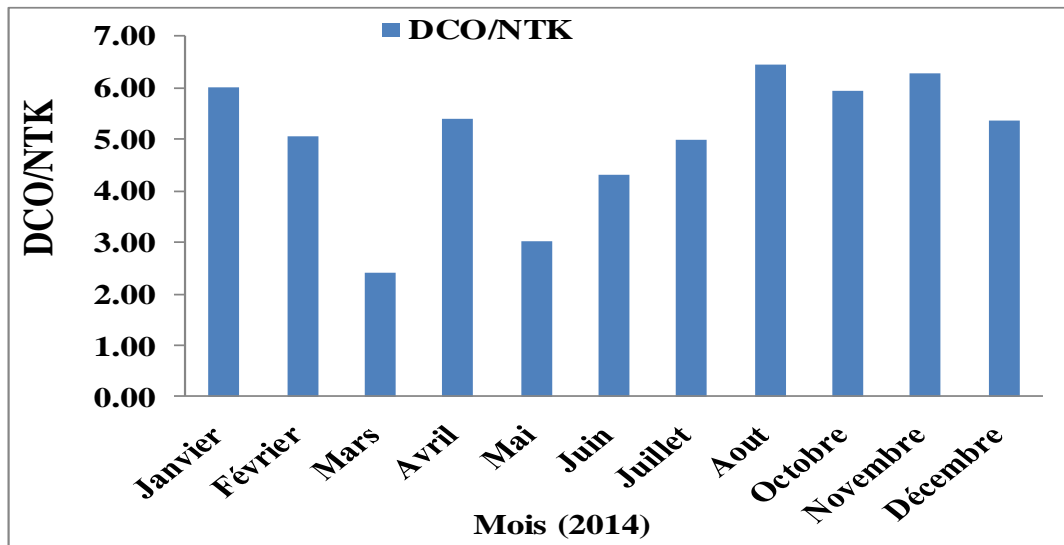
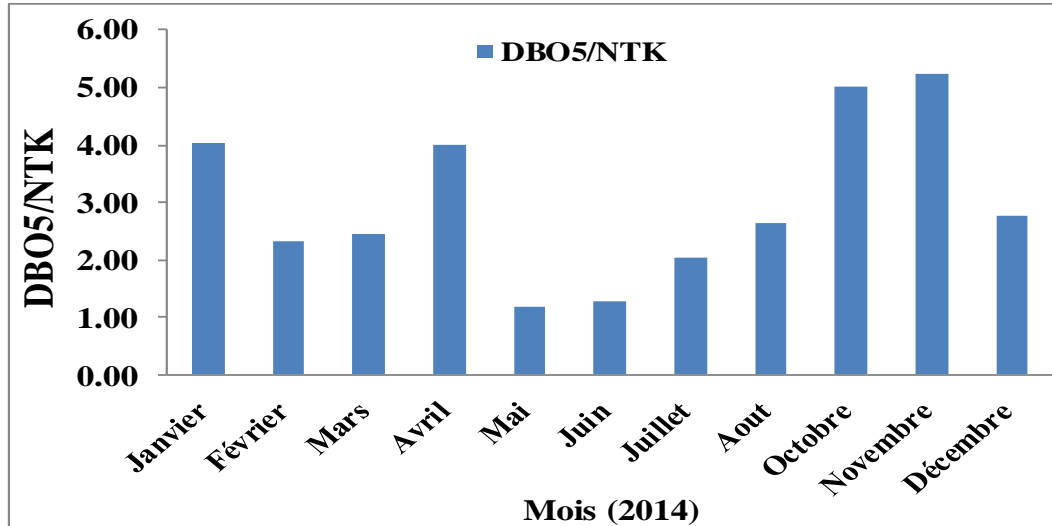


Figure VI.27: Variation de ratio DCO/NTK à l’entrée de la STEP de Djelfa (2014)



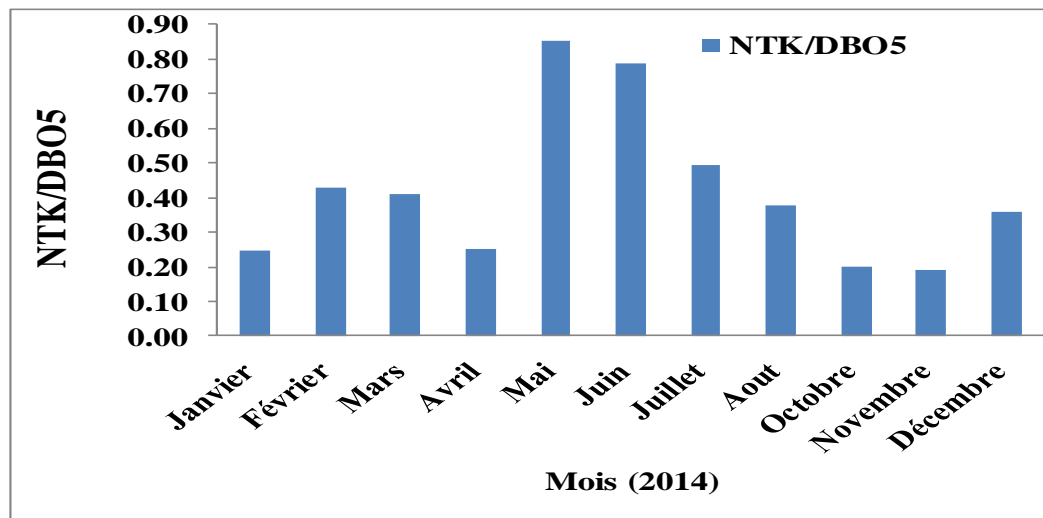
#### VI.2.3.4. Ratio DBO<sub>5</sub>/NTK

Les valeurs enregistrées concernant ce ratio varient entre 1,17 et 5,22 avec une moyenne de 2,99 (**Figure VI.28**). Selon **SADOWSKI (2002)**, pour un effluent urbain strict, ce ratio est compris entre 4 et 5, qui montre bien le taux d'abattement de l'azote.



**Figure VI.28:** Variation de ratio DBO<sub>5</sub>/NTK à l'entrée de la STEP de Djelfa (2014)

**VI.2.3.5. Ratio NTK/DBO<sub>5</sub> :** Les valeurs obtenues du ratio NTK/DBO<sub>5</sub> sont comprises entre 0,19 et 0,85 avec une valeur moyenne de 0,42 (**Figure VI.29**). La cinétique de dénitrification dépend de ce ratio. Rappelons que pour une valeur du ratio NTK/DBO<sub>5</sub> <0,5, la cinétique de dénitrification est égale ( $k=1.7 \text{ mg N-NO}_3/\text{g MVS.h}$ ) (**SADOWSKI, 2002**).



**Figure VI.29:** Variation de ratio NTK/DBO<sub>5</sub> à l'entrée de la STEP de Djelfa (2014)

#### VI.2.3.6. Ratio DCO/PT

Le rapport DCO/PT indique la mixité relative de l'effluent ainsi que les possibilités et la faisabilité d'un traitement biologique du phosphore (**SADAWSKI, 2002**). Ainsi, à l'entrée de la STEP, les valeurs de ce ratio varient entre 32,6 et 101 avec une moyenne de 65,1 (**Figure**

VI.30). Par comparaison avec les observations faites par LE PEN et PRONOST (1998) sur les eaux usées, ce ratio supérieur à 50 indiquerait que les eaux sont favorables à la déphosphostation biologique.

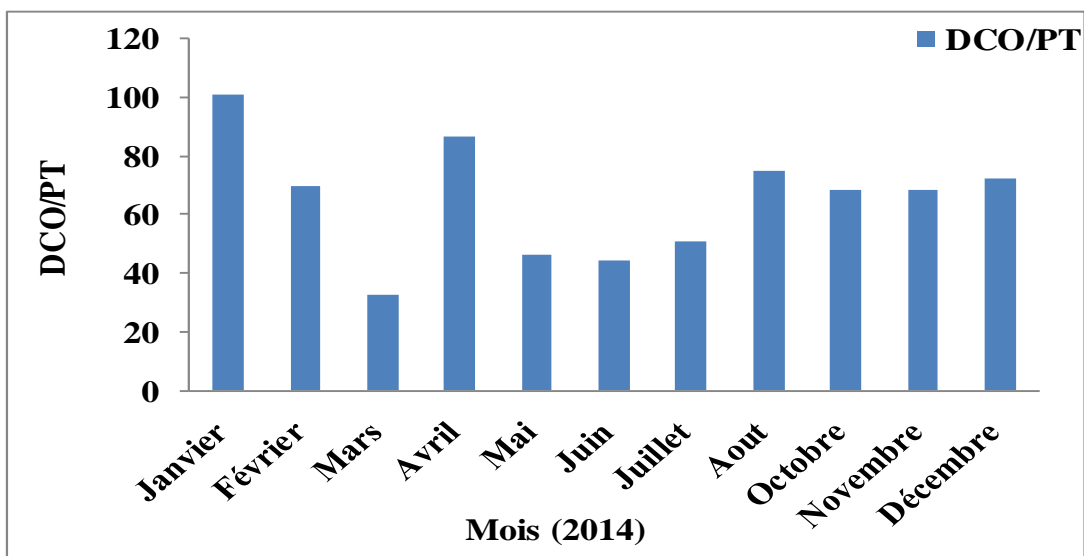


Figure VI.30: Variation de ratio DCO/PT à l’entrée de la STEP de Djelfa (2014)

### VI.3. Étude de la faisabilité de réutilisation des eaux usées épurées de la STEP de Djelfa à des fins agricole

#### VI.3.1. File existante:

##### VI.3.1.1. Potentiel d’hydrogène (pH)

Selon les résultats obtenus (Figure VI.31), les valeurs du pH des eaux épurées varient de 7,4 et 8 avec une moyenne de 7,8. Ces valeurs sont conformes aux normes Algériennes de la réutilisation des eaux épurées en irrigation (6,5 à 8,5) (JORA, 2012) et à celle fixée par la FAO (6,5 – 8,4).

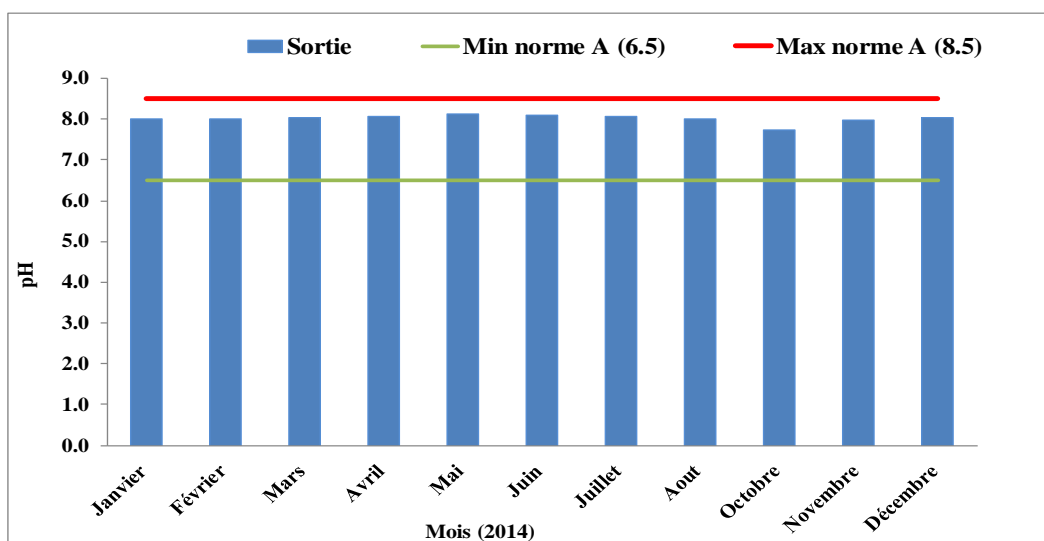
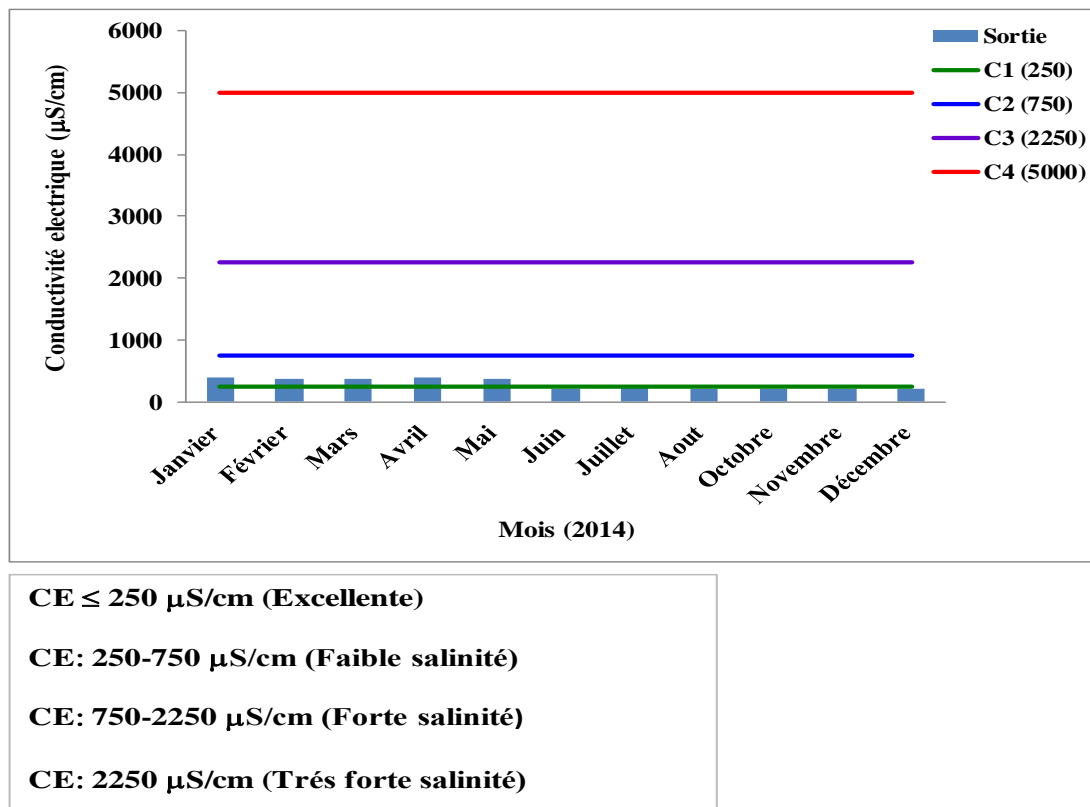


Figure VI.31: Variation de pH de l’eau à la sortie de la STEP (REUE)

### VI.3.1.2. Conductivité électrique (CE)

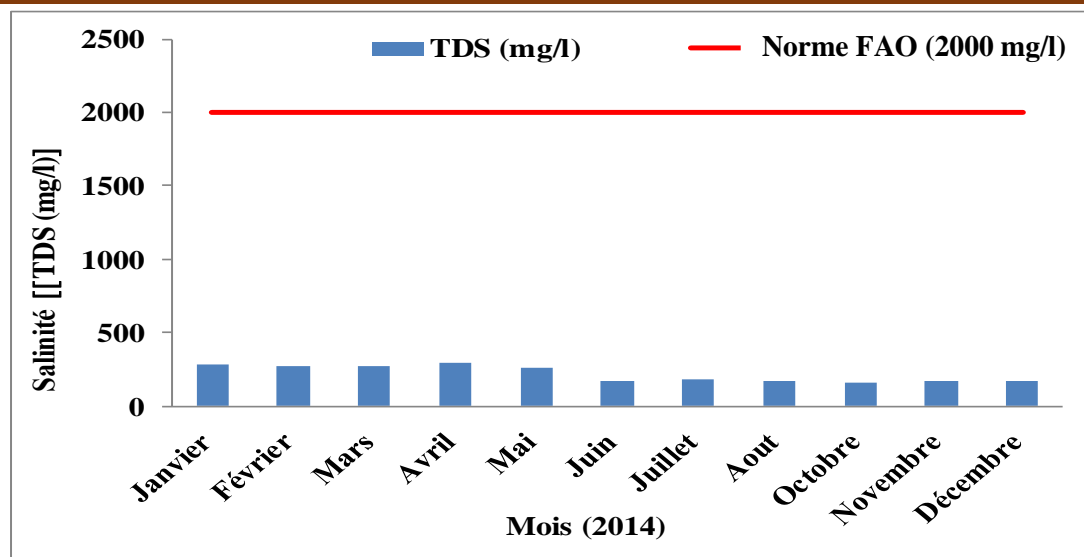
D'après les résultats obtenus, les valeurs de la conductivité électrique de l'eau épurée varient entre 207,5  $\mu\text{S}/\text{cm}$  et 403,7  $\mu\text{S}/\text{cm}$  avec une moyenne de 294.8  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (**Figure VI.32**). Ces valeurs sont conformes aux normes des eaux destinées à l'irrigation (<3000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) de l'OMS (1989) et JORA (2012). Il est à noter que pour une valeur de conductivité électrique au-dessous de 700  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , il n'y a pratiquement pas de culture dont le rendement soit affecté par la salinité, entre 700 et 3000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , le maintien des rendements est encore possible avec des façons culturales adéquates (AYERS ET WESTCOT, 1988).



**Figure VI.32:** Variation de la conductivité électrique à la sortie de la STEP (REUE)

### VI.3.1.3. La salinité

Il existe une relation entre en sels dissous de l'eau et sa conductivité électrique. Le tableau de la de la minéralisation nous permet de calculer la minéralisation à partir de la conductivité électrique (**Tableau VI.4**). Les valeurs de la salinité enregistrées à la sortie de la STEP varient entre 159,7 mg/l et 289 mg/l avec une moyenne de 217,5 mg/l. Ces résultats confirment que ces eaux épurées ont une salinité relativement faible. Ces eaux sont conformes aux normes des eaux épurées destinées à l'irrigation en agriculture fixées par la FAO (2003) (<2000 mg/l) (**Figure VI.33**).



**Figure VI.33 :** Variation de la salinité à la sortie de la STEP (REUE)

La classification des eaux d'irrigation selon la conductivité électrique est donnée par le tableau suivant :

**Tableau VI.3:** Classes d'aptitude de l'eau à l'irrigation, modifiées d'après (USSL, 1954)

Classe	Conductivité $\mu\text{S}/\text{cm}$ à 25°C	Remarques
C1	$0 < C < 250$	-faible minéralisation de l'eau - utilisation sur sol modérément lessivé et plantes moyennement tolérantes au sel
C2	$250 < C < 750$	-minéralisation moyenne -utilisation sur sol modérément lessivé et plantes moyennement tolérantes au sel
C3	$750 < C < 2250$	-eau salée -utilisation sur sol bien drainé et plantes tolérantes au sel contrôle de l'évolution de la salinité obligatoire -minéralisation forte
C4	$2250 < C < 5000$	- minéralisation forte - utilisation non souhaitable en agriculture

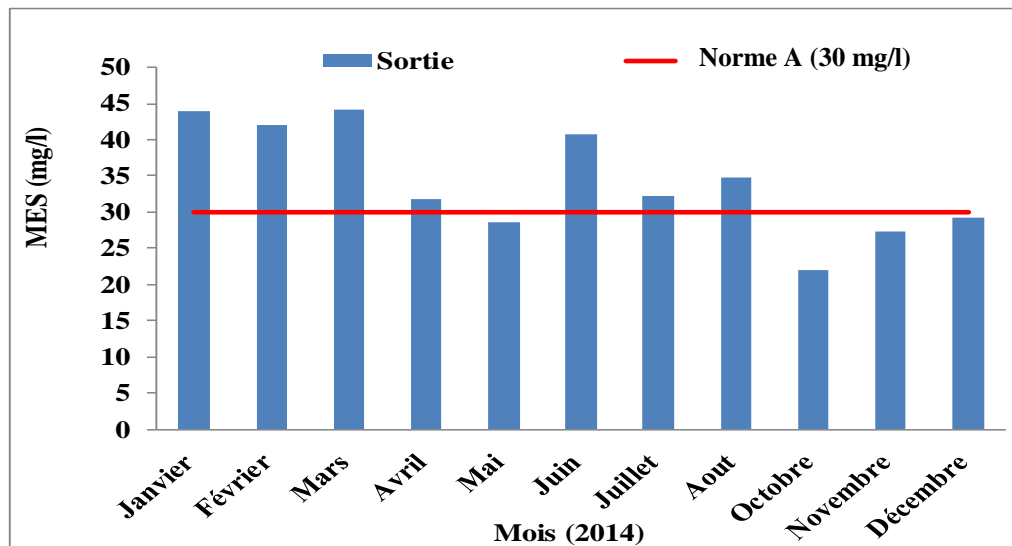
La méthode de calcul de la minéralisation est donnée par le tableau suivant :

**Tableau VI.4:** Calcul de la minéralisation (salinité) à partir de la conductivité (Rodier, 2009)

Conductivité $\mu\text{S}/\text{cm}$	Minéralisation mg/l
Conductivité $< 50 \mu\text{S}/\text{cm}$	$1,365079 \times \text{conductivité}$
Conductivité $[50 \text{ à } 166] \mu\text{S}/\text{cm}$	$0,947658 \times \text{conductivité}$
Conductivité $[166 - 333] \mu\text{S}/\text{cm}$	$0,769574 \times \text{conductivité}$
Conductivité $[333 - 833] \mu\text{S}/\text{cm}$	$0,715920 \times \text{conductivité}$
Conductivité $[833 - 10000] \mu\text{S}/\text{cm}$	$0,758544 \times \text{conductivité}$
Conductivité $> 10000 \mu\text{S}/\text{cm}$	$0,850432 \times \text{conductivité}$

#### VI.3.1.4. Matières en suspension (MES)

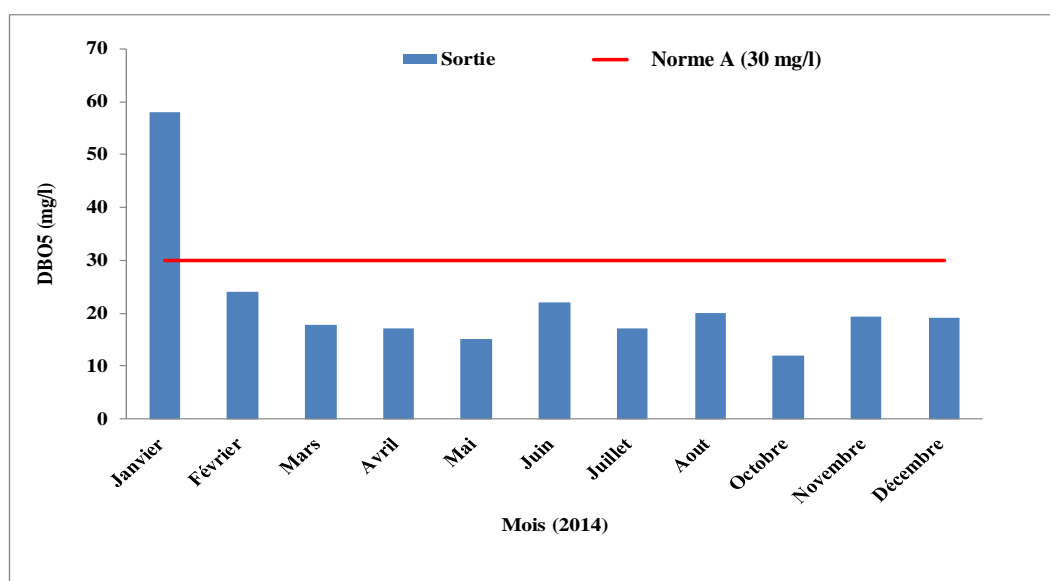
Les résultats obtenus montrent qu'à la sortie de la STEP, les valeurs des MES varient entre 22 mg/l et 44,3 mg/l avec une moyenne de 34,3 mg/l (**Figure VI.34**). La majorité des valeurs enregistrées ne sont pas conformes aux normes Algériennes des eaux épurées destinées à l'irrigation ( $\leq 30$  mg/l) (**JORA, 2012**).



**Figure VI.34:** Variation de MES à la sortie de la STEP (REUE)

#### VI.3.1.5. Demande biologique en oxygène (DBO<sub>5</sub>)

Selon la **Figure VI.35**, les concentrations en DBO<sub>5</sub> des eaux épurées oscillent entre un minimum de 12 mg d'O<sub>2</sub>/l et un maximum de 58 mg d'O<sub>2</sub>/l avec une valeur moyenne de avec une moyenne de 22 mg d'O<sub>2</sub>/l. Il est à noter que les valeurs de DBO<sub>5</sub> sont largement inférieure aux normes Algériennes des eaux épurées destinées pour l'irrigation ( $\leq 30$  mg d'O<sub>2</sub>/l) (**OMS, 1989; JORA, 2012**).



**Figure VI.35:** Variation de la DBO<sub>5</sub> à la sortie de la STEP (REUE)

### VI.3.1.6. Demande chimique en oxygène (DCO)

Les résultats obtenus montrent qu'à la sortie de la STEP les valeurs de la DCO varient entre 72 mg/l à 135 (Figure VI.36). La DCO moyenne des eaux après traitement est de 104,3 mg O<sub>2</sub>/l, cette valeur est supérieure à la norme algérienne pour les eaux destinées à l'irrigation ( $\leq 90$  mg/l) (JORA, 2012) et à celle fixée par l'OMS(1989) ( $<40$  mg d'O<sub>2</sub>/l).

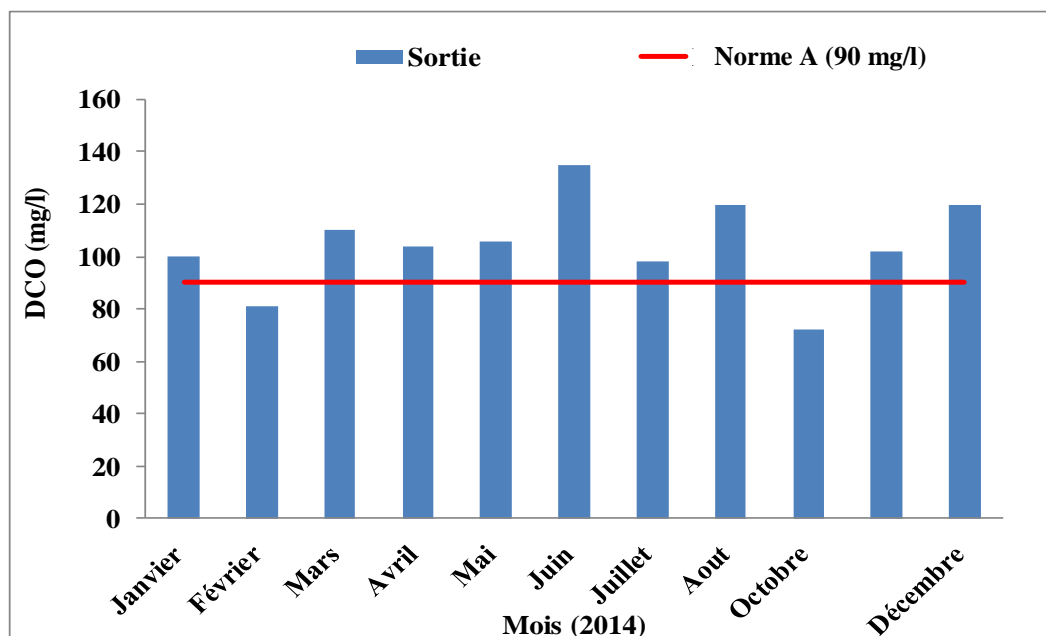


Figure VI.36: Variation de la DCO à la sortie de la STEP (REUE)

### VI.3.1.7. Nitrate (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)

Les valeurs en nitrates enregistrées à la sortie de la STEP présentent des variations allant de 0,2 et 1,9 mg/l avec une moyenne de 0,8 mg/l (Figure VI.37). Les valeurs enregistrées sont en dessous des normes d'irrigation ( $\leq 30$  mg/l) (JORA, 2012) et de la FAO (2003) (1-50 mg/l). Ces valeurs ne constituent donc pas une restriction par rapport à l'utilisation de ces eaux épurées dans l'irrigation.

### VI.3.1.8. Phosphore total (PT)

Les valeurs des ortho phosphates enregistrées à la sortie de la station présentent des variations allant de 1,3 et 1,9 mg/l avec une moyenne de 1,5 mg/l (Figure VI.38). Ces valeurs enregistrées sont conformes à la norme de la FAO (2003) ( $<2$  mg/l), mais elles dépassent la norme des eaux d'irrigation préconisée par l'OMS (1989) ( $<0.94$  mg/l).

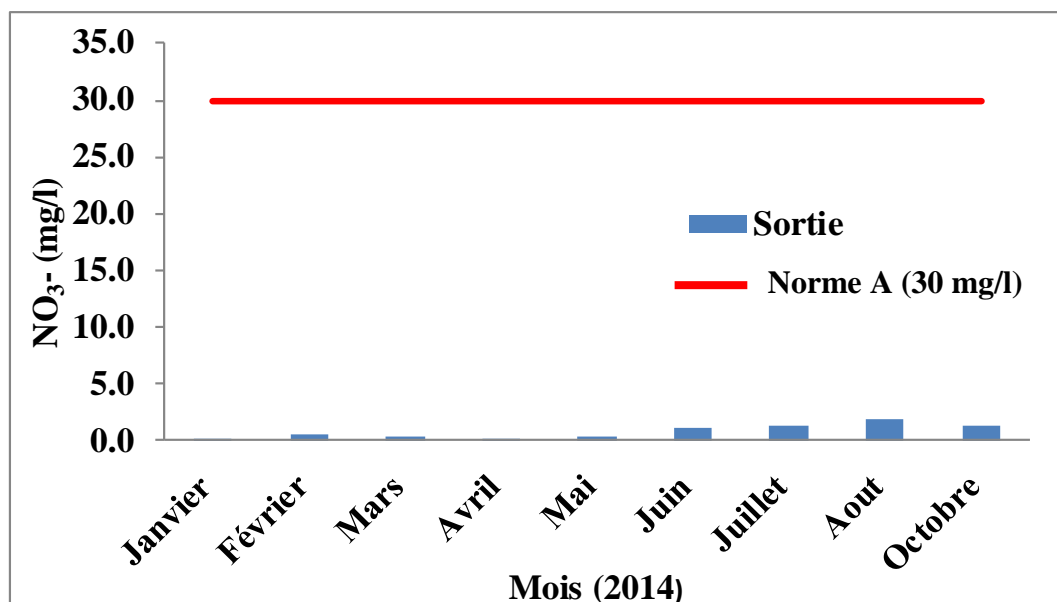


Figure VI.37: Variation de nitrates à la sortie de la STEP (REUE)

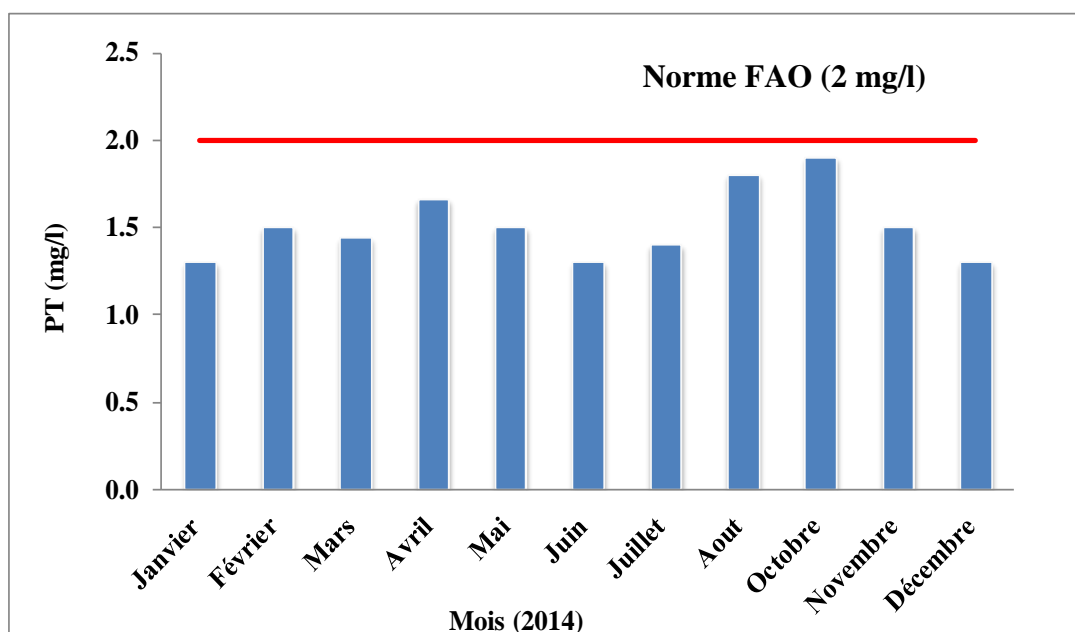


Figure VI.38: Variation de phosphore total (PT) à la sortie de la STEP (REUE)

## VI.3.2. Nouvelle file

### VI.3.2.1. Potentiel d'hydrogène (pH)

À la sortie de la STEP, les valeurs du pH varient 7,8 à 8,2 avec une moyenne de 8,1, cette valeur est inférieure à la norme (6,5-8,5) fixée par (JORA, 2012) et à celle recommandée par la FAO (6,5 – 8,4) (Figure VI.39).

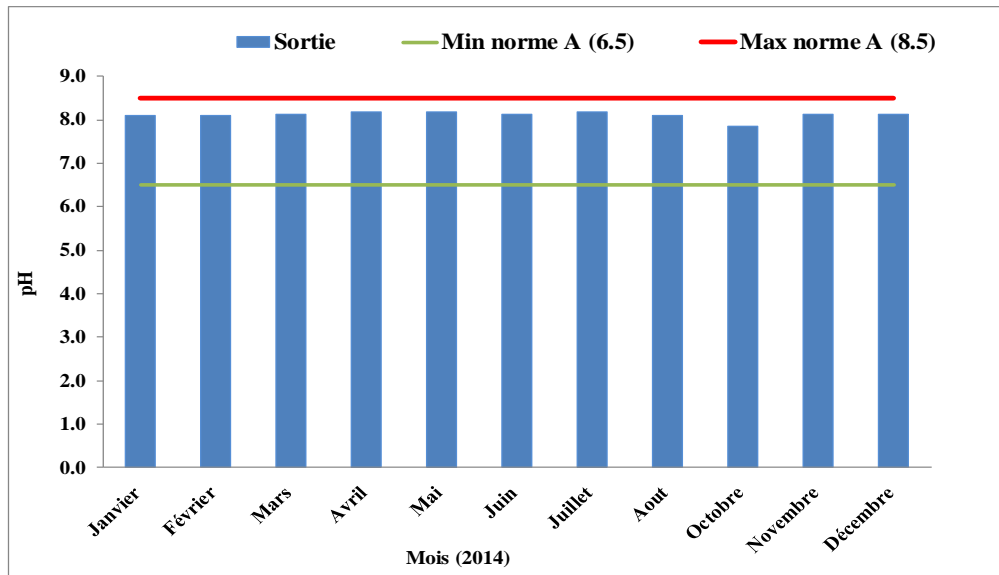
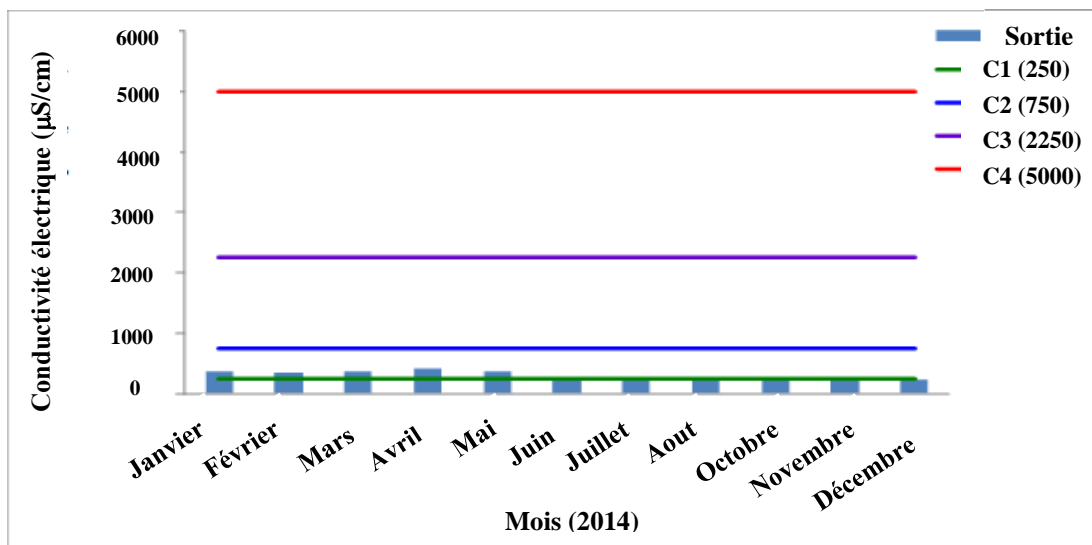


Figure VI.39. Variation de pH de l'eau à la sortie de la STEP (REUE)

**VI.3.2.2. Conductivité électrique (CE)**

À la sortie de la STEP Les valeurs de la conductivité oscillent entre 232  $\mu\text{S}/\text{cm}$  et 418,3 $\mu\text{S}/\text{cm}$  avec une moyenne de 301,4  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (Figure VI.40). Ces valeurs sont conformes aux normes des eaux destinées à l'irrigation (<3000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) de l'OMS (1989) et JORA (2012).



CE ≤ 250 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Excellente)
CE: 250-750 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Faible salinité)
CE: 750-2250 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Forte salinité)
CE: 2250 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Très forte salinité)

Figure VI.40: Variation de la conductivité électrique à la sortie de la STEP (REUE)

**VI.3.2.3. La salinité**

À la sortie de la STEP, les valeurs de la salinité sont comprises entre 178,6 mg/l et 299,4 mg/l avec une moyenne 222,7 mg/l (Figure VI.41). Les résultats obtenus montrent que la



minéralisation de ces eaux est faible. La valeur moyenne de la salinité est largement inférieure à la norme des eaux épurées destinées à l'irrigation recommandée par la FAO (2003) (<2000 mg/l).

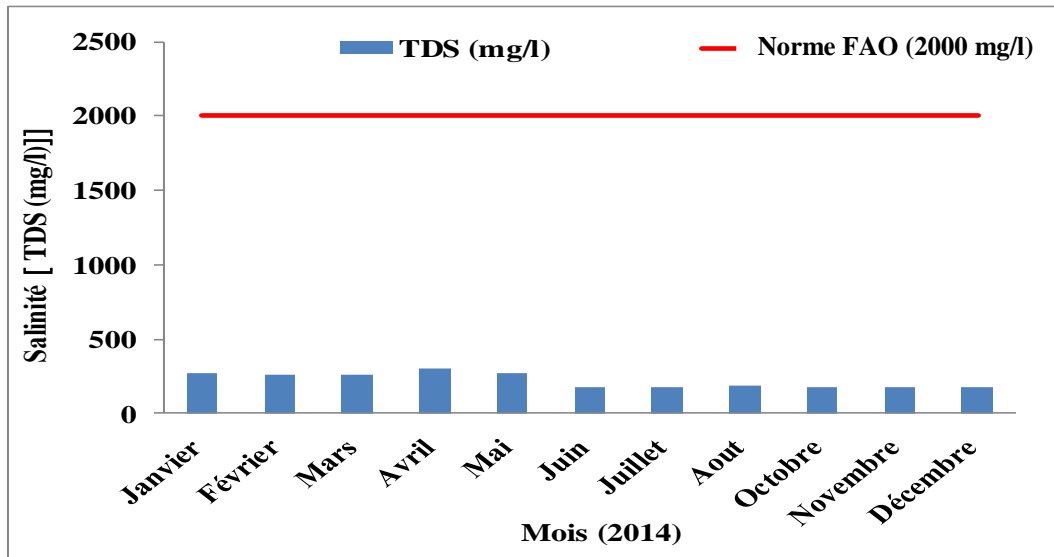


Figure VI.41: Variation de la salinité à la sortie de la STEP (REUE)

VI.3.2.4. Matières en suspension (MES)

À la sortie de la STEP, les valeurs de MES sont comprises entre 24 et 55,1 mg/l avec une moyenne de 35,1 mg/l (Figure VI.42). La majorité des valeurs enregistrées ne sont pas conformes aux normes Algériennes des eaux épurées destinées à l'irrigation ( $\leq 30$  mg/l) (JORA, 2012).

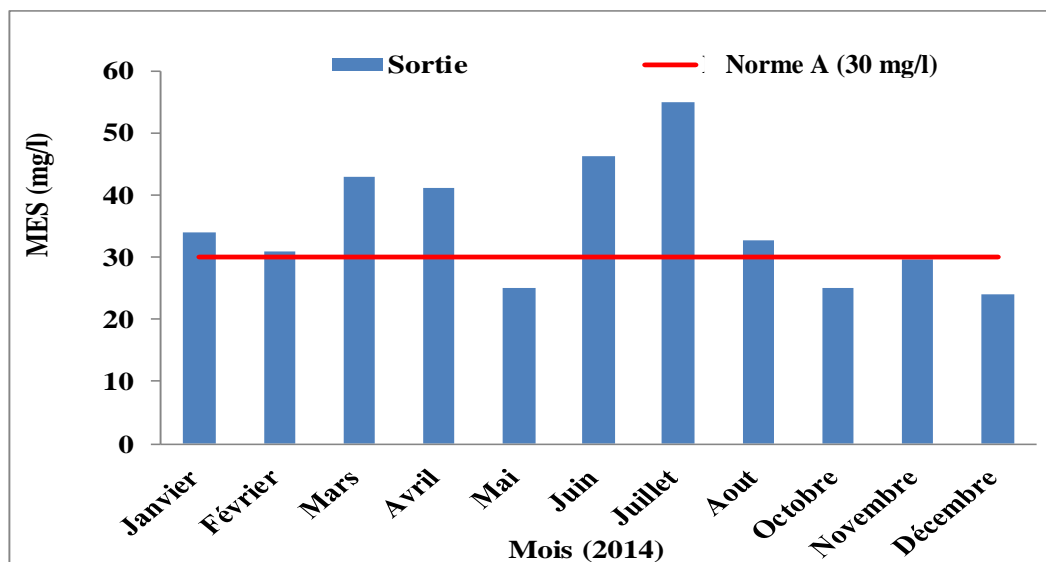
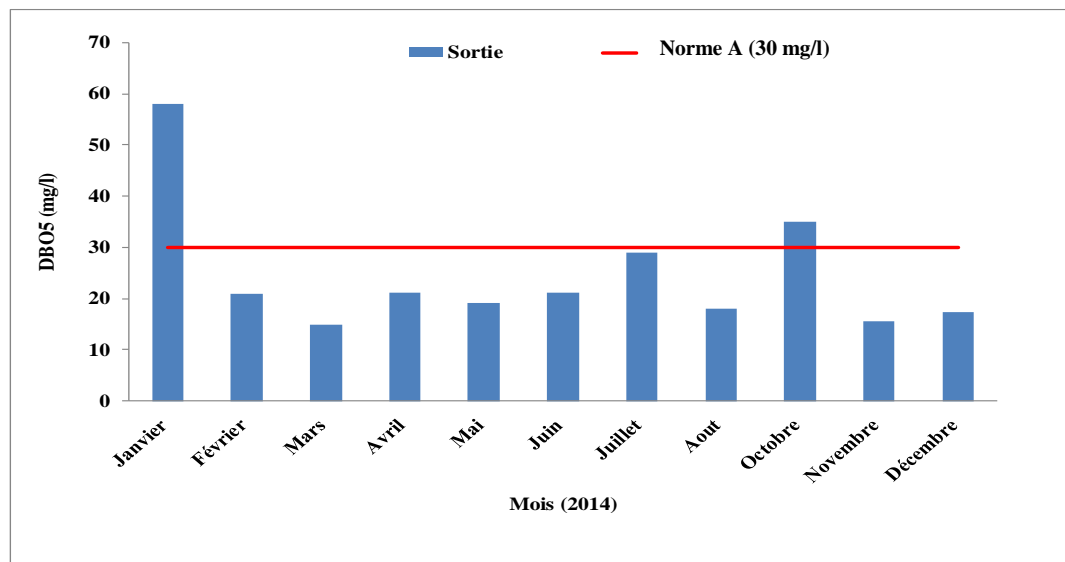


Figure VI.42: Variation de MES à la sortie de la STEP (REUE)

### VI.3.2.5. Demande biologique en oxygène (DBO<sub>5</sub>)

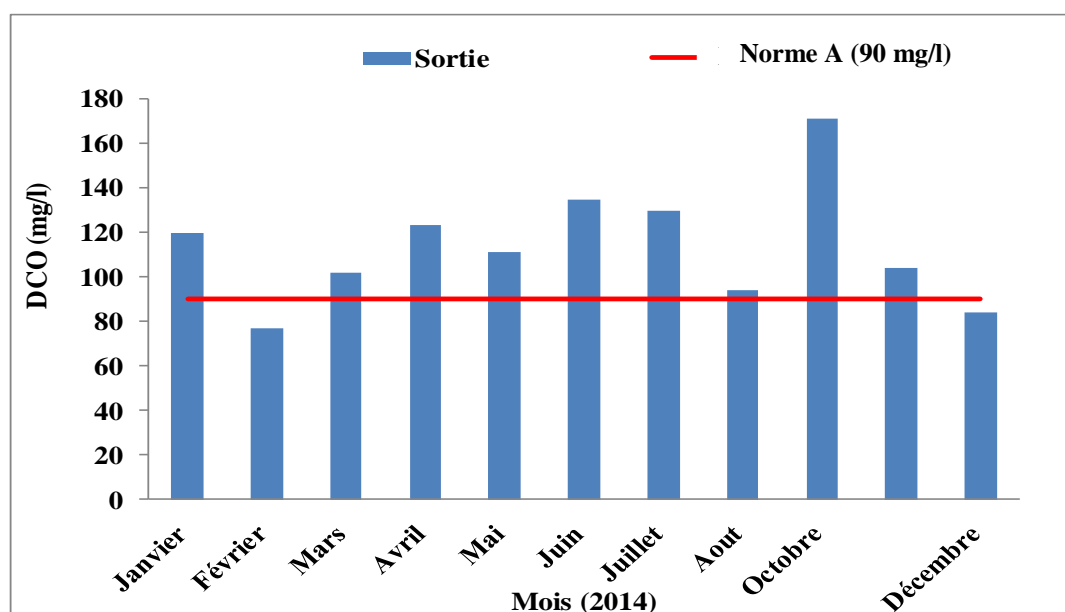
Les concentrations de la DBO<sub>5</sub> enregistrées à la sortie de la STEP, oscillent entre 14,9 et 58 mg d'O<sub>2</sub>/l avec une moyenne de 24,5 mg d'O<sub>2</sub>/l (**Figure VI.43**). Ces valeurs sont conformes aux normes des eaux épurées destinées à l'irrigation de ( $\leq 30$  mg d'O<sub>2</sub>/l) (**OMS, 1989; JORA, 2012**)



**Figure VI.43:** Variation de la DBO<sub>5</sub> à la sortie de la STEP (REUE)

### VI.3.2.6. Demande chimique en oxygène (DCO)

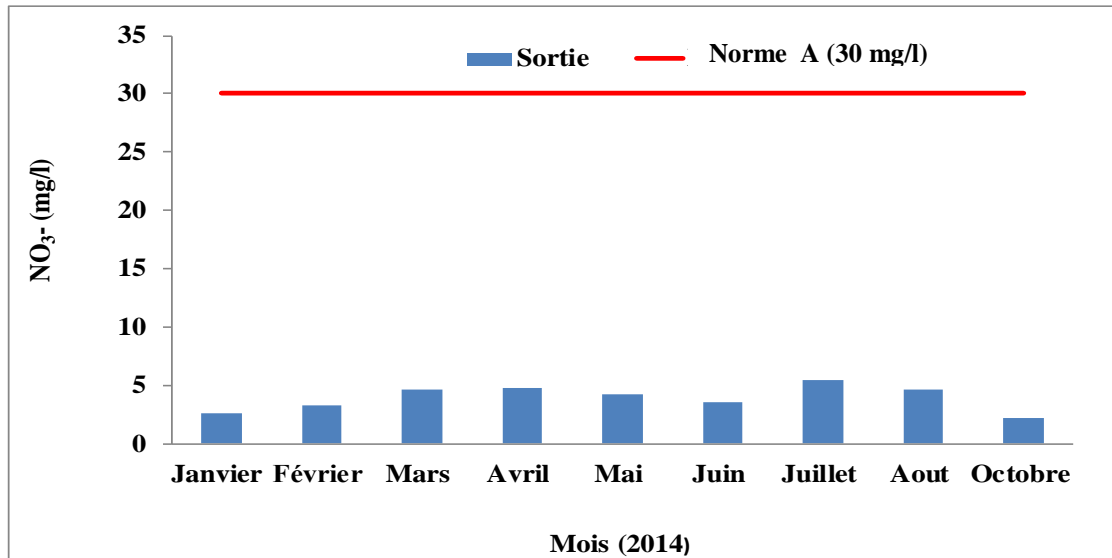
Les valeurs enregistrées de la DCO des eaux a la sortie de la STEP oscillent entre 77 et 171 mg d'O<sub>2</sub>/l (**Figure VI.44**). La DCO moyenne des eaux après traitement est de 113.7 mg O<sub>2</sub>/l, cette valeur est supérieure à la norme algérienne pour les eaux destinées à l'irrigation ( $\leq 90$  mg/l) (**JORA, 2012**) et à celle fixée par l'OMS(1989) ( $<40$  mg d'O<sub>2</sub>/l).



**Figure VI.44:** Variation de la DCO à la sortie de la STEP (REUE)

### VI.3.2.7. Nitrate ( $\text{NO}_3^-$ )

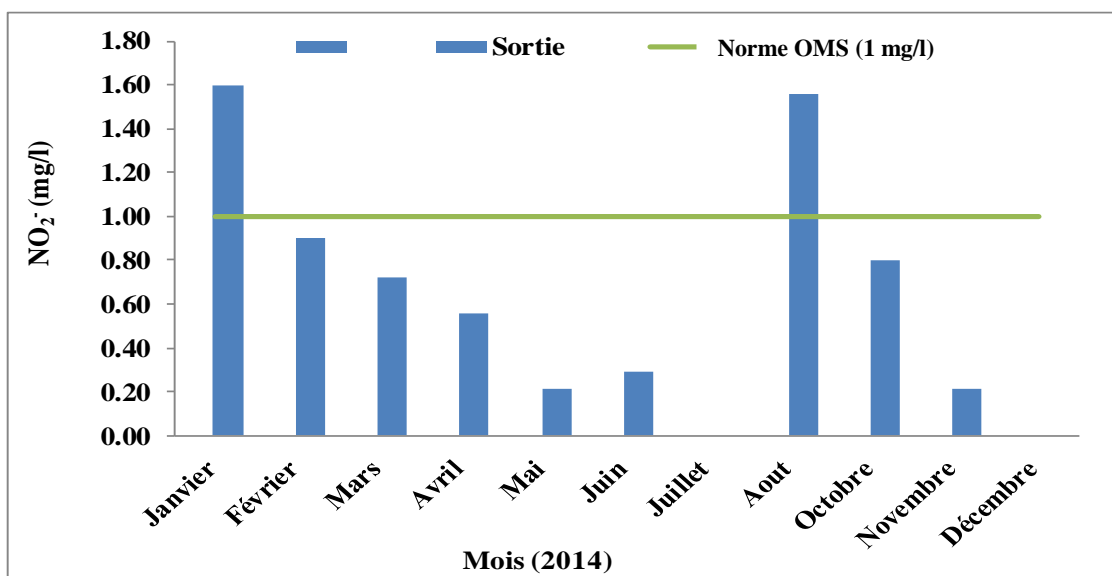
À la sortie, les concentrations en  $\text{NO}_3^-$  varient entre 2,2 et 5,4 mg/l avec une valeur moyenne de 3,9 mg/l (**Figure VI.45**). Les valeurs enregistrées sont conformes aux normes des eaux destinées à l'irrigation ( $\leq 30$  mg/l) (**JORA, 2012**) et de la **FAO (2003)** (1-50 mg/l). Ces valeurs ne constituent donc pas une restriction par rapport à l'utilisation de ces eaux épurées dans l'irrigation.



**Figure VI.45:** Variation de nitrates à la sortie de la STEP (REUE)

### VI.3.2.8. Nitrites ( $\text{NO}_2^-$ )

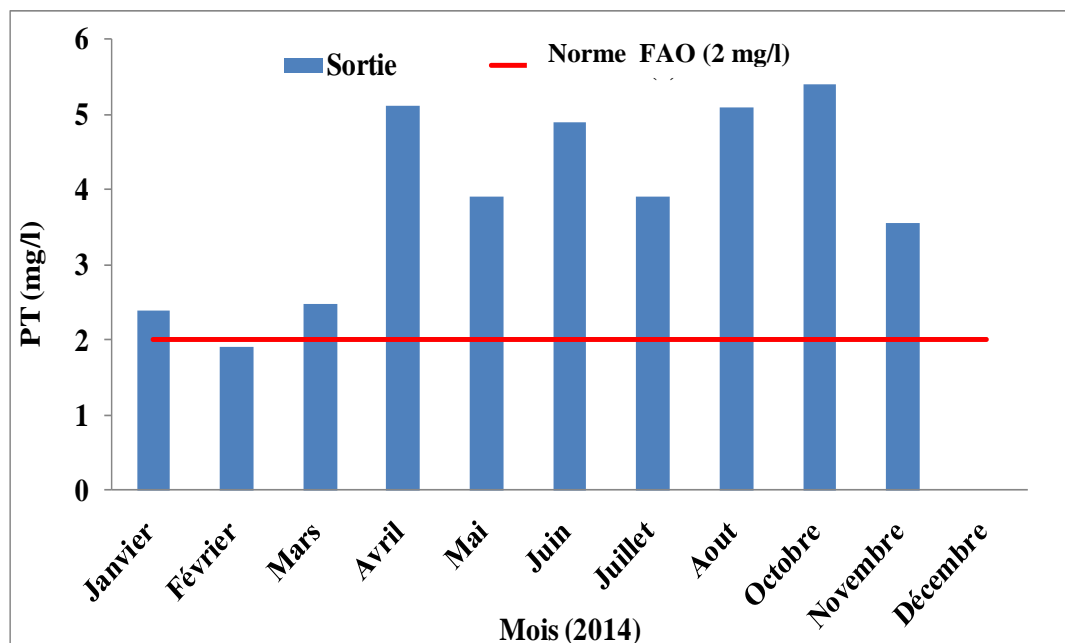
À la sortie de la STEP, les concentrations en nitrites varient entre 0 et 1,6 mg/l avec une valeur moyenne de 0,7 mg/l (**Figure VI.46**). La teneur moyenne en nitrites ne dépasse pas la norme des eaux destinées à l'irrigation de (OMS, 1989) ( $<1$  mg/l).



**Figure VI.46:** Variation de nitrites à la sortie de la STEP (REUE)

### VI.3.2.9. Phosphore total (PT)

À la sortie de la STEP, les concentrations en phosphore total oscillent entre 1,7 mg/l et 5,4 mg/l avec une moyenne de 3,7 mg/l (**Figure VI.47**). Ces valeurs enregistrées sont supérieures à la norme des eaux d'irrigation de la **FAO (2003)** (<2 mg/l), et celle recommandée par l'**OMS (1989)** (<0.94 mg/l).



**Figure VI.47:** Variation de phosphore total (PT) à la sortie de la STEP (REUE)

## VI.4. Conclusion

Le suivi des paramètres physico chimiques des eaux usées brutes et épurées de la STEP de Djelfa (2014) été réalisé dans le but de déterminer le degré de pollution physico-chimique de l'eau brute d'une part et d'évaluer l'efficacité du traitement d'autre part. Les conclusions sont les suivantes :

- Les rendements épuratoires moyens de la STEP de Djelfa (file existante et nouvelle file) en terme de DCO, DBO<sub>5</sub>, MES, et Pt sont respectivement de 76,7%, 91%, 91%, et de 67%.
- Les eaux épurées à la sortie de la STEP, possèdent une qualité conforme aux normes requise pour les rejets dans le milieu récepteur.
- Les analyses physico-chimiques des eaux épurées révèlent une conformité de la majorité des paramètres aux normes de réutilisation de ces eaux en irrigation. Néanmoins, il faut compléter les analyses physico-chimiques faites par le laboratoire de la station par des analyses microbiologiques.

### Conclusion générale

L'objectif de cette étude a visé le suivi de la qualité physicochimique et des eaux usées brutes et épurées de la STEP de Djelfa afin de détecter les anomalies qui peuvent exister au niveau de la STEP et pouvoir valoriser ses eaux épurées en irrigation des terres agricoles.

Notre étude nous a permis d'aboutir aux conclusions suivantes :

➤ **Les paramètres physico-chimiques**

- ✓ Les résultats d'analyse des paramètres de pollution (DBO<sub>5</sub>, MES, DCO, NTK, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, PT) a montré que les valeurs trouvées à la sortie de la STEP sont conformes aux normes Algérienne en vigueur en matière de rejet dans le milieu récepteur, notamment le décret exécutif 06-141 définissant les valeurs limites des rejets dans un milieu récepteur (JORA, 2006).

➤ **Les rendements épuratoires**

- ✓ Les rendements épuratoires sont globalement satisfaisants et répondent aux objectifs de la STEP en termes de rejets. En effet, Les rendements de la STEP (file existante) en DBO<sub>5</sub>, DCO et MES sont respectivement : 91,5%, 77,5% et 91,2%; et des rendements épuratoires pouvant atteindre des valeurs de 90,6%, 75,9% et 90,9% respectivement pour la DBO<sub>5</sub>, DCO et MES (Nouvelle file).
- ✓ Les rendements d'élimination du phosphore total sont aussi conformes aux normes.

➤ **Les ratios calculés**

L'interprétation des ratios des paramètres de pollution a permis de tirer les conclusions suivantes:

- ✓ DCO/DBO<sub>5</sub> : Ce rapport souligne bien le caractère biodégradable des eaux usées de la STEP de Djelfa (effluent mixte).
- ✓ DCO/PT : Dans notre cas, les valeurs moyennes sont supérieures à 45 permettant de prévoir un rendement d'élimination acceptable du phosphore.
- ✓ MES/DBO<sub>5</sub> : La STEP de Djelfa est caractérisée par une pollution d'origine particulière, cette pollution augmente pendant les évènements pluvieux pouvant perturber l'efficacité de traitement.
- ✓ DCO/NTK : Il représente l'efficacité de la nitrification, d'après les résultats se ratio indique que la nitrification s'effectue dans des bonnes conditions

➤ **Les possibilités de réutilisation agricole des eaux épurées**

- ✓ Les analyses physico-chimiques des eaux épurées révèlent une conformité de la majorité des paramètres physico-chimiques sont conformes aux normes de réutilisation

de ces eaux en irrigation. Cette ressource en eau non conventionnelle peut constituer une ressource supplémentaire et peut être valorisée en irrigation.

- ✓ Par contre les résultats trouvés pour la DCO sont au-dessus de la norme Algérienne de la réutilisation des eaux épurées en irrigation et à celle fixée par l’OMS.

### **Recommandations**

Ces résultats nous amènent à proposer certaines recommandations dans le cadre de la réutilisation de cette eau usée épurée à toutes fins agricoles tenant compte de sa qualité physico- chimique, notamment :

- ✓ La réalisation des stations d’épuration dans chaque agglomération pour assurer la protection de l’environnement et afin de réaliser des projets de valorisation des eaux usées épurées sur le territoire de la wilaya de Djelfa.
- ✓ L’amélioration des installations implantées actuellement au niveau de la STEP de Djelfa, comme la dotation de la station par l’équipement nécessaire de réalisation des analyses bactériologiques et des éléments en traces,
- ✓ Compléter l’épuration biologique par des traitements tertiaires (désinfection par UV) poussés pour assurer une élimination totale des germes pathogènes et une réduction des risques sanitaires ;
- ✓ Il faut respecter les conditions d’irrigation (l’utilisation des eaux épurées sur les produits consommables crues à consommer crus est inacceptable, quel que soit le stade de traitement)
- ✓ Les autorités compétentes doivent promulguer une réglementation algérienne sur l’utilisation des sous-produits d’épuration en agriculture.

*REFERENCES*

*BIBLIOGRAPHIQUES*

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ADJEROUD K., 2016** – Etude physico-chimique et organique des eaux usées de la ville d'Ain Beida , et leur impact sur l'irrigation . Mémoire master en hydraulique. Université Larbi Ben M'hidi , Oum El-Bouaghi , 115 p .
- ALEM, S.L (2016).** Étude des eaux épurées de la station d'épuration de Beni Messous en vue de leur utilisation agricole. Mémoire d'ingénieur. École Nationale Polytechnique, Alger. 118 p.
- ALLAOUI K; 2009** – Modélisation hydraulique d'un bassin d'aération des stations d'épuration des eaux usées . Mémoire magistère, S.I. Hydraulique. Université Badji Mokhtar, Annaba, 121p.
- AMOURA, M. (2023).** Contribution à l'analyse de la performance d'un système d'irrigation de cultures dans la région de Chlef. Thèse de Doctorat. Université Hassiba Benbouali de Chlef, 117 p.
- ARCAND Y, PARIS J, ROULEAU D et MAYER R. (1989).** Effet de paramètres d'opération sur la décantation de boues biologiques d'une unité de traitement d'eaux usées de raffinerie. *Revue des Sciences de l'Eau*, 2: 43 – 69.
- ASANO T. (1998).** Wastwater reclamation and reuse. Water quality management library, 1475p.
- AYERS R.S ET WESTCOT D.W. (1988).** La qualité de l'eau en irrigation. Bulletin de la FAO d'irrigation et de drainage. 29Rév. 1, 165p.
- ATINKPAHOUN, N. C. H (2018).** Relations entre la variabilité de la pollution des eaux usées urbaines et les contextes géographiques, socio-économiques et culturels au Benin et en France. Thèse de Doctorat. Université d'Abomey-Calavi et Université de Lorraine, 277 p.
- AZZOUZI N ; 2010** – Traitement et réutilisation des eaux usées épurées dans la ville de Marrakech. Mémoire licence en sciences et techniques .Université Cadi Ayyad, Marrakech, Maroc, 71p.
- BAKIRI Z ; 2007** – *Traitement des eaux usées par des procédés biologiques classiques : Expérimentation et modélisation* . Mémoire magister en Génie .Chi. Université Ferhat Abbas, Sétif, 120 p.
- BAKIRI, Z. (2014).** Analyse et optimisation des eaux usées urbaines par boues activées: application au décanteur secondaire. Doctorat en Sciences. Université Ferhat Abbas Sétif -1, 169 P.
- BARKA et BENALLAL ; 2020** – *Etude des performances épuratoires de la STEP d'Ain Temouchent et faisabilité de la réutilisation de ces eaux usées épurées en irrigation*. Mémoire master en hydraulique. Université Abou-Bakr Blekaid, Tlemcen, 121 p.
- BAUMONT S, CAMARD J-P, LEFRANC A, FRANCONI A. (2004).** Réutilisation des eaux usées : risques sanitaires et faisabilité en Île-de-France. Rapport ORS, 220p.
- BECHAC J. P., BOUTIN P., MERCIER B. et NUER P. (1984) :** Traitement des eaux usées, Éditions Eyrolles. Paris. 289 p.
- BEDOUH Y., 2014** – *Évaluation de la toxicité des eaux usées traitées par la station d'épuration de Guelma et son impact sur l'oignon « Allium capa »*. Thèse de Doctorat. Université Badji Mokhtar Annaba , 158 p.
- BEKHTAOUI S ; et BEDDAR H ; 2020** – *Stratégies d'amélioration du fonctionnement de la station d'épuration d'El-Kerma-Oran*. Mémoire master en hydraulique. Université Abou Bakr Belkai , Tlemcen, 156 p.



- BENALI A ; et THAMER O; 2019** – *Diagnostic de fonctionnement de la station d'épuration de Kouinine : Solutions proposées* . Mémoire master en hydraulique. Université Echahid Hamma Lakhdar, El-Oued, 90 p.
- BENAZIZA A., SNOUSSI S.A et HADDAD A. (2023)**. Contribution à l'analyse de la problématique de réutilisation des eaux usées traitées par les stations de traitement (STEP) dans la wilaya de Tipaza. *Revue Agrobiologia*, 13(1) : 3314-3321.
- BENKADOUR B. (2018)**. *Contribution à l'étude de la contamination des eaux et des sédiments de l'Oued Chellif (Algérie)*. Thèse de Doctorat, Université de Perpignan Via Domitia, 190p.
- BENNIA Y ; 2020** – *Traitement des eaux usées dans la station d'épuration de Cap Falcon-Oran, diagnostic et perspectives*. Mémoire master en sciences agronomiques. Université Abdelhamid Ben Badis , Mostaganem, 59 p.
- BENOUDJIT F ; 2016** – *Caractérisation et valorisation des boues issues d'un office d'assainissement .Cas ONA Boumerdès (STEP Boumerdès)*. Thèse de Doctorat, Université M'hamed Bougara ,Boumerdès , 130 p .
- BENYEROU D ; 2021**-*Epuration et réutilisation des eaux résiduaires*. Polycopié de cours en hydraulique. Université Mohamed Boudiaf, Oran, 75 p.
- BETAOUAF N ; 2012** – *Réutilisation des eaux usées dans l'agriculture urbaine et périurbaine au Maghreb arabe .Avantages et inconvénients*. Mémoire master en hydraulique. Université Abou-Bakr Blekaid, Tlemcen, 93 p.
- BIXIO D., DE HEYDER B., CHIKUREL H., MUSTON M., MISKA V., JOKSIMOVIC D., SCHÄFER A.I., RAVAZZINI A., AHARONI A., SAVIC D. AND THOEYE C. (2005)**. *Municipal wastewater reclamation : where do we stand ? An overview of treatment technology and management practice*. *Wat. Sci. Tech. : Wat. Supply*, vol. 5, n°. 1, pp. 77-85.
- BOUANANI H. et TEBBAL S., 2013** – *Suivi et diagnostic de la STEP de Koléa et possibilité de valorisation des sous-produits en agriculture*. Mémoire Ingénieur en hydraulique. École Nationale Polytechnique, El-Harrach, Alger, 195 p
- BOUCHAALA L; CHARCHAR N ; et GHERIB A;E; 2017**. *Ressources hydriques : Traitement et réutilisation des eaux usées en Algérie* .*Algerian Journal of Arid Environment*, vol. 7, n°1, juin: 84-95.
- BOUDHANE N ; et AHMED A ;I ; 2016** – *Optimisation du traitement biologique dans une station d'épuration à boue activées : Cas de la STEP de Batna* . Mémoire master en hydraulique. Université Abou Bakr Belkaid,Tlemcen, 88 p.
- BOUMALEK W. 2014**- *Etude des possibilités de valorisation des sous—produit d'épuration de la ville de Jijel en agriculture* . Mémoire master en hydraulique. Ecole Nationale Polytechnique, El-Harrach, Alger, 64 p.
- BOUMEDIENE M ;E ; 2013** – *Bilan de suivi des performances de fonctionnement d'une station d'épuration a boues activées : Cas de la STEP Ain El-Houtz* . Mémoire master en hydraulique. Université Abou-Bakr Blekaid, Tlemcen, 57 p.
- BOUTI S. (2021). (2021)**. Étude et réalisation d'un système d'irrigation automatique. Mémoire de Master Université Yahia Fares Médéa, 77p.
- BOUTIN C ; HEDUIT A ; et HELMER J ; M (2009)**. *Technologies d'épuration en vue d'une réutilisation des eaux usées traitées (REUT)*. Convention de partenariat ONEMA-Cemagref. France , 100 p.

- BOUZIDI Y ; 2020** – *Réutilisation des eaux usées épurées en Algérie* . Mémoire master en hydraulique. Université 8 Mai 1945, Guelma, 66p.
- BREMOND R. et C. PERRODON (1979)**. Paramètres de la qualité des eaux. Ministère de l'Environnement et du cadre de vie, 2e édition, Paris, France, 259 p.
- CARRÉ E. (2017)**. *Qualité biologique des eaux usées traitées en vue de la réutilisation*. Thèse de Doctorat. Ecole des Mines de Saint-Etienne, Lyon, France, 359p .
- CHARABI M. (2016)**. *Possibilités de réutilisation des eaux épurées et valorisation des boues de la station d'épuration de Boumerdes, W.Boumerdes*. Mémoires de Master. École Nationale Supérieure de l'Hydraulique, 108 p.
- DAOUD T.N et THOUBI M.N. 2012-** Estimation du niveau de certains métaux lourds dans les eaux usées traitées rejetées dans la rivière Diyala depuis la station de Rustamiya à Bagdad . Journal de l'éducation de base. Université Al-Mustansiriya à Bagdad 75: 221-234.
- DEGRÉMONT, S. (1989)**. Mémento technique de l'eau. 9eme éd. Paris, Lavoisier (2 vol.).
- DEGREMONT, S. (2005)**. Mémento technique de l'eau. Paris : Lavoisier. Techniques et documentation. ISBN 9782743007171.
- DHAOUADI, H (2008)**. Traitement des Eaux Usées Urbaines. Université Virtuelle de Tunis, 34 p.
- DIF, K ET KAMEL, H. F. (2017)**. Évaluation de la charge polluante des eaux usées de la ville de Djelfa, Mémoire de Licence, Université Ziane Achour Djelfa, 37 p.
- DJAFFAR S., KETTAB A. (2018)**. La gestion de l'eau en Algérie : quelles politiques, quelles stratégies, quels avenir ? Algerian J. Env. Sc. Technology, 4:1 (2018) 641-648
- DJEBALI O ; 2008** – *Contribution à la réhabilitation de la station d'épuration de Baraki*. Mémoire Ingénieur en hydraulique. École Nationale Polytechnique, El-Harrach, Alger, 86 p.
- DJEDDI H ; 2007-** *Utilisation des eaux d'une station d'épuration pour l'irrigation des essences forestières urbaines*. Mémoire de Magistère. Université Mentouri, Constantine, 157p.
- DJILLALI Y. (2020)** *Evaluation expérimentale de la qualité et de la quantité des cultures maraichères et arboricoles irriguées par les eaux usées traitées*. Thèse de Doctorat. Ecole Nationale Polytechnique, Alger, 195 p.
- ECHENFELDER, W. (1982)**. Gestion des eaux usées urbaines et industrielles. Paris : Lavoisier, 503 p. Technique et documentation. ISBN 2-85206-129-5.
- ECHIKR Kheir Eddine. (2018)**. Dimensionnement du réseau d'irrigation par aspersion de pomme de terre, Tipaza. Mémoire de master. Université de Blida, 70p.
- ECOSSE, D. (2001)**. *Techniques alternatives en vue de subvenir à la pénurie d'eau dans le monde*. Mémoire de DESS, Faculté des Sciences d'Amiens.
- EL HAITÉ, H. (2020)**. *Traitement des eaux usées par les réservoirs opérationnels et réutilisation pour l'irrigation*. Thèse de Doctorat. École Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne, 2005p.
- EL OUAHABI K., BENJELLOUN., S. (2013)**. Performance de l'irrigation localisée et son impact sur le sol dans le périmètre de N'fis. Mémoire de Licence. Faculté des sciences et Techniques –Marrakech, 57 p.
- FABY, J.A. (1997)**. L'utilisation des eaux usées épurées en irrigation, Document technique, FNDAE, Hors-série n°1180 pp.

- FAO (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION) (2003)** : *Irrigation avec des eaux usées traitées, Manuel d'utilisation*. Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture, 73 p.
- FERMAS, M et LAMHACHHECHE, K. (2020)**. *Réutilisation des eaux usées urbaines épurées en agriculture : Cas de la STEP de Kolea (de la wilaya de Tipaza)*. Mémoire Master en Biologie. Université Mohammed Seddik Benyahia, Jijel, 103 p.
- FIDELE, M. K. (2020)**. *Conception d'une station expérimentale de traitement des eaux usées par filtres plantés des macrophytes*. Thèse de Doctorat. Université Côte d'Azur, France, 305 p.
- FRANCK R. (2002)**. Analyse des eaux, Aspects réglementaires et techniques. Edition Scérén CRDP AQUITAINE. Bordeaux, 165-239.
- GAÏD, AEK. (1993)**. Omnium de Traitement et de Valorisation (OTV) édition.
- HAIHAEM R ; 2022-** *Etude et suivi de fonctionnement de la STEP de Guelma : traitement et réutilisation des eaux usées*. Mémoire master en écologie et environnement. Université 8Mai 1945, Guelma, 83 p.
- HAOUATI, E.H (2005)**. Eude de réhabilitation et d'extension de la station d'épuration de la ville de Djelfa. Mémoire d'Ingénieur d'État. École Nationale Supérieure de l'Hydraulique, Abdallah Arbaoui, 109 p.
- HAOUATI, E.H. (2020)**. Station d'épuration de Djelfa ; analyse et diagnostic pour une gestion prometteuse. Mémoire master. Université Ziane Achour – Djelfa, 85 p.
- 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. 11 p. cirad-00188187. <http://hal.cirad.fr/cirad-00188187>
- HENNEB M. (2010)**. *Utilisation de la micro-irrigation pour épandre des eaux usées épurées en vue de leur réutilisation-Approche expérimentale*. Mémoire de Master. Université Pierre et Marie Curie, France, 92p.
- IDRISSI Y.A., DARWESH N., BELHAILI I., ACHHEB A.L., ALEMAD A., ELKHARRIM K., et BELGHYTI D. (2015)**. Étude des performances épuratoires de la technique de Lagunage naturel de la station d'épuration des eaux usées domestique de la ville d'Azilal –MAROC. International Journal of Innovation and Applied Studies. Vol. 13 No. 3 Nov. 2015, pp. 507-517.
- JOURNAL OFFICIEL DE LA REPUBLIQUE ALGERIENNE. N° 26, 23 avril 2006.** *Valeurs limites des paramètres de rejets d'effluents liquides industriels*, 7p.
- JOURNAL OFFICIEL DE LA RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE n°41, 15 juillet 2012.** *Spécifications des eaux usées épurées utilisées à des fins d'irrigation*, 27p.
- KASBADJI M. N. 2013.**Potentiel Hydrique et énergies renouvelables en Algérie. Centre de Développement des Energies Renouvelables, Unité de développement des équipements solaire, Algerie: 1-34.
- KECHIT Z. et NEKICHE F., 2020** – *Valorisation des eaux usées épurées en agriculture : Impacts sur le sol et la plante*. Mémoire master en agronomie. Université Mouloud Mammeri , Tizi-Ouzou , 59 p.
- KROUCHI CH ; 2016** – *Effets de l'irrigation par des eaux usées domestiques traitées sur la fertilité des sols*. Mémoire master en sciences agronomiques. Université Abdelhamid Ben Badis , Mostaganem , 92 p.
- LAMECHE E.K. 2011** – *Etude des possibilités de réutilisation des eaux et des sous-produits d'épuration dans l'agriculture : Cas des effluents de la station de Boumerdes* . Mémoire Ingénieur en hydraulique. Ecole Nationale Polytechnique, El-Harrach , Alger, 108 p

- LAMRI A., 2017** – *La valorisation des sous-produits d'épuration de la wilaya de Boumerdes en agriculture*. Mémoire master en hydraulique. Ecole Nationale Polytechnique, El-Harrach, Alger, 56 p.
- LE PEN A. ET PRONOST J. (1998)**. Analyse, caractérisation et qualité des eaux usées. Office Internationale de l'Eau. Environnement et technique, Info-déchets-courants n° 181. 3 p.
- MALEK I ; 2014** – *Les indicateurs de performance et de suivi de la station d'épuration de Réghaia*. Mémoire Ingénieur en hydraulique. École Nationale Polytechnique, El-Harrach, Alger, 124 p.
- MANSOUR B ; A; 2016-** *Une étude de la libération d'orthophosphate à partir des processus de densification et de séchage des boues (étude de cas : la station d'épuration d'Al-Ruwaimiyeh - Lattakia)*. Thèse magistère en chimie environnementale, Université de Tichrine, Syrie, 90p.
- MAREF, N. (2020)**. *Traitement et épuration des eaux*. Polycopie de cours. Université Djillali Liabès de Sidi Bel Abbès, 56 p.
- MEFTI M. (2015)**. *Réutilisation des eaux épurées dans l'irrigation*. Mémoire de Master. 42p.
- MERABET-BAGHLI, N., ABDOULAYE CYPRIEN, H., SOULEYMANE IBRAHIM, C.** *Irrigation par les eaux usées épurées : une issue pour l'économie de l'eau à l'ouest de l'Algérie...*, Techniques Sciences Méthodes, TSM, numéro 1/2 – 2020.
- MIRA Y; 2008** – *Contribution à la conception de la station d'épuration d'ISOLA 2000*. Mémoire Ingénieur en hydraulique. École Nationale Polytechnique, El-Harrach, Alger, 96 p
- MRE, 2004**. Synthèse sur la situation de l'assainissement et évaluation des besoins en station de traitement et d'épuration en vue de protéger les ressources en eau. Document interne. Ministère des Ressources en eau. p. 4. non publié.
- MRE, 2010**. Actualisation du plan national de l'eau, mission 2, volet 3, les ressources en eau non conventionnelles. Algérie. 84 P.
- MRE, 2012**. *Document interne. Ministère des Ressources en Eau, Algérie*, 15p.
- MRE, 2021**. *Synthèse du bilan d'activité du premier semestre, Ministère des Ressources en Eau, Algérie*, 10 p.
- NANI H ; B ; TOUIL A ; et NANI M ; 2021-***La réutilisation des eaux usées en agriculture à partir de la station d'épuration ( STEP 03) de la wilaya d'El-Oued* . Mémoire master en hydraulique. Université Echahid Hamma Lakhdar , El-Oued , 117 p.
- OMS. (1989)**. L'utilisation des eaux usées en agriculture et aquiculture : recommandations à visées sanitaires, 84 pp, 778 (série de rapports techniques), Genève.
- ONA, 2014**. *Documentation interne du service d'exploitation ONA. Office nationale d'assainissement, Algérie*. 20p.
- ONA, 2019**. Document interne bilan annuel DEM ONA 2019. <http://ona-dz.org/>
- OUANOUKI B. (2012)**. Modélisation de la demande en eau dans une région aride. Cas de la Wilaya de Djelfa. Revue « Nature & Technologie ». N° 06/Janvier, 93-105.
- OUANOUKI B. (2014)**. Demande en eau et Impact de la réutilisation des eaux usées traitées et des boues en agriculture et dans les techniques forestières. Thèse de Doctorat en Sciences Agronomiques. École Nationale Supérieure Agronomique, 255 p.
- OURTELLI S. et BRAHIMI S., 2013** – *Contribution à l'étude de l'efficacité du traitement des eaux usées de la station d'épuration de corps gras de Bejaia (CO.G.B)*. Mémoire master en environnement et sécurité alimentaire. Université Abderrahmane Mira, Bejaia, 72 p

- PNUD, 2009.** Problématique du secteur de l'eau et impacts liés au climat en Algérie, Programme des Nations Unies pour le développement, 14p.
- RAGAA, M et HAOUATI, E.H. (2014).** Contribution à l'évaluation de la qualité des eaux usées épurées de la station d'épuration Djelfa et aptitude de leurs réutilisations dans quelques domaines d'activités. Mémoire de Master. Université Ziane Achour, Djelfa, 85 p.
- RAHLAOU, Y (2020).** Diagnostic et Évaluation des performances épuratoires la station d'épuration de Timgad (Wilaya de Batna), Mémoire de Master, Université de Mohamed khider-Biskra, 95p.
- RODIER J., LEGUBE B., MERLET N., et BRUNET R. (2005).** L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. 8ème édition. Paris : DUNOD, 1383p.
- RODIER J, LEGUBE B, MERLET N, et BRUNET R. (2009).** L'analyse de l'eau-9<sup>ème</sup> édition-Eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer : Eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. Dunod, Paris.
- SAADI M, et LAHMAR F A. (2018).** Évaluation de l'efficacité de la station d'épuration de Guelma (N-Est Algérie ). Mémoire master en hydraulique. Université Badji Mokhtar, Annaba, 97 p.
- SADAWSKI A.G. (2002) :** Méthodes de calcul d'une filière de traitement. Boues activées très faible charge. Nitrification et dénitrification, traitement du phosphore. Laboratoire HSU ENGEES. 103p.
- SAHARA, M et HARICHE, S (2019).** Impact des indicateurs de performance sur la gestion de la station d'épuration de lala ville de Djelfa. Mémoire de Master. Université de Ziane Achour-Djelfa, 108p.
- SAHNOUN, A.Y. (2019).** Contribution à la valorisation des boues des stations d'épuration des eaux usées. Doctorat en sciences. Université Sciences et Technologie Oran, 230 p.
- SID, S. (2017).** *Opérations unitaires et outils procédés pour une optimisation énergétique de stations d'épuration méditerranéennes.* Université de Montpellier, France, 173 p.
- TANSAOUT, A (2021).** *Étude de la réalisation d'une station d'épuration pour la Commune Ait Chafaa wilaya de Tizi-Ouzou.* Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou. Mémoire de Master, 138p.
- TOUHARI Fadhila. (2018).** Traitement et épuration des eaux résiduaires urbaines et industrielles. Polycopié de cours. Université Djillali Bounaama de khemis Miliana, 77 p.
- TEBESSI A et BAHLOUL M. (2014).** *Caractérisation des eaux usées épurés de la vile de Guelma et leur aptitude à l'irrigation.* Mémoire de Master. Université 8 Mai 1945 Guelma, 74 p.
- USEPA. (2012).** Guidelines for Water Reuse. US Environmental Protection Agency, Washington, DC, 643p.
- USSL. (1954).** Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. USDA Agricultural Handbook 60, Washington, 160 p.
- VEOLIA EAU. (2008).** *Les Enjeux d'assainissement. Service Technique. Marseille : Région Sud -Est.*
- YAKOUBI K ; et SAMI L ; 2016 –** *Valorisation des eaux usées épurées de la STEP de boukhalfa en agriculture : Impact sur le rendement de quatre espèces céréalières-Approche Expérimentale-.* Mémoire master en biologie. Université Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou, 78

**ZAIRI I ; et BESSALAH S ; 2021** – *Etude comparative entre les stations d'épuration de la zone de Ouargla « STEP N'Goussa » et « STEP Sidi Khouiled »* . Mémoire master en sciences et technique . Université Kasdi Merbah , Ouargla , 68 p .